

# POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

**Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

**Ottimizzazione e digitalizzazione del processo di Stampaggio in  
ottica Industria 4.0: implementazione di sensoristica per il  
miglioramento dell'utilizzo e della manutenzione dello stampo**



**Relatore:**

Chiar.mo Prof. Terenziano Raparelli

**Candidato:**

Agnese Lipari

**Correlatore:**

Chiar.ma Irene Casto

Chiar.mo Corrado Forestieri

Anno accademico 2019/2020



*Alla mia famiglia*



# Indice

<b>Abstract</b> .....	1
<b>Introduzione</b> .....	2
<b>1. Mirafiori Press Shop &amp; Dies: Organizzazione e principali attività</b> .....	4
1.1 <i>Lo stampaggio della lamiera</i> .....	4
1.1.1 Tranciatura e punzonatura.....	5
1.1.2 Curvatura e imbutitura.....	5
1.1.3 Le presse .....	5
1.1.4 Gli stampi per le presse .....	9
1.1.5 Impianto ad azoto .....	12
1.2 <i>Lo stampaggio della lamiera in ambito automotive</i> .....	15
1.2.1 Stampaggio a freddo della lamiera .....	15
1.2.2 Stampaggio a caldo.....	17
1.3 <i>Progettazione e costruzione stampi</i> .....	18
<b>2 World Class Manufacturing</b> .....	22
2.1 <i>Metodologia World Class Manufacturing</i> .....	22
2.1.1 Sistema di audit WCM .....	24
2.2 <i>World Class Technology</i> .....	25
2.3 <i>Pilastro Innovazione</i> .....	26
2.3.1 Vision, Needs & Objectives .....	27
2.3.2 7 Steps .....	27
2.3.3 Principali strumenti del Pilastro Innovazione.....	30
<b>3 Stato attuale della Manutenzione</b> .....	33
3.1 <i>Classificazione della manutenzione</i> .....	33
3.1.1 Scelta tra le differenti politiche di manutenzione - Analisi costi/benefici.....	34
3.1.2 Incremento della produttività e della competitività attraverso la manutenzione .....	35
3.2 <i>Manutenzione: Stato Attuale</i> .....	36
3.2.1 Manutenzione stampi .....	36
3.2.2 Manutenzione Macchinario.....	38
3.2.3 Problemi riscontrati.....	39
3.3 <i>Sviluppo di un sistema di manutenzione predittiva</i> .....	40
<b>4 Ottimizzazione e Digitalizzazione delle Linee di Produzione in ottica Industria 4.0</b> ....	42
4.1 <i>Industria 4.0</i> .....	42
4.2 <i>Sistema di produzione Industry 4.0: Smart Manufacturing</i> .....	44
4.3 <i>Interoperabilità e consapevolezza</i> .....	46
4.3.1 Interoperabilità .....	46
4.3.2 Consapevolezza.....	48
4.4 <i>Comunicazione industriale</i> .....	48
4.5 <i>Sviluppo di soluzioni innovative nell'ambito dell'Industria 4.0</i> .....	49

4.5.1	Sensori .....	50
4.5.2	Sensoristica su stampi .....	51
4.5.3	Proposte di innovazione.....	53
<b>5</b>	<b>Caso studio: Applicazione del sistema WPM .....</b>	<b>57</b>
5.1	<i>Scopo dell'attività.....</i>	58
5.2	<i>Sistema proposto .....</i>	59
5.2.1	Descrizione dei componenti .....	60
5.2.2	Bluetooth LE 4.0 .....	66
5.2.3	Configurazione del sistema .....	67
5.3	<i>Sviluppo del Progetto .....</i>	70
5.3.1	Definizione dell'applicazione.....	74
5.3.2	Preparazione test in ambiente di produzione.....	76
5.3.3	Test del sistema.....	80
5.3.4	Analisi dei dati .....	81
5.4	<i>Conoscenza acquisita e opportunità realizzate .....</i>	82
5.4.1	Predisposizione delle applicazioni e analisi dei costi .....	83
5.4.2	Opportunità realizzate .....	85
5.4.3	Analisi costi-benefici .....	87
5.4.4	Possibili implementazioni del sistema .....	87
5.4.5	Sviluppi futuri.....	88
	<b>Conclusioni .....</b>	<b>90</b>
	<b>Bibliografia .....</b>	<b>92</b>
	<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>94</b>

## Indice delle figure

Figura 1.1: Stampaggio della carrozzeria della Fiat 600D .....	4
Figura 1.2: Schema dell'esecuzione di una tranciatura.....	5
Figura 1.3: Schema di una pressa meccanica .....	6
Figura 1.4: Diagramma di moto della slitta, pressa a semplice effetto.....	7
Figura 1.5: Fasi nel ciclo pressa .....	7
Figura 1.6: Diagramma di moto di slitta interna e slitta esterna, pressa a doppio effetto.....	8
Figura 1.7: Braccio robotico con ventose.....	9
Figura 1.8: Differenti tipologie di linee di presse .....	9
Figura 1.9: Schema stampo per pressa .....	9
Figura 1.10: Particolare scivolo per l'evacuazione dello sfrido.....	10
Figura 1.11: Sistema di centratura colonna-boccola .....	10
Figura 1.12: Coni di centraggio .....	11
Figura 1.13: Pressa a semplice effetto (destra) e pressa a duplice effetto (sinistra) .....	12
Figura 1.14: Cilindri collegati con polmone di compensazione.....	13
Figura 1.15: Diagramma di funzionamento dei cilindri controllati in un ciclo di lavoro della pressa .....	13
Figura 1.16: funzionamento dei cilindri controllati in un ciclo di lavoro della pressa .....	14
Figura 1.17: Forza in funzione della corsa, per differenti valori della corsa utile.....	15
Figura 1.18: Processo di stampaggio lamiera in ambito automotive.....	15
Figura 1.19: Layout della linea di tranciatura del Press Shop di Mirafiori - Vista frontale .....	16
Figura 1.20: Esempio di Processo di Stampaggio di una fiancata.....	17
Figura 1.21: Processo di stampaggio a caldo .....	18
Figura 1.22: Panoramica di tutte le attività del Mirafiori Press Shop&Dies .....	19
Figura 1.23: Fusione grezza in arrivo dalla fonderia.....	20
Figura 1.24: Particolare dell'impianto ad azoto (a sinistra) e impianto inserito nello stampo (a destra).....	20
Figura 1.25: Esempio di Calibro di misura .....	21
Figura 1.26: TTM e dettaglio delle attività .....	21
Figura 2.1: Principi della Metodologia World Class Manufacturing .....	22
Figura 2.2: Logica del WCM .....	23
Figura 2.3: Pilastri Tecnici e Pilastri Manageriali del WCM.....	23
Figura 2.4: I numeri del WCM in FCA .....	25
Figura 2.5: I numeri del WCM nei Plant EMEA .....	25
Figura 2.6: Pilastri Tecnici e Pilastri Manageriali del WCT .....	26
Figura 2.7: VNO del Pilastro Innovazione .....	27
Figura 2.8: 7 Steps .....	28
Figura 2.9: Informazioni di base su una suggestion.....	28
Figura 2.10: Step 5 del Pilastro Innovazione .....	30
Figura 2.11: Esempio di Brainwriting tool.....	31
Figura 2.12: Affinity Diagram tool .....	32
Figura 2.13: One box tool .....	32
Figura 3.1: Politiche di manutenzione.....	33
Figura 3.2: Scala demeriti estetici.....	36
Figura 3.3: Cartellino stampo.....	37
Figura 3.4: Stato attuale del flusso manutentivo .....	38
Figura 3.5: Rappresentazione grafica dello stato dell'attività di manutenzione nel Machine Ledger .....	39
Figura 3.6: Sistemi utilizzati attualmente per la raccolta dei documenti stampo .....	39
Figura 3.7: Sviluppo di un sistema di manutenzione predittiva .....	40
Figura 4.1: Rivoluzioni industriali .....	43
Figura 4.2: Tecnologie abilitanti [Fonte: Piano nazionale Industria 4.0 – Ministero dello Sviluppo] .....	44
Figura 4.3: Smart Industry .....	44
Figura 4.4: Piramide dell'automazione.....	46
Figura 4.5: Integrazione verticale, orizzontale e end-to-end.....	47
Figura 4.6: Lista dei protocolli di comunicazione più utilizzati.....	49
Figura 4.7: Interfacce di comunicazione all'interno dell'ambiente industriale .....	49
Figura 4.8: Classificazione dei sensori in base alla grandezza fisica rilevata .....	50
Figura 4.9: Sensoristica Smart .....	51
Figura 4.10: Schema a blocchi di un sensore induttivo .....	52
Figura 4.11: Sensore di prossimità di tipo capacitivo .....	52
Figura 4.12: Zone logicamente distinte individuate nel processo di stampaggio.....	54

Figura 4.13: Impiego del Deep Learning per l'analisi delle immagini eseguite da una telecamera a infrarossi posta nello stampo .....	56
Figura 5.1: Wireless Sensor Network .....	57
Figura 5.2: Utilizzo di un Gateway IoT .....	58
Figura 5.3: Componenti del sistema.....	59
Figura 5.4: Layout del Sistema e principio di funzionamento .....	60
Figura 5.5: Sensore WPM.....	61
Figura 5.6: Supporto Dati.....	61
Figura 5.7: Gateway IoT .....	62
Figura 5.8: Integrazione nel sistema di controllo della pressa .....	64
Figura 5.9: Esempio di file .csv scaricato dal Software .....	64
Figura 5.10: Collegamento del Gateway alla rete aziendale .....	65
Figura 5.11: Procedura dopo aver ricevuto il Gateway IoT .....	65
Figura 5.12: App per Android e IOS .....	66
Figura 5.13: Banda di frequenze .....	66
Figura 5.14: Schermata di avvio del Software di configurazione .....	67
Figura 5.15: Albero delle risorse.....	67
Figura 5.16: Rappresentazione dei dati del sensore in forma: a) di grafico a barre; b) grafica; c) tabellare .....	68
Figura 5.17: Panoramica della posizione dei sensori all'interno dello stampo .....	68
Figura 5.18: Parametri modificabili del supporto dati.....	69
Figura 5.19: Parametri modificabili del sensore .....	70
Figura 5.20: Attività proposta di partenza.....	70
Figura 5.21: Priortization Matrix .....	71
Figura 5.22: One Page del progetto.....	71
Figura 5.23: Indicatori di performance di progetto .....	72
Figura 5.24: Applicazione del Problem Statemen Tool .....	72
Figura 5.25: Applicazione del Brainwriting tool.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 5.26: Applicazione dell'Affinity Diagram tool .....	73
Figura 5.27: Applicazione del One Box Tool - prima parte.....	73
Figura 5.28: Applicazione del One Box Tool - seconda parte .....	73
Figura 5.29: Esempio di pianificazione test.....	74
Figura 5.30: Possibili applicazioni del Sistema WPM per ciascuna operazione del Ciclo di Stampaggio .....	75
Figura 5.31: Sezione dello stampo scelto per l'applicazione del test in ambiente di costruzione.....	75
Figura 5.32: Matrice di scelta.....	76
Figura 5.33: Vista in sezione dello stampo .....	77
Figura 5.34: Schema pneumatico di principio e di montaggio dell'impianto ad azoto .....	77
Figura 5.35: Diagramma movimento-fasi .....	78
Figura 5.36: Funzionamento dell'impianto ad azoto nello stampo .....	78
Figura 5.37: Posizionamento del sensore nello stampo.....	79
Figura 5.38: Andamento della pressione e della temperatura in funzione del tempo.....	80
Figura 5.39: Curve di forza dei cilindri ad azoto .....	81
Figura 5.40: Confronto tra i dati di progetto e i dati di processo .....	82
Figura 5.41: Fase 6 e fase 7.....	83
Figura 5.42: Matricole scelte per modello di vettura di riferimento .....	83
Figura 5.43: Funzionalità del software MES .....	86
Figura 5.44: Sviluppi futuri.....	88

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Scelta tra differenti politiche di manutenzione.....	35
Tabella 2: Tipologia di sensori e relativo tipo di controllo .....	53
Tabella 3: Dati tecnici Sensore WPM .....	61
Tabella 4: Dati tecnici del Supporto Dati.....	62
Tabella 5: Informazioni di stato su uscite digitali .....	63
Tabella 6: Informazioni di stato su uscite relè .....	63
Tabella 7: Dati tecnici Gateway .....	65
Tabella 8: Soglie di avvertimento e di allarme per pressione e temperatura. <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>	
Tabella 9: Stampi e funzioni individuate per ciascuna matricola.....	84

Tabella 10: Numero totale di componenti per modello.....	84
Tabella 11: Analisi dei costi.....	85
Tabella 12: Risultati analisi costi-benefici.....	87

## Abstract

L'industria manifatturiera è attualmente soggetta a enormi cambiamenti causati da varie tendenze globali quali l'aumento della domanda di prodotti personalizzati, la volatilità dei mercati e la tendenza ad un approvvigionamento sostenibile e sicuro di materie prime ed energia. L'iniziativa strategica Industria 4.0 sta trasformando la produzione industriale attraverso la digitalizzazione e lo sfruttamento delle potenzialità delle nuove tecnologie.

Collocandosi in tale contesto, l'elaborato di tesi affronta lo sviluppo di una soluzione innovativa per l'ottimizzazione e la digitalizzazione del processo produttivo del Press Shop & Die di FCA Italy S.p.A, stabilimento in cui si realizza la produzione delle parti stampate più importanti, per qualità e dimensione, del Body in white delle auto FCA.

La soluzione proposta prevede l'applicazione di un Sistema per il monitoraggio wireless della pressione e della temperatura dei cilindri ad azoto presenti in uno stampo al fine di migliorarne l'utilizzo e la manutenzione, ottimizzare la qualità dell'elemento stampato e riconoscere lo stampo fuori pressa.

Il sistema è costituito da sensori nello stampo che trasmettono via wireless i valori della pressione e della temperatura dei cilindri, da un supporto dati che gestisce i dati dei sensori dello stampo, da un Gateway, installato in maniera fissa sulla pressa, che crea un collegamento tra sensori, supporto dati e PLC della pressa nonché da un Software per la visualizzazione dei dati relativi alle misurazioni dei sensori e per la configurazione dei sensori e del supporto dati.

Prima e durante l'utilizzo dello stampo nella pressa, il sistema controlla il livello di pressione e di temperatura in tutti i cilindri ad azoto, segnalando tempestivamente un malfunzionamento, sulla base di soglie di avvertimento predefinite, prima ancora che venga prodotto un pezzo difettoso e, localizzando esattamente il cilindro in questione. Per l'avvertimento e l'allarme è possibile impostare soglie diverse.

Il progetto è stato sviluppato, in accordo con la Metodologia del World Class Manufacturing, in diverse fasi:

- una prima fase di pianificazione con analisi dello stato attuale, prioritizzazione dei problemi e preparazione dei finanziamenti;
- una fase operativa con preparazione del piano di lavoro e successiva esecuzione del test;
- una fase di verifica dei risultati del progetto e di predisposizione delle prime applicazioni del progetto nello stabilimento produttivo;
- infine, una fase di analisi dei risultati con definizione delle opportunità realizzate e della conoscenza acquisita.

Dalla fase di analisi si deduce che la segnalazione preventiva garantisce una migliore gestione della manutenzione poiché rende possibile la pianificazione degli interventi. In questo modo i tempi morti possono essere ridotti al minimo o eliminati del tutto e si riducono notevolmente i costi di Manutenzione.

Si prevede inoltre di creare un collegamento tra il sistema e il software aziendale di gestione della manutenzione, in modo da informare in tempo reale i diversi enti dello stabilimento sullo stato dello stampo e da creare un archivio digitale sul percorso e sulla storia dello stampo stesso. Il fine di tale collegamento è l'integrazione orizzontale, non solo tra i vari enti interni dello stabilimento ma anche tra i diversi stabilimenti produttivi del gruppo.

## Introduzione

La produzione industriale è oggi guidata dalla concorrenza globale e dalla necessità di una maggiore flessibilità, al fine di garantire un rapido adattamento della produzione alle mutevoli richieste del mercato. Questi requisiti, che hanno reso essenziale per le aziende aumentare la loro capacità di innovazione e produttività e, ridurre il loro time-to-market, possono essere soddisfatti solo da progressi radicali nell'attuale tecnologia di produzione. L'Industria 4.0 è un approccio promettente, attualmente considerato un pilastro fondamentale della futura competitività delle aziende manifatturiere.

In questo contesto si colloca il presente elaborato di Tesi che, ha come oggetto lo sviluppo di soluzioni innovative per l'ottimizzazione e la digitalizzazione del Processo di Stampaggio della lamiera. Questa attività è parte di un progetto di innovazione, il cui obiettivo è quello di introdurre, a partire dall'attuale linea presse, una serie di sensori per il monitoraggio dei principali parametri che influenzano l'efficienza e la produttività della linea nonché la qualità finale dei componenti stampati.

L'analisi e lo sviluppo di questo argomento è frutto dell'attività di Tirocinio Curriculare svolta presso l'Area Manufacturing - Polo Press Shop & Dies di FCA Italy S.p.A. sito in Torino, stabilimento in cui si realizza non solo la produzione delle parti stampate più importanti, per qualità e dimensione, del *Body in white* delle auto FCA, ma anche la progettazione e la costruzione dello stampo stesso.

Il crescente grado di automazione e, la domanda di una produzione senza difetti, richiedono un maggiore utilizzo del controllo di processo nello stabilimento di stampaggio. Da cui lo scopo del presente elaborato, ovvero l'implementazione su linea di un sistema di monitoraggio e controllo di processo wireless al fine di ottimizzare la qualità dell'elemento stampato, nonché migliorare l'utilizzo e la manutenzione dello stampo. Tale sistema, rendendo i dati disponibili centralmente nell'Internet of Things e supportando i concetti di oggetti intelligenti e macchine/strumenti collegati in rete, costituisce la base per un'espansione tecnologica verso l'Industria 4.0.

La tesi è articolata in cinque capitoli di cui il Primo, introduttivo, fornisce una panoramica generale sul processo di stampaggio della lamiera, con particolare riferimento all'ambito automotive e, sull'organizzazione e le principali attività svolte all'interno del Press Shop & Die.

Il progetto di cui sopra è stato sviluppato seguendo i principi e utilizzando gli strumenti della Metodologia *World Class Technology (WCT)*, estensione all'ingegneria di Produzione della Metodologia World Class Manufacturing (WCM). Pertanto, all'analisi del WCM e del WCT è dedicato il Secondo Capitolo.

L'applicazione di tale Metodologia richiede, per ciascun progetto, una preliminare analisi dello stato dell'arte e, un'attenta valutazione dei bisogni aziendali. Per cui, nel Terzo Capitolo, è analizzato lo stato attuale della gestione della produzione e della manutenzione all'interno del Mirafiori Press Shop & Dies, al fine di comprenderne le problematiche, capire come affrontarle e risolverle. I problemi principali riscontrati in tale area sono la mancanza di un sistema per il monitoraggio in tempo reale del processo di produzione e, la mancanza di digitalizzazione nella gestione della manutenzione.

Le soluzioni proposte per ovviare a tali problemi, collocabili all'interno del perimetro Industria 4.0 e, presentate nel Capitolo successivo, prevedono di implementare, a partire dall'attuale linea presse, una serie di soluzioni smart, al fine di ottimizzare l'efficienza e la produttività della linea nonché la qualità finale dei componenti stampati.

Tra tali proposte rientra il caso studio del presente elaborato, cui è dedicato l'ultimo Capitolo della trattazione. Come anticipato, esso prevede l'applicazione di un sistema per il controllo e monitoraggio wireless di ciò che avviene nello stampo, non solo durante il processo di produzione ma, anche quando lo stampo si trova al di fuori della pressa.

Questo sistema rende possibile l'ottimizzazione della manutenzione con riduzione dei costi e dei tempi, l'abbattimento dei fermi produttivi e, presenta inoltre il potenziale per la digitalizzazione della gestione della manutenzione. Questi risultati saranno esposti dettagliatamente nelle conclusioni finali di questa tesi.

# 1. Mirafiori Press Shop & Dies: Organizzazione e principali attività

In questo capitolo ci caliamo nella realtà produttiva del Mirafiori Press Shop & Dies di FCA Italy S.p.A., area Manufacturing, stabilimento in cui si realizza la produzione delle parti stampate più importanti, per qualità e dimensione, del *Body in white* delle auto FCA.

Il complesso, parte del comprensorio industriale Fiat Mirafiori, ubicato nella zona sud di Torino, fu costruito nel 1956 a seguito dell'attività di ampliamento chiamata "Mirafiori-Sud", dove vennero localizzate e ampliate le attività dello stampaggio lamiera e delle lavorazioni meccaniche (motori e cambi). La produzione ebbe inizio solo due anni dopo, nel 1958, con lo stampaggio della carrozzeria della Fiat 600D.



*Figura 1.1: Stampaggio della carrozzeria della Fiat 600D*

Oggi il Mirafiori Press Shop & Dies, uno dei sei Stamping Plant della Region EMEA del gruppo FCA, è il centro operativo e decisionale dello stampaggio di tutta la Region e ospita al suo interno l'intera catena di produzione, dalla progettazione e costruzione dello stampo, all'effettiva realizzazione delle parti in lamiera della carrozzeria.

Lo scopo di questo capitolo è quello di fornire una panoramica generale sul processo di stampaggio della lamiera e sull'organizzazione e le principali attività del Polo Press Shop & Dies.

## 1.1 Lo stampaggio della lamiera

Si indicano con il nome di lamiera i semilavorati piani laminati nei quali una dimensione è molto più piccola delle altre due. La lamiera è quindi prodotta attraverso un *processo di laminazione* e, al fine di agevolarne il trasporto, è successivamente confezionata in coil di vario spessore e larghezza.

Una volta giunto negli stabilimenti di produzione, il coil viene stirato, annullando la curvatura che gli è stata impressa per poterlo trasportare e, viene tagliato in fogli di varie dimensioni in base alle lavorazioni da eseguire.

Le lavorazioni attraverso le quali viene ricavato il pezzo finito a partire dal foglio di lamiera si possono sintetizzare in quattro operazioni: *sagomatura*, *formatura*, *assemblaggio* e *finitura*. Sono esaminate nelle pagine successive le sole operazioni di sagomatura e formatura dove, si intendono per **operazioni di sagomatura**, quelle attraverso le quali al foglio di lamiera viene conferito il contorno voluto, con eventuali fori e asole e, per **operazioni di formatura**, quelle che trasformano il pezzo sagomato in un oggetto tridimensionale.

L'insieme delle operazioni effettuate per realizzare *sagomature e formature*, al fine di realizzare le forme desiderate imprimendo alla lamiera deformazioni permanenti, costituisce il processo di *Stampaggio della lamiera*.

Lo stampaggio si esegue dopo l'operazione di taglio e comprende due fasi di lavorazioni:

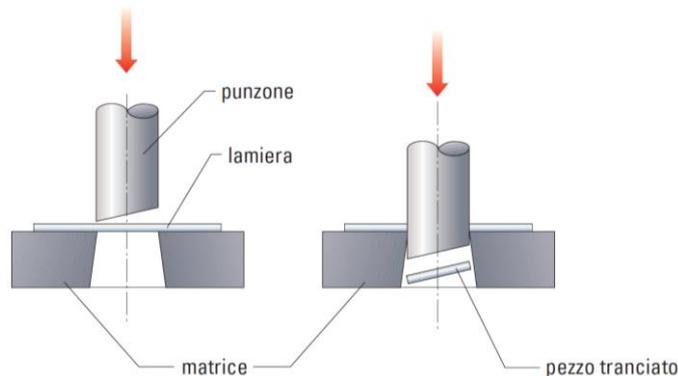
- *tranciatura e punzonatura* (sagomatura);
- *curvatura e imbutitura* (formatura).

Per lo stampaggio della lamiera si utilizzano macchinari, detti **presse**, e attrezzature chiamate **stampi**, il cui compito è quello di trasferire lo sforzo di tranciatura o di deformazione al foglio di lamiera da lavorare.

Le operazioni di stampaggio vengono eseguite generalmente a freddo (si parla in questo caso di **stampaggio a freddo**) ma, in alcuni casi, per ridurre lo sforzo di deformazione o per evitare strappi e cricche su particolari di grande spessore, è possibile effettuare alcune lavorazioni con pezzi precedentemente riscaldati (**stampaggio a caldo**), operando con temperature che normalmente raggiungono i due terzi della temperatura di fusione. Questa tecnica presenta però un costo superiore rispetto allo stampaggio a freddo, un'ossidazione superficiale più spinta e problemi di ritiro durante la fase di raffreddamento.[1]

### 1.1.1 Tranciatura e punzonatura

Le operazioni di **tranciatura** e la **punzonatura** consistono nell'imprimere sulla lamiera uno sforzo di taglio al fine di separare il materiale lungo il bordo dell'*unità tagliente* dello stampo. In particolare, con la *tranciatura* si sagoma il perimetro del particolare da lavorare mentre, con la *punzonatura*, si eseguono su di esso fori e intagli. Per entrambe le operazioni vengono utilizzate *presse* la cui tipologia dipende dalle esigenze di lavorazione. [1]



**Figura 1.2:** Schema dell'esecuzione di una tranciatura

### 1.1.2 Curvatura e imbutitura

Con le lavorazioni di curvatura e imbutitura si realizza la formatura del particolare in lamiera, sottoponendolo ad un processo di deformazione plastica mantenendone però pressoché inalterato lo spessore. La differenza principale tra le due lavorazioni sta nel diverso rapporto di allungamento delle fibre del materiale rispetto al pezzo originario. L'imbutitura, detta anche **profondo stampaggio**, è la lavorazione che comporta deformazioni maggiori e, pertanto, può essere realizzata solo con materiali molto duttili e con alto indice di allungamento.[1]

### 1.1.3 Le presse

Le presse sono macchine utensili atte alla tranciatura o deformazione del materiale posto nello stampo, lavorazione realizzate generando su di esso una pressione continua e progressiva. Il processo avviene tra la parte inferiore dello stampo, fissata al basamento della pressa e, la parte superiore dello stampo, fissata ad una slitta dotata di moto rettilineo alterno.[1]

Le presse possono essere classificate in base al *numero degli effetti* ed al *sistema di comando*.

Per quanto riguarda il numero degli effetti, la definizione di macchina alternativa data alla pressa precedentemente, fa sì che il numero di elementi operativi, detti slitte, definisca il sistema di lavoro di una pressa. Si hanno così presse:

- a semplice effetto: la macchina è dotata di due piani operativi, uno fisso ed uno mobile;
- a doppio effetto: la macchina è dotata di tre piani operativi, uno fisso e due mobili;
- a triplice effetto: la macchina è dotata di quattro piani operativi, uno fisso e tre mobili. Questo è senza dubbio il modello di pressa più completo per operazioni di stampaggio complesso.

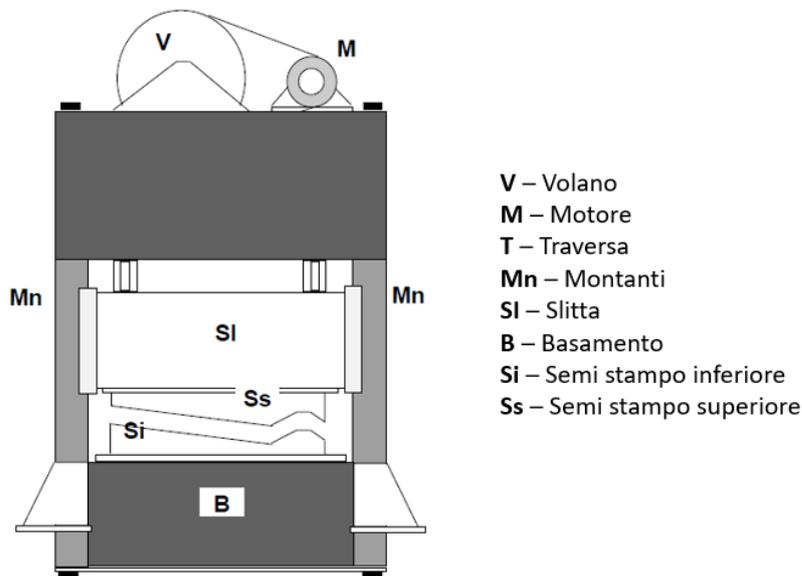
Il tipo di comando di una pressa può essere:

- *meccanico*: il movimento della slitta è comandato mediante cinematismi meccanici (alberi, ingranaggi);
- *idraulico*: il movimento della slitta è dato da cilindri idraulici comandati dalla pressione del fluido. Le presse idrauliche offrono il vantaggio di poter regolare sia la pressione di esercizio sia la velocità del fluido e di conseguenza della slitta;
- *pneumatico*: il movimento della slitta, collegata direttamente o mediante articolazioni o leve ad uno o più pistoni, è attuato dall'aria compressa. Le presse pneumatiche sono di piccola capacità e destinate prevalentemente a particolari lavorazioni di trancitura o piegatura leggera.

La pressa meccanica classica di media o grande capacità è composta da tre elementi principali, visibili in *Figura 1.3*:

- *Basamento*, cui viene collegata la parte fissa dello stampo;
- *Traversa o testata*;
- *Montanti*, distanziali che mantengono la distanza fra la traversa ed il basamento.

In *Figura 1.3* è rappresentata in particolare una pressa a due montanti, con movimento verticale e comando dall'alto e in essa è visibile anche la parte di comando.



*Figura 1.3: Schema di una pressa meccanica*

Il collegamento di questi elementi è assicurato da tiranti di acciaio, con dadi di tenuta sulla parte superiore della testata e su quella inferiore del basamento.

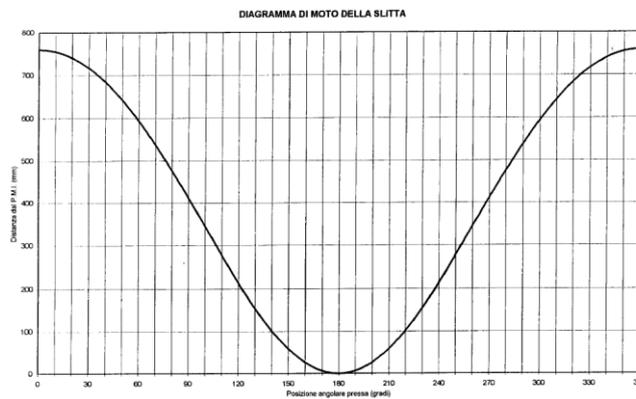
La traversa ha incorporato il gruppo di comando (motore, volano, gruppo freno-frizione, ingranaggi, bielle) che trasmette il moto per il movimento verticale della slitta. Nella forma più semplice il motore aziona il volano tramite ingranaggi o cinghie e, dal volano, l'energia è trasmessa attraverso un innesto a frizione a un albero a eccentrico o a manovella che, per mezzo di una biella, comanda la corsa della slitta. La parte di slitta

che si collega alla biella viene chiamata “punto di sospensione” per cui la slitta si classifica ad un punto, a due ed a quattro punti di sospensione, a seconda del numero delle bielle che la sostengono.

Il motore eroga potenza in modo circa costante, la richiesta, invece, varia da un massimo durante il periodo di accelerazione della slitta e durante la porzione di lavoro della corsa verso il basso, fino a zero all’arresto del ciclo. Il volano immagazzina l’energia fornita dal motore durante la corsa di salita e, la restituisce alla pressa durante la corsa in discesa. La funzione della frizione è quella di controllare e trasmettere l’energia fornita dal volano al cinematismo che comanda la slitta; il freno deve invece rallentare gli organi rotanti affinché la slitta possa essere arrestata.

Nella parte inferiore della traversa si trovano i cilindri di bilanciamento che hanno lo scopo di bilanciare pneumaticamente il peso della slitta e del semistampo superiore. Il montante funziona anche da guida per lo scorrimento verticale e, ha incorporate l’apparecchiatura elettrica, le tubazioni etc.

Ad una certa posizione angolare del braccio di manovella corrisponde una certa posizione della slitta (distanza dal punto morto inferiore). Se riportiamo sull’asse delle ascisse di un diagramma i valori dell’angolo di un ciclo completo e sull’asse delle ordinate la corrispondente distanza dalla slitta dal P.M.I., otteniamo il diagramma di moto di una pressa a semplice effetto riportato in *Figura 1.4*. Esso ci permette di visualizzare con un grafico il tipo di movimento della pressa.

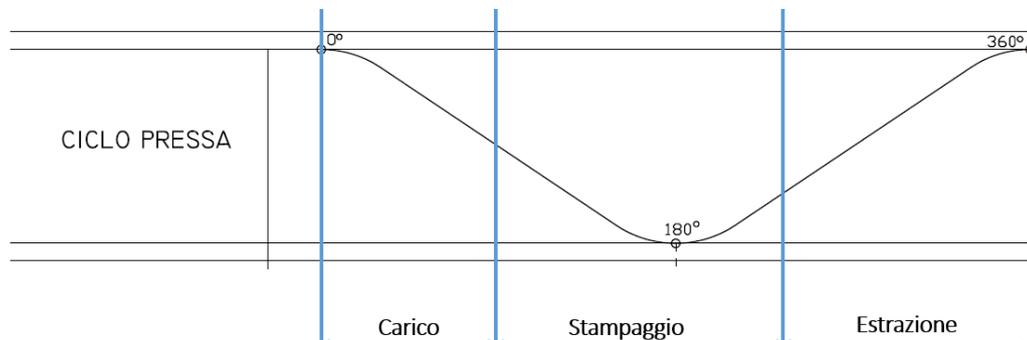


**Figura 1.4:** Diagramma di moto della slitta, pressa a semplice effetto

Possiamo individuare tre fasi nel ciclo pressa:

- Fase di Caricamento del pezzo;
- Fase di Stampaggio;
- Fase di Estrazione del pezzo.

Tali fasi sono rappresentate in maniera approssimata in *Figura 1.5*.



**Figura 1.5:** Fasi nel ciclo pressa

Le presse meccaniche a doppio effetto, come già evidenziato, si distinguono da quelle a semplice effetto per l’azione combinata di due slitte: una esterna scorrevole tra i montanti della macchina, ed una interna che si muove dentro la slitta esterna ed è guidata da quest’ultima. La slitta esterna serve ad esercitare una pressione

sui bordi della lamiera che deve essere imbutita, evitando così la formazione di grinze o altri difetti senza peraltro sottrarre sia forza di stampaggio sia lavoro utile di deformazione, come avviene invece nelle presse meccaniche a semplice effetto con cuscinio.

Come per le presse a semplice effetto, la slitta interna è azionata da un cinematismo del tipo biella-manovella, dal quale viene poi derivato il movimento per la slitta esterna. In questo caso il diagramma di moto riporta sull'asse delle ascisse i valori dell'angolo di un ciclo completo e sull'asse delle ordinate le distanze della slitta interna e della slitta esterna dal P.M.I.

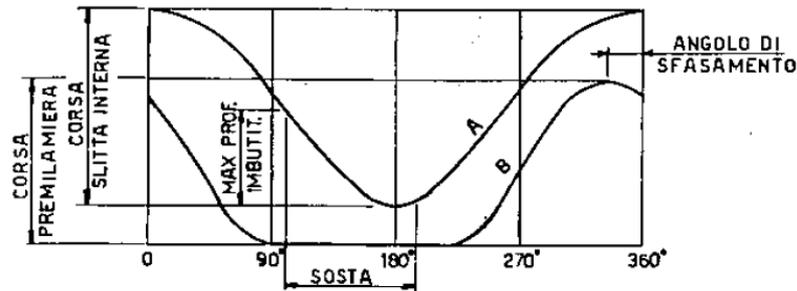


Figura 1.6: Diagramma di moto di slitta interna e slitta esterna, pressa a doppio effetto

Le caratteristiche cinematiche dei comandi nominati in precedenza, spesso rappresentano un limite: in una pressa meccanica, la forza che può generare, varia secondo la posizione della slitta e, man mano che la slitta si avvicina al fondo corsa la forza cresce rapidamente.

L'elevata affidabilità offerta oggi dai componenti idraulici per alte pressioni porta un sempre maggior numero di utenti ad orientarsi verso l'impiego delle **presse idrauliche** che, offrono, rispetto a quelle meccaniche, alcuni vantaggi. Nelle presse idrauliche il movimento e la forza di lavoro vengono conferiti alla slitta mandando olio in pressione all'interno di uno o più cilindri idraulici, i cui pistoni sono collegati alla slitta stessa. A differenza di quelle meccaniche nelle quali la forza massima è esercitata solo ad una certa distanza della slitta dal P.M.I., sono in grado di esercitare il massimo tonnellaggio lungo tutta la corsa di lavoro. La velocità può essere regolata e mantenuta costante per qualsiasi tratto di corsa desiderato e, tramite il controllo elettronico del volume propulsivo generato dalla pompa di comando, è possibile differenziare individualmente il ciclo di pressatura e adattarlo alle condizioni produttive contingenti.

Le presse idrauliche sono pertanto preferibili a quelle meccaniche quando occorre regolare la pressione e mantenerla costante per un certo tempo (ciò avviene soprattutto nelle operazioni di formatura).

La realizzazione di particolari di grandi dimensioni, principalmente per carrozzeria, richiede l'utilizzo di diverse presse disposte in linea mediante le quali vengono effettuate le diverse operazioni di formatura e di sagomatura. Attualmente le linee sono totalmente automatizzate e le operazioni di trasferimento della lamiera tra presse non sono più manuali ma, possono essere:

- a passo;
- a trasferta;
- robotizzata.

Nel primo caso, indicato per componenti di piccole dimensioni e dalla geometria semplice, l'avanzamento della lamiera è realizzato mediante un nastro movimentato da rulli. Ne consegue un'elevata velocità di stampaggio della linea e corse ridotte delle slitte.

Nelle linee a trasferta, si utilizzano invece coppie di barre traslatrici poste ai lati della pressa e che, simultaneamente, per ogni pressa, trasferiscono il particolare da uno stampo al successivo.

La tendenza attuale però, è quella di utilizzare per le movimentazioni uno o più bracci robotici inseriti tra una pressa e l'altra, particolarmente indicati per componenti di grandi dimensioni e dalla geometria complessa. Il sistema di presa maggiormente adoperato è quello con ventose, visibile in *Figura 1.7*.



*Figura 1.7: Braccio robotico con ventose*

Nel Press Shop del Gruppo FCA le linee di presse possono essere suddivise in quattro categorie, riportate in Figura 1.8: Linee di Tranciatura (*Blanking Presses*); High Speed Tandem Lines (HTL); Transfer Lines e Tandem Pick & Place Lines.



**Blanking Press**



**High Speed Tandem Line (HTL)**



**Transfer Line**

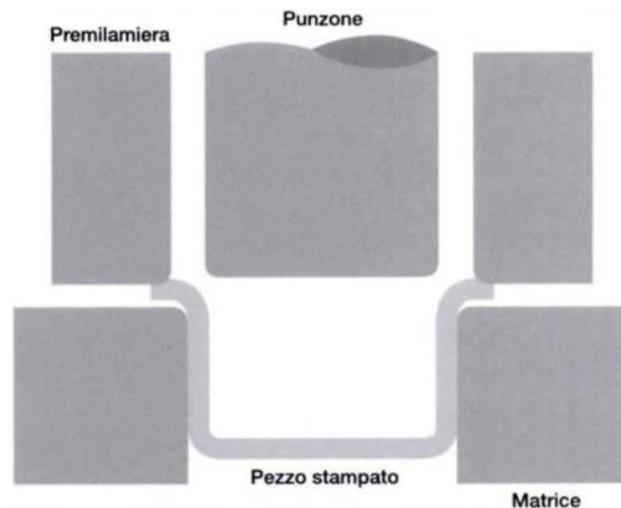


**Tandem Line**

*Figura 1.8: Differenti tipologie di linee di presse*

#### 1.1.4 Gli stampi per le presse

Lo stampo è un organo applicato alla pressa la cui funzione, è quella di offrire al metallo una forma cui adattarsi. È sempre costituito da tre elementi essenziali (*Figura 1.9*): il **punzone**, la **matrice** e il **prelamiera**.

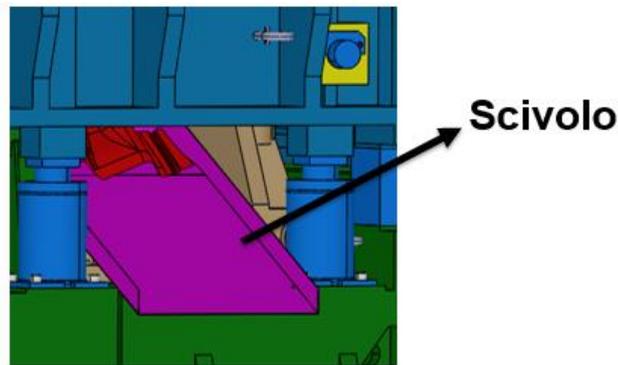


*Figura 1.9: Schema stampo per pressa*

Il **punzone** è l'elemento mobile dello stampo e può avere forme diverse a seconda dell'operazione da eseguire. A seconda della tipologia di pressa, può essere fissato alla sua parte superiore o inferiore. Con il suo movimento produce, in base alla lavorazione da eseguire, la tranciatura o la formatura della lamiera.

La **matrice** è la parte fissa dello stampo, normalmente posizionata sul piano della pressa. Svolge un ruolo fondamentale in quanto fa sì che il taglio nelle operazioni di tranciatura e, la deformazione della lamiera nelle operazioni di formatura, siano contenuti. Le matrici per tranciatura o punzonatura devono essere fornite di un

dispositivo per lo scarico del materiale di scarto (*sfrido*), consistente sostanzialmente in un prolungamento della parte cava dal quale il materiale viene espulso. Tale prolungamento è detto *scivolo* ed è visibile in *Figura 1.10*. Per il funzionamento dello stampo è necessario un gioco tra punzone e matrice calcolato in funzione dello spessore della lamiera e, del tipo di metallo costituente la lamiera. [1]



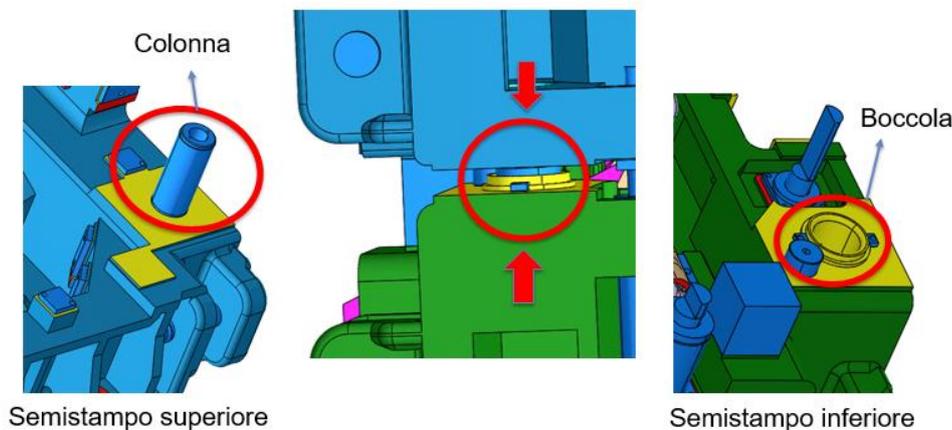
*Figura 1.10: Particolare scivolo per l'evacuazione dello sfrido*

Per gli stampi complessi, nella matrice, trova posto anche il **premilamiera**, una parte mobile dello stampo a forma di cornice. Esso, movimentato da attuatori secondari, anticipa la discesa del punzone e prende contatto con la lamiera lungo il contorno di quest'ultima bloccandola contro la matrice, evitando il suo trascinamento da parte del punzone nel caso della tranciatura o, consentendo il trascinamento ma non la formazione di grinze nel caso dell'imbutitura. Viene realizzato con gomme resistenti agli oli negli stampi più semplici, come quelli composti da punzoni singoli per forature, oppure con lastre di acciaio fissate a molle di adeguata rigidità negli stampi più complessi.

La parte superiore e la parte inferiore dello stampo non sono costituiti da monoblocchi unici ma, presentano diversi particolari riportati adibiti o al funzionamento meccanico dello stampo (movimentazione e centratura) o, adibiti alla deformazione, formatura o taglio della lamiera. Questi elementi possono essere:

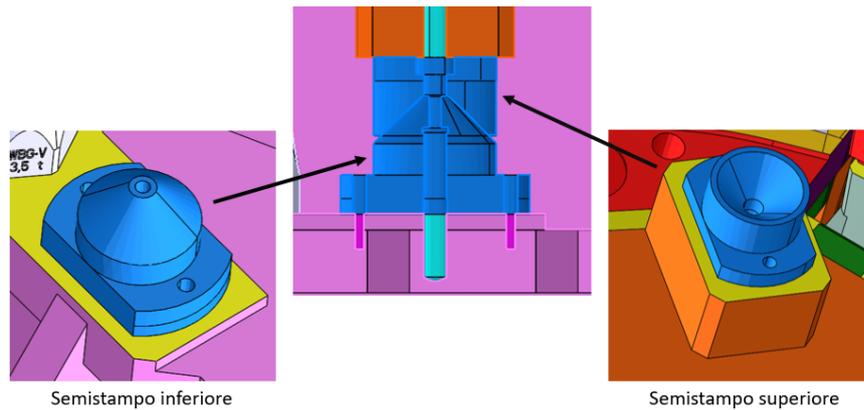
- **normalizzati**, cioè elementi costruiti in serie da ditte specializzate e acquistati dall'esterno;
- **costruttivi**, cioè elementi realizzati internamente.

Adibiti alla centratura e alla movimentazione dello stampo sono ad esempio le colonne guida stampo, le colonne guida premilamiera, i coni di centraggio, le piastre guida etc. Un tipico sistema di guida dello stampo è quello realizzato disponendo quattro colonne guida sul semistampo superiore e quattro boccole alle estremità corrispondenti del semistampo inferiore. In *Figura 1.11* sono visibili in dettaglio i disegni in tre dimensioni di colonna e boccola e il collegamento corrispondente.



*Figura 1.11: Sistema di centratura colonna-boccola*

Per la centratura della figura si adoperano invece, per la maggior parte degli stampi, i coni di centraggio, visibili in dettaglio in *Figura 1.12*.



**Figura 1.12:** Coni di centraggio

Quando, per far fronte alle geometrie del componente, gli utensili devono muoversi in modo orizzontale piuttosto che verticale, la deformazione, formatura e taglio della lamiera sono realizzate mediante l'impiego di slitte, controslitte e spine di reazione. Le slitte possono essere classificate in:

- Slitte di Rifila;
- Slitte per lo Stampo a CAM.

Le Slitte di Rifila sono le slitte utilizzate per il taglio della lamiera quando l'angolo di taglio è maggiore di 10-12°. Sono particolari standardizzati e scelti in base a cosa si vuole tagliare.

Le slitte per lo stampo a CAM sono utilizzate quando la parte da formare è in sottosquadro. In questo caso si utilizzano una slitta, una controslitta e una spina di reazione. La controslitta viene messa in posizione mediante l'utilizzo di un cilindro pneumatico, la slitta piega la lamiera sulla controslitta e la controslitta viene ritirata una volta che si ha la necessità di rimuovere la lamiera evitando in questo modo i problemi di rimozione che potrebbero essere causati dalla presenza del sottosquadro. Per evitare che il cilindro pneumatico, che mette in posizione la controslitta, subisca deformazioni in seguito al contatto tra slitta e controslitta, viene inserita una spina di reazione dietro la controslitta che funge da "freno meccanico" mantenendo la controslitta in posizione. In questo caso slitte controslitte e spine di reazione sono costruite internamente perché dipendono dalla forma del pezzo.

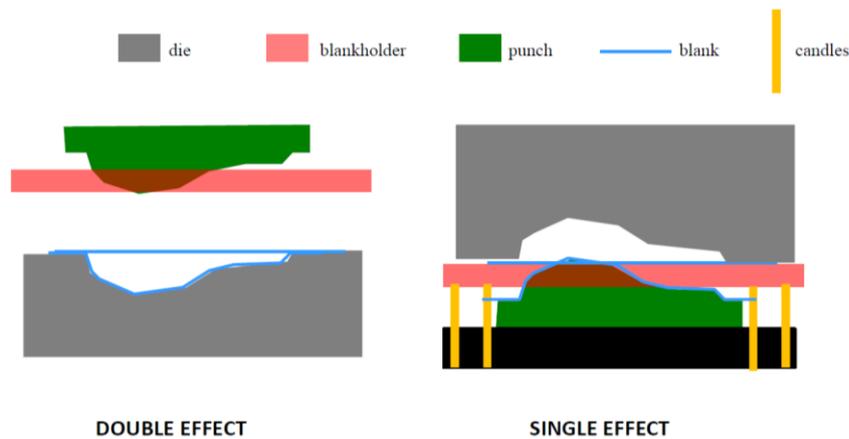
Il funzionamento corretto e la possibilità di interfaccia con il PLC della pressa sono possibili grazie alla presenza, all'interno dello stampo, di tre tipologie di impianti:

- l'*impianto pneumatico*, costituito da cilindri pneumatici e dalle relative valvole di comando che rappresenta la parte di potenza, intesa come mezzo di attuazione;
- l'*impianto elettrico*, per il comando dei circuiti pneumatici (conferisce consensi e controlli del ciclo);
- l'*impianto ad azoto*, con sola funzione di tenuta, essendo l'utilizzo dell'aria compressa non adeguato a tale funzione, dato l'elevato tonnellaggio con cui operano le presse.

L'impianto ad azoto, l'unico che non ha un'interfaccia con la pressa, sarà analizzato nel dettaglio nel seguente paragrafo.

Il materiale impiegato per la costruzione degli stampi, generalmente ghisa o acciaio, deve essere caratterizzato da elevata durezza, tenacità e resistenza all'usura. Le parti che vengono a contatto con la lamiera vengono inoltre temprate e rettificate.

Infine, note le definizioni di matrice, punzone e premilamiera è possibile introdurre un'ulteriore definizione delle presse a semplice, a duplice e a triplice effetto. In una *pressa a semplice effetto* l'attuatore principale movimentata la traversa mobile, cui è collegato il punzone, che stampa la lamiera. In una *pressa a duplice effetto* per prima cosa scorre verso il basso il premilamiera e in un secondo tempo il punzone. Infine in una *pressa a triplice effetto* ai movimenti verso il basso di punzone e premilamiera si aggiunge il moto verso l'alto di un contro-punzone, azionato da un attuatore idraulico/pneumatico. Le prime due tipologie sono rappresentate graficamente in *Figura 1.13*.



**Figura 1.13:** Pressa a semplice effetto (destra) e pressa a duplice effetto (sinistra)

### 1.1.5 Impianto ad azoto

L'impianto ad azoto dello stampo è costituito da cilindri ad azoto, valvole, tubi, raccordi e pannelli di controllo. Questi ultimi sono adibiti al caricamento, regolazione, scaricamento e controllo della pressione nel sistema in caso di impianto ad azoto collegato.

I cilindri ad azoto possono infatti essere **autonomi**, ovvero indipendenti gli uni dagli altri o, **collegati**; la scelta è dettata dal lavoro preventivato a progetto e consente di sfruttare al massimo le condizioni di ciclo richiesto. I cilindri collegati comportano i seguenti vantaggi:

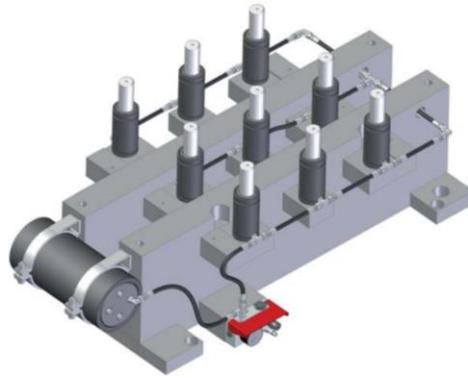
- Pressione uguale in tutti i cilindri;
- Controllare la pressione equivale a controllare la forza;
- Aumentare/ridurre la pressione equivale ad aumentare/ridurre la forza.

La regolazione di Pressione/Forza può essere eseguita tra un valore di prestazione massimo e minimo di pressione consentita dal costruttore senza pregiudicare l'efficacia di funzionamento e, avviene tramite il pannello di controllo con manometro (analogico o digitale) che ha anche funzione di carico/scarico del circuito tramite valvola.

Per contro i cilindri autonomi garantiscono la massima prestazione di Pressione/Forza consentita dal costruttore, per questo, vanno sempre posizionati nella parte rigida dello stampo, ovvero la parte che imprime la forza vincendo quella della parte mobile.

Nel caso di utilizzo in attrezzature complesse, come nel settore dello stampaggio, possono essere impiegati più sistemi di cilindri per funzioni diverse, sia autonomi che autonomi collegati anche in contrapposizioni tra loro in base a sé occorra il massimo della forza, quindi con curva di ciclo certa o, se ci sia la necessità di regolazione alle condizioni imposte in tolleranze dalla qualità del prodotto finito. Il layout dei cilindri all'interno dello stampo è vincolato dalla geometria e dalla resistenza (tipo lamiera, spessore, ecc.) del particolare da stampare e, dalle architetture della fusione dello stampo che li contiene.

Nel modo di funzionamento non autonomo i cilindri possono essere collegati ad un polmone di compensazione esterno (*Figura 1.14*) il cui scopo principale è quello di contenere l'aumento di pressione nel sistema entro limiti prefissati e minori rispetto al normale incremento dato dalla compressione degli steli-pistoni in modo da garantire una forza più o meno costante durante la corsa dei cilindri ( $F$  iniziale =  $\pm F$  finale).



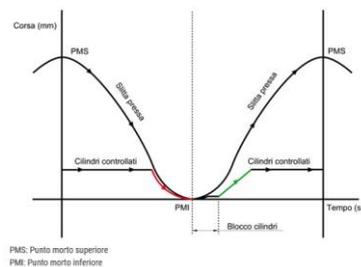
**Figura 1.14:** Cilindri collegati con polmone di compensazione

I cilindri ad azoto possono essere classificati anche in base alla funzione svolta in:

- Cilindri che compiono effettivamente lavoro;
- Cilindri che hanno funzione di servizio/compensazione.

I primi sono quelli che consentono di tenere bloccato il pezzo durante il ciclo e sono generalmente montati sul premilamiera. Quando il premilamiera impatta sulla lamiera, alla forza della pressa (necessaria a stampare la lamiera) si somma la forza esercitata dai cilindri. I secondi possono svolgere funzioni quali riportare la slitta in posizione di riposo, bilanciare lo stampo in termini di forza e così via.

Un'altra tipologia di cilindri ad azoto sono i cilindri a ritorno controllato. Lavorano come normali cilindri ma, nella fase di compressione, terminato il lavoro a fondo corsa, restano bloccati per impedire nella sequenza di ciclo movimenti interferenti all'elemento stampato; il loro ritorno allo stato di riposo (stelo aperto) avviene tramite comando pneumatico programmato. Sono utilizzati per soddisfare esigenze sempre più particolari e specifiche nel campo della lavorazione di elementi in alluminio, conseguenze di sagome complesse (in genere sono idonei per sagome con forma "a scalino") per evitare ritorni elastici. Il funzionamento dei cilindri controllati in un ciclo di lavoro della pressa è riportato sotto forma di diagramma in Figura 1.15 e in forma grafica in Figura 1.16.



**Figura 1.15:** Diagramma di funzionamento dei cilindri controllati in un ciclo di lavoro della pressa

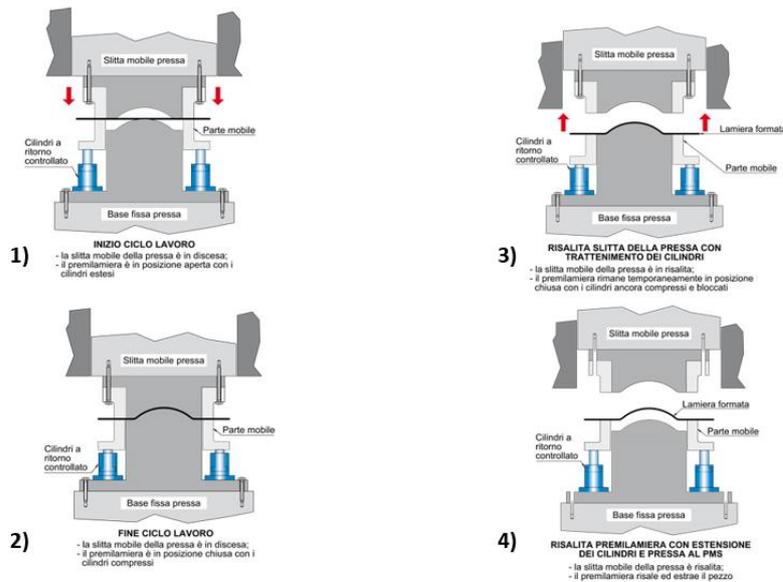


Figura 1.16: funzionamento dei cilindri controllati in un ciclo di lavoro della pressa

Per calcolare la forza iniziale ( $F_0$ ) di un cilindro a gas è sufficiente moltiplicare la pressione di caricamento massima ( $P$ ) per l'area di tenuta, stelo o pistone, della guarnizione ( $S$ ).

$$F_0 = P \cdot S$$

Durante l'operazione di stampaggio, la compressione dei cilindri determina un incremento, rispetto al valore di caricamento, della pressione all'interno della camera e di conseguenza si ha un aumento dello Forza. Per tutti i modelli è fornita dalla casa produttrice sia la forza finale isoterma che politropica.

La forza finale isoterma con il 100% della corsa utile c.u., è un valore calcolato in condizioni statiche che, non tiene conto dell'effetto della temperatura. Questo dato non considera una situazione tipica in lavoro, poiché mostra la curva che si otterrebbe se si comprimesse e si rilasciasse successivamente il cilindro per un solo ciclo.

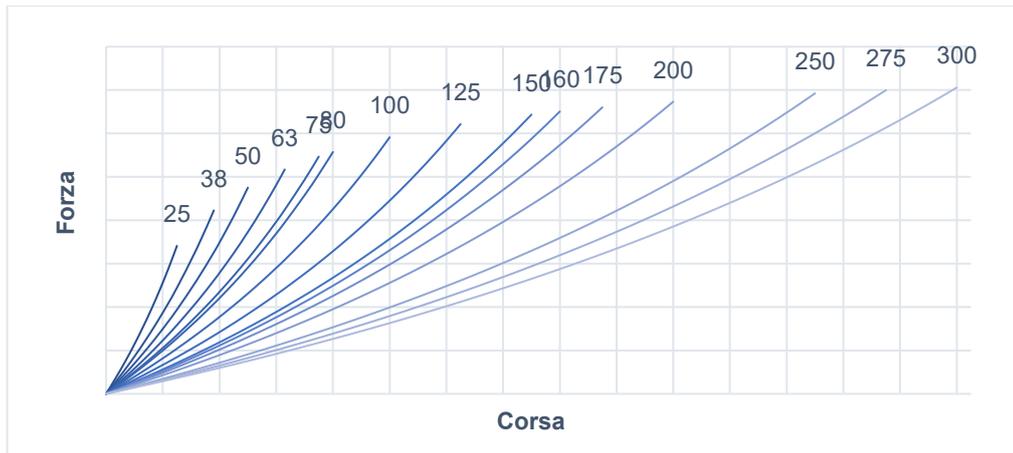
La forza finale politropica con 100% della corsa utile c.u., è un valore più realistico quando il cilindro è in condizioni di lavoro. Rappresenta il valore di condizione di lavoro a regime con velocità di ciclo costante calcolata a 30 cicli al minuto (valore medio di funzionamento per questa tipologia di cilindri) e, una temperatura costante e pari a 20 °C dell'ambiente in cui operano i cilindri. Essendo però la temperatura del gas all'interno del cilindro non costante e dipendente da corsa nominale, corsa di lavoro, velocità della pressa, numero di cicli al minuto, volume del gas, temperatura dell'ambiente di lavoro, etc. la forza finale politropica dovrebbe essere calcolata caso per caso.

La forza intermedia isoterma  $F_{x_i}$  ad una determinata corsa di lavoro  $C_x$  è data dalla Formula (?) dove l'esponente  $n$  varia in funzione della pressione di caricamento  $P$  come indicato nella Tab.1 (per valori intermedi di pressione è possibile calcolare il valore di  $n$  proporzionalmente).

$$F_{x_i} = P \cdot S \cdot \left( \frac{1}{1 - \frac{S}{V_0} \cdot \frac{C_x}{10}} \right)^n$$

Per calcolare un valore approssimato di forza intermedia politropica  $F_{x_p}$  ad una determinata corsa di lavoro  $C_x$  l'esponente  $n$  può essere assunto pari a 1,58 per la maggior parte delle normali applicazioni.

Ne risulta un andamento della forza in funzione della corsa, per differenti valori della corsa utile, del tipo riportato in Figura 16.



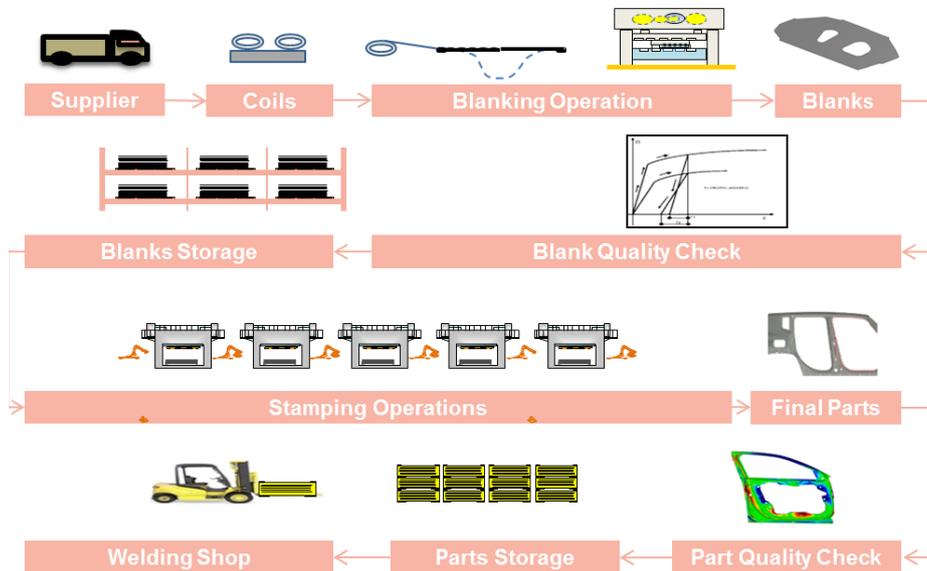
**Figura 1.17:** Forza in funzione della corsa, per differenti valori della corsa utile

Va evidenziato che i valori numerici e grafici indicati nei cataloghi per ogni tipologia di cilindri di ogni costruttore, pur rispettando le normative di intercambiabilità funzionali e dimensionali, difficilmente possono essere certi, indicano dei valori più o meno intermedi.

Ecco che la possibilità di monitorare i parametri di Pressione e di Forza è fondamentale per stabilire la ripetibilità della qualità del prodotto dovute a condizioni anche meccaniche ( $F$  pressa a parità di tonnellaggio dichiarato), in particolar modo se si considera che già da solo il tonnellaggio di una pressa non è misurabile facilmente e a parità di caratteristiche tra una pressa e l'altra i parametri possono variare.

## 1.2 Lo stampaggio della lamiera in ambito automotive

### 1.2.1 Stampaggio a freddo della lamiera

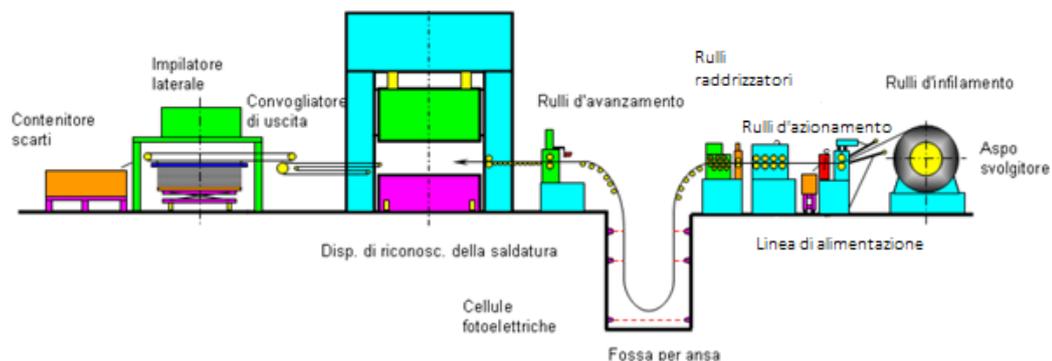


**Figura 1.18:** Processo di stampaggio lamiera in ambito automotive

Una parte metallica con forme complesse non può essere ottenuta con una singola operazione di stampaggio, pertanto il processo di stampaggio a freddo di un particolare in lamiera di grandi dimensioni ad uso automotive richiede più operazioni di formatura, taglio e piegatura sul foglio di lamiera utilizzato, operazioni realizzate su linee di presse specializzate. In *Figura 1.18* è riportato a titolo di esempio lo schema del processo produttivo di una fiancata.

Il processo di stampaggio a freddo ha inizio con l'arrivo all'interno dello stabilimento del coil di lamiera nel caso di lavorazione dell'acciaio o, di semilavorati sagomati nel caso di lavorazione dell'alluminio. Ciò accade per ragioni di sicurezza in quanto le polveri di alluminio sono altamente infiammabili e, non si dispone internamente di una linea di tranciatura adeguata a rispondere a tale problematica.

La prima operazione, indicata con la sigla Op.10, è la **tranciatura** sviluppata su di una linea dedicata (*Blanking Line*). L'ottenimento di sviluppi impilati perfetti, puliti e conformi alle tolleranze prestabilite è il presupposto indispensabile per la produzione di particolari imbutiti di elevata qualità in quanto, gli errori commessi nella materia prima, si ritrovano quasi sempre ingranditi per il processo di stampaggio nel particolare finito. Per questo motivo, gli sviluppi per i grandi particolari di carrozzeria, vengono realizzati su appositi impianti di tranciatura, in grado di produrre una quantità di sviluppi molto maggiore di quella che la produzione di particolari imbutiti è in grado di lavorare; di conseguenza, un solo impianto trancia sviluppi alimenta diverse linee di produzione.



**Figura 1.19:** Layout della linea di tranciatura del Press Shop di Mirafiori - Vista frontale

In *Figura 1.19* è riportato il layout della linea di tranciatura del Press Shop di Mirafiori costituita, seguendo il flusso produttivo, da: un aspo svolgatore per il caricamento e lo svolgimento del coil; una cesoia che consente di eliminare il primo e l'ultimo tratto del coil che sono normalmente danneggiati; una fossa per ansa il cui compito è quello di evitare le deformazioni che potrebbero presentarsi a seguito del passaggio dal moto continuo dato dai rulli al moto alterno dato dalla pressa; la pressa per la realizzazione della tranciatura effettiva; un convogliatore di uscita e un impilatore laterale. Prima di essere portate a magazzino, le lamiere sono sottoposte ad un controllo qualitativo.

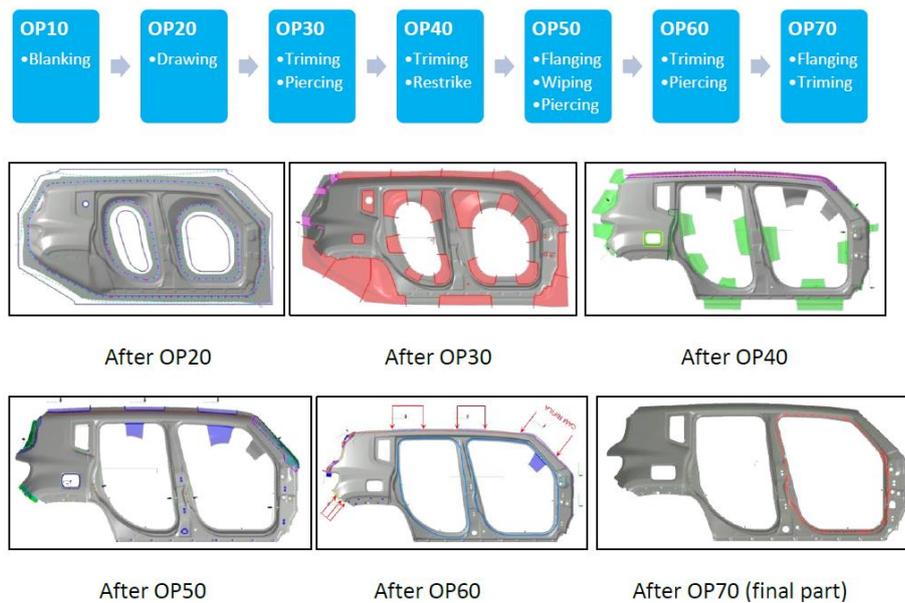
Anche per le operazioni successive si utilizza la stessa nomenclatura, incrementando ad ogni passo di dieci il numero indicativo dell'operazione. L'utilizzo di numeri multipli di dieci è legato alla possibile presenza, tra una pressa e la successiva, di punti di sosta intermedi, identificati mediante l'utilizzo di multipli di cinque.

La prima operazione dopo la tranciatura, sicuramente la più importante, è l'**Imbutitura** (Op20) mediante la quale viene conferita al pezzo una forma prossima a quella finale. L'operazione successiva è il taglio della lamiera eccedente il pezzo che si vuole produrre e viene detta **Rifilatura**. La rifilatura completa del pezzo può essere eseguita su uno stampo o, ripartita su più stampi, in funzione delle dimensioni del pezzo, della sua complessità e della capacità che ha il sistema pressa-stampo di evacuare gli sfridi dalla linea. Le operazioni successive servono per piegare le alette nella forma e inclinazione desiderata e vengono indicate con il nome di **Flangiatura**. Le lamiere vengono quindi sottoposte ad un'azione di flessione oltre il limite elastico del materiale per cui, la Flangiatura, viene applicata in zone in cui è richiesta un'elevata rigidità torsionale e flessionale e, che diventeranno poi rinforzi per i componenti del veicolo. Segue poi un'operazione di **Assestamento**, atta a far assumere al pezzo il profilo definitivo riducendone gli angoli di raccordo ed assestando il materiale secondo le tolleranze geometriche richieste. L'assestamento viene applicato nelle zone perimetrali o zone di maggiore importanza geometrica (in particolare su piccoli raggi), in modo che le tolleranze rientrino nei limiti preimpostati, requisito che non può essere garantito completamente solo con operazioni di imbutitura. Inoltre, senza l'assestamento, le deformazioni plastiche dovute all'operazione di estrazione genererebbero tensioni residue che andrebbero ad intaccare la qualità del pezzo finito. Nelle ultime operazioni c'è la **Foratura**.

Imbutitura, flangiatura e assestamento sono operazioni di formatura, mentre rifilatura e foratura sono operazioni di sagomatura.

Le operazioni di rifilatura, foratura e flangiatura possono essere eseguite in **verticale** (secondo il moto della pressa) oppure nel caso in cui il taglio presenti una componente orizzontale tramite sistemi CAM che sfruttando la forza trasmessa della pressa, riescono a convertire la spinta verticale in una con direzione diversa (la scelta dipende dalla forma del pezzo che è necessario produrre).

Generalmente è richiesto un numero massimo di sei operazioni per Fiancate e Parafanghi e di cinque operazioni per gli altri componenti. È riportato a titolo di esempio in *Figura 1.20* il ciclo di stampaggio di una fiancata.



**Figura 1.20:** Esempio di Processo di Stampaggio di una fiancata

Prima dell'immagazzinamento le parti stampate sono sottoposte ad un controllo qualitativo. In particolare viene effettuato un primo controllo manuale dagli operatori a fondo linea e, successivamente un controllo automatico in *Sala Metrologica* mediante l'utilizzo di macchine di misura ottica che offrono dati completi relativi agli scostamenti tra le coordinate 3D effettive e i dati CAD di progetto.

Dopo queste operazioni il pezzo è finito e può essere trasferito in un primo momento in magazzino e successivamente al *reparto saldatura (welding shop)*.

### 1.2.2 Stampaggio a caldo

Nel tempo c'è stata un'evoluzione nell'ambito dei materiali utilizzati per la carrozzeria della vettura al fine di:

- ridurre il peso (in modo da ridurre anche l'impatto ambientale conseguente al risparmio di carburante);
- soddisfare i requisiti specifici di maggior sicurezza nei crash test.

Ciò ha influenzato naturalmente anche il processo di stampaggio con un incremento delle parti realizzate con lavorazioni a caldo, attualmente costituenti circa il 13% in peso delle autovetture FCA. Lo stabilimento del gruppo adibito a questo tipo di lavorazione è quello di Cassino.

La principale differenza tra lo stampaggio a freddo e lo stampaggio a caldo è che, mentre nel primo caso la lamiera subisce solo un cambio di geometria attraverso un processo di deformazione plastica, nel secondo caso si ha anche un cambiamento nella struttura del materiale.

Il materiale più comunemente usato nello stampaggio a caldo è l'Fe1500HotRiv, generalmente rivestito con uno strato di alcuni micron di alluminio che lo protegge dalla formazione di ruggine.

Il processo ha inizio con l'arrivo all'interno dello stabilimento del coil di lamiera, dal quale si ricavano i diversi blanks mediante l'utilizzo di una linea di tranciatura, o con l'arrivo di semilavorati sagomati. Il blank nel caso di stampaggio a caldo ha dimensioni molto vicine a quello del pezzo finale perché più lamiera c'è, più è complesso realizzare la lavorazione.

Si ha poi il processo di austenizzazione ad alte temperature, un trattamento a caldo nella fornace in cui l'elemento è riscaldato fino a raggiungere una temperatura di circa 920 °C. Un parametro importante è il tempo necessario affinché la lamiera raggiunga la temperatura desiderata; se il materiale viene riscaldato troppo in fretta si ha in alcune zone la perdita del rivestimento in alluminio e ciò crea problemi nella successiva saldatura dei diversi elementi, porta alla formazione di polveri di alluminio e di ruggine.

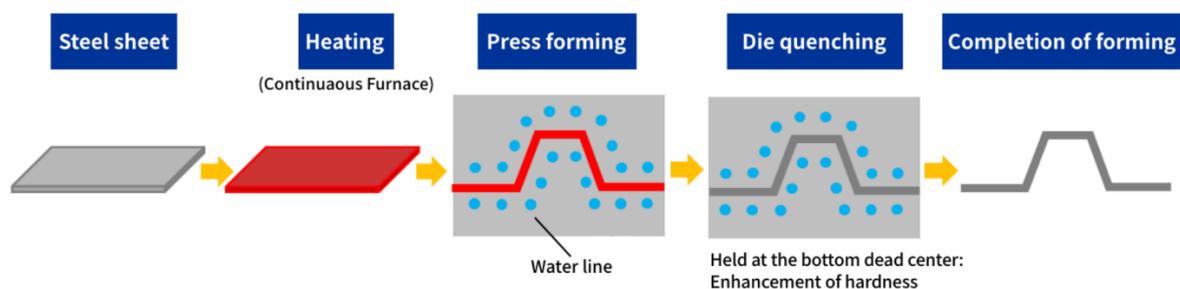
In uscita dalla fornace le lamiere riscaldate vengono trasferite alla pressa, in questo caso di tipo idraulico (per cui la forza e la velocità di stampaggio possono essere regolate agendo sul settaggio dei cilindri idraulici), e allo stampo di imbutitura per la formatura che deve avvenire quando il pezzo è ancora caldo. In questo modo, si possono ottenere forme complesse poiché il materiale ha una formabilità eccellente ad alte temperature.

L'utensile di stampaggio è raffreddato ad acqua, che scorre ad una temperatura di circa 10°C all'interno di canali realizzati all'interno delle parti formanti (matrice, punzone e premilamiera) dello stampo stesso. Ciò assicura un raffreddamento rapido ed uniforme dei componenti stampati, che vengono così sottoposti ad un trattamento di tempra, con formazione di martensite, prima del loro scarico e del trasferimento alle successive lavorazioni.

L'apertura dello stampo può avvenire solo quando il pezzo ha raggiunto una temperatura di circa 200 °C; con temperature superiori il pezzo è ancora facilmente deformabile. Il tempo necessario a raggiungere tale temperatura è tempo ciclo di produzione per cui uno degli obiettivi di chi si occupa dello stampaggio a caldo è proprio quello di cercare di ridurlo al minimo possibile, operando in genere sulla portata di acqua che attraversa i canali.

Dopo aver formato il pezzo è necessario procedere con le operazioni di taglio. Dato che a valle di questo processo il materiale presenta un'elevata durezza e, talvolta, lo spessore della lamiera può essere anche elevato, l'angolo di taglio deve essere di 90° con un errore massimo di  $\pm 2^\circ$ . Pertanto, se il pezzo è troppo complesso il taglio è effettuato con il laser, altrimenti si esegue la tranciatura mediante l'utilizzo di quattro presse in linea; si parla in quest'ultimo caso di *hard cutting*, sistema di taglio più rapido rispetto al precedente.

Il processo di stampaggio a caldo è sintetizzato in *Figura 20*.



*Figura 1.21: Processo di stampaggio a caldo*

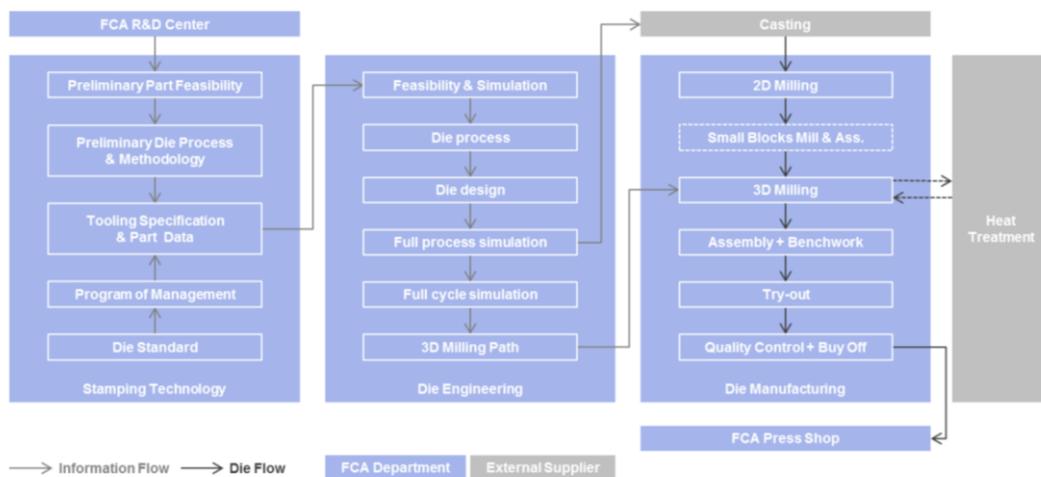
Gli elementi prodotti con lo stampaggio a caldo sono caratterizzati da elevata durezza, forme complesse ed effetti minimi del ritorno elastico. È necessario però considerare che il comportamento ottimale del materiale si ottiene con la trasformazione strutturale della austenite in martensite per cui è importante prestare attenzione alla velocità di riscaldamento e di raffreddamento.

### 1.3 Progettazione e costruzione stampi

Nel paragrafo precedente è stato illustrato come lo stampaggio della lamiera in ambito automotive richieda molteplici operazioni. Lo stampo assicura il completamento di tutte le operazioni necessarie alla realizzazione del componente a partire dalla lamiera pertanto, più operazioni di stampaggio richiedono più stampi.

La progettazione degli stampi consiste nel disegnare in tre dimensioni tramite strumenti CAD ciascuno stampo. Il processo inizia una volta ricevuta la matematica e la geometria del componente dal Centro di Ricerca e Sviluppo di FCA (*R&D Center*) subito dopo la fase di pianificazione, ovvero dopo che sono state prese le decisioni relative al modello di auto, all'impianto di produzione e alle stime dei tempi di lancio commerciale. Si ha poi la selezione del materiale, ad esempio selezionando il grado, lo spessore e il trattamento termico dell'acciaio da ciò che viene normalmente fornito dall'acciaieria. Seguono analisi di fattibilità per ogni materiale selezionato che portano a un piano di processo. Successivamente, il design della superficie dello stampo inizia con la simulazione agli elementi finiti e le prove numeriche mediante l'utilizzo dei software di simulazione *Pamstamp* e *Autoform*, seguite da test effettivi. I software di simulazione utilizzano come dati in ingresso le caratteristiche della lamiera, il modello CAD degli utensili, il moto degli utensili ed altre informazioni di dettaglio.

I progetti di stampi di successo verranno quindi costruiti e validati attraverso una serie di prove nella struttura del produttore di stampi e, poi, sulla linea di stampaggio, utilizzando un numero diverso di parti e strategie di validazione dimensionale.



**Figura 1.22:** Panoramica di tutte le attività del Mirafiori Press Shop&Dies

All'interno del Mirafiori Press Shop & Dies tale processo si sviluppa grazie al lavoro in parallelo di tre macro aree:

- *Area Tecnologie;*
- *Area Die Engineering;*
- *Area Die Construction.*

All'interno dell'*Area Tecnologie* si realizza uno studio preliminare di fattibilità della sola imbutitura e una definizione preliminare della metodologia, ovvero la ripartizione delle operazioni di formatura, taglio, piegatura, foratura tra i vari stampi, elaborata con strumenti CAD 3D disegnando in tre dimensioni le varie operazioni (il documento realizzato viene detto in gergo **Metodo**). L'Area Tecnologie interviene poi nel controllo del progetto proveniente dall'Area Die Engineering, nel monitoraggio del lavoro dei fornitori durante la costruzione stampi e nell'Homeline Try Out.

L'*Area Ingegneria* o *Area Die Engineering* produce il Metodo 3D definitivo simulando l'intero processo, i cinematismi delle attrezzature contenute negli stampi e la traslazione degli elementi da una stazione alla successiva. Grazie alla simulazione dell'intero processo è possibile prevedere in anticipo difetti geometrici ed estetici e di adottare di conseguenza un'adeguata strategia di compensazione.

Infine attività principali dell'*Area Die Construction* sono: elaborazione del percorso utensile per fresatura 2D e 3D dello stampo; fresatura 2D e 3D, rifinitura a mano, assemblaggio e prova stampo, controllo qualità del pezzo stampato e, consegna dello stampo all'impianto di produzione.

Nella progettazione e costruzione di stampi effettivi è impossibile eseguire ogni lavoro sopra citato uno per uno ma alcune attività devono essere svolte in parallelo per risparmiare tempo. Il flusso di lavoro effettivo è

regolato da un metodo di gestione chiamato Time to Market (TTM). Il TTM è il tempo intercorrente tra il ricevimento dell'ordine dal centro di ricerca e sviluppo e l'inizio della produzione in massa.

Il TTM del Die Shop di FCA copre una finestra temporale di 15 mesi e presenta 7 punti di controllo:

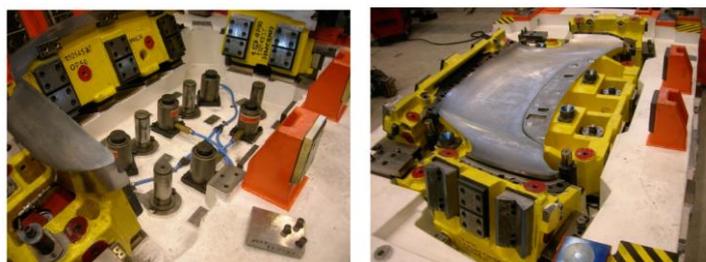
- **Step 1:** l'Area Tecnologie riceve la matematica e la geometria del componente make da stampare dal reparto R&D; si sviluppano in parallelo lo studio preliminare di fattibilità e il Pre-Metodo.
- **Step 2:** il dipartimento di ingegneria riceve il modello dal dipartimento di tecnologia, iniziano gli studi di fattibilità e simulazione, vengono assegnate le metodologie di stampaggio e ha inizio la progettazione dello stampo. Assi, tolleranze e correlazioni dei fori sono definiti. Eventuali non conformità, geometriche ed estetiche, sono così localizzate e risolte assegnando la configurazione geometrica ottimale e/o variando i parametri operativi. In tale sede si effettua anche la scelta dei componenti in funzione della forza da produrre (determinata in fase di simulazione), della struttura della fusione e degli ingombri.
- **Step 3:** la struttura degli stampi è generalmente realizzata in ghisa o acciaio e ottenuta tramite fusione a partire da strutture in polistirolo che servono come anime per la colata. Con lo Step 3 la fonderia riceve il modello nominale dal dipartimento di ingegneria e ha inizio la fusione. Una volta ricevuta la fusione grezza, visibile in Figura 1.23, essa deve essere sottoposta a controllo, generalmente controllo della durezza del materiale e controllo visivo.



*Figura 1.23: Fusione grezza in arrivo dalla fonderia*

Se il pezzo è conforme si eseguono le lavorazioni meccaniche richieste iniziando con la fresatura delle superfici di servizio (es. tutte le superfici piane ed i fori) o fresatura 2D con macchine a Controllo Numerico. In questo caso il percorso utensile è generato a bordo macchina a causa dell'elevata variabilità delle tolleranze dei grezzi di fusione.

- **Step 5:** si eseguono le lavorazioni *sculturate* o fresatura 3D ovvero lavorazioni con cui si va a sagomare la forma dell'oggetto. Questo avviene in tre passaggi: sgrossatura, pre-finitura e finitura. Essendo, a valle delle lavorazioni di servizio, la fusione nota ed essendo la qualità e la rugosità superficiale richieste per il pezzo finale standardizzate, il percorso utensile è adesso generato precedentemente alla lavorazione all'interno dell'ufficio CAD/CAM. Ciò consente di ridurre il peso legato agli elevati tempi di calcolo richiesti da tale operazione e consente di poter effettuare un lavoro non presidiato. La fusione grezza, una volta lavorata tramite fresatura e foratura e, una volta sottoposta ad un processo di controllo della qualità dimensionale mediante l'utilizzo di una macchina di misura a coordinate (*coordinate measuring machine CMM*), è idonea al montaggio dei componenti necessari al funzionamento degli stampi (es. piastre guida, colonne guida, lame di trancia ecc.) per cui si procede con l'assemblaggio dello stampo in tutte le sue parti, inclusi gli impianti elettrico, ad aria compressa e ad azoto (*Figura 1.24*). Infine le figure dello stampo e tutti i premilamiera sono sottoposti ad un'attività di lisciatura al fine di renderli perfettamente lucidi e far scorrere la lamiera durante il processo di formatura nel modo idoneo.



*Figura 1.24: Particolare dell'impianto ad azoto (a sinistra) e impianto inserito nello stampo (a destra)*

A questo punto, terminato il processo costruttivo, lo stampo viene provato con l'utilizzo di un'apposita pressa, in questo caso idraulica, per verificarne il corretto funzionamento. Questa fase è detta *Dies Try-Out* e prevede la messa a punto dello stampo in funzione dei risultati ottenuti in termini di qualità dei componenti stampati. Questi ultimi sono misurati mediante l'utilizzo di appositi calibri (Figura 23);

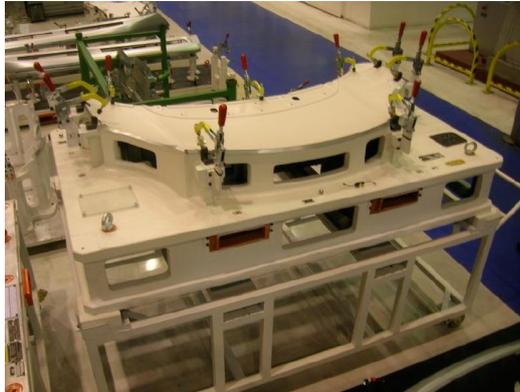


Figura 1.25: Esempio di Calibro di misura

- **Process Verifications Phase (V.P.)**, realizzazione di un numero limitato di particolari per testare il processo di produzione;
- **Pre-Series Phase (P.S.)** che consente di testare sia il processo di produzione che i prodotti in un ambiente su larga scala ma in serie molto più piccole. I veicoli prodotti sono adibiti in questo caso a test e validazioni;
- **Job 1**, inizio della produzione in Serie delle vetture che saranno commercializzate.

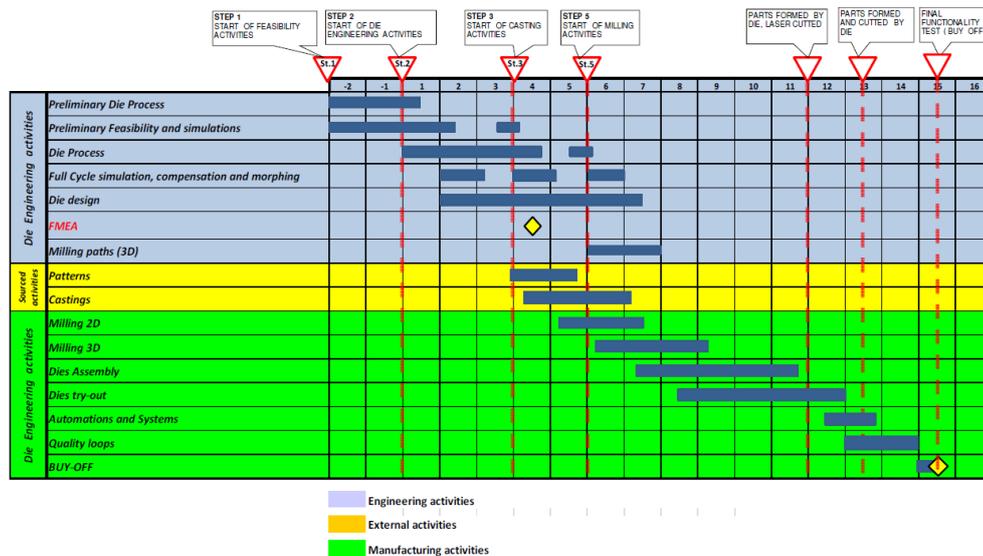


Figura 1.26: TTM e dettaglio delle attività

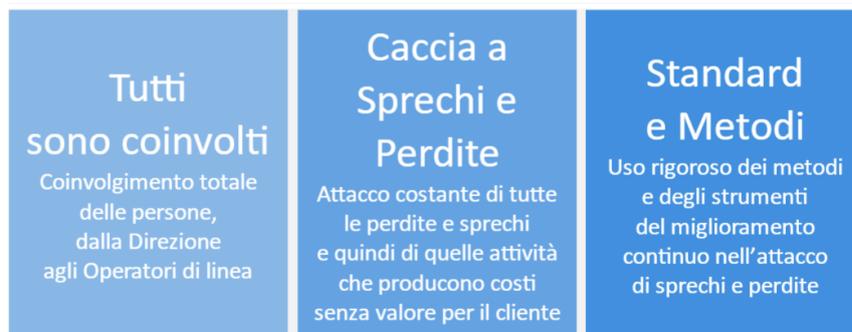
## 2 World Class Manufacturing

Il progetto caso studio di questo elaborato è stato sviluppato seguendo i principi della Metodologia *World Class Technology (WCT)*, estensione della Metodologia *World Class Manufacturing (WCM)* all'ingegneria di produzione.

Pertanto, all'analisi del *WCM* e del *WCT*, è dedicato il presente Capitolo.

### 2.1 Metodologia World Class Manufacturing

Gli stabilimenti del Gruppo FCA adottano il sistema World Class Manufacturing (WCM), una metodologia di produzione basata sul miglioramento continuo di tutte le performance produttive e in cui tutte le azioni di miglioramento sono misurate con la logica **zero infortuni, zero sprechi, zero guasti, zero difetti e zero scorte**, si realizzano grazie al coinvolgimento di tutti ad ogni livello gerarchico dell'organizzazione e, attraverso l'impiego rigoroso di metodi e strumenti standard. [2]



**Figura 2.1:** Principi della Metodologia World Class Manufacturing

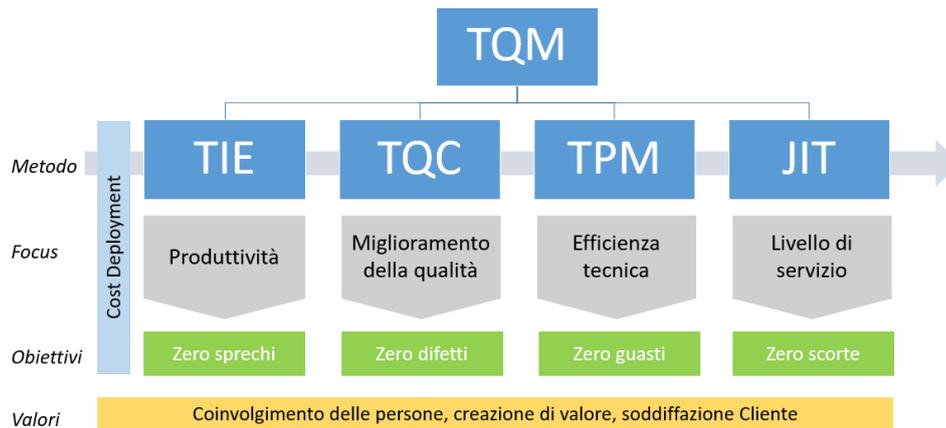
Il WCM, teorizzato dal professore giapponese Hajime Yamashina verso la metà degli anni 2000 negli USA, è stato adottato nel 2005 da Fiat Chrysler Automobiles come metodo standard di gestione della produzione e, successivamente esteso sia ai suoi fornitori che ad altre aziende strettamente collegate.

Il WCM trova le sue radici storiche nel Toyota Production System, sistema di produzione che applica i concetti della 'produzione snella' o 'Lean production' per ridurre le perdite e gli sprechi nascosti dentro il processo di produzione aumentando così l'efficienza e la produttività.

Al vertice della Metodologia WCM troviamo il Total Quality Management (TQM), il modello adottato per la gestione della qualità totale dell'azienda in termini di Sicurezza sul lavoro, Qualità del prodotto, Livello di Servizio e Costo. Il TQM utilizza quattro sistemi operativi (*Figura 2.2*):

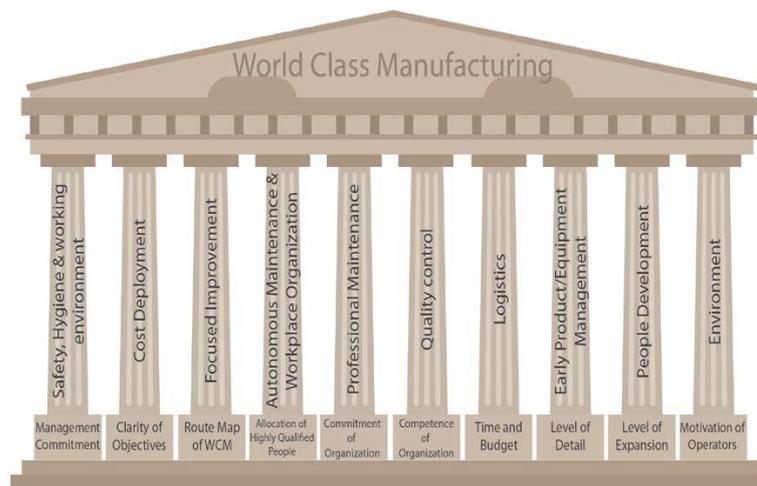
- *Total Industrial Engineering (TIE)*: opera nei processi di produzione manuali con l'obiettivo di massimizzare la produttività della manodopera tramite l'azzeramento degli sprechi in termini di attività non ergonomiche e senza valore aggiunto (ad esempio: Attese, movimenti inutili, etc.);
- *Total Quality Control (TQC)*: opera con l'obiettivo di azzerare i difetti, migliorando la qualità dei prodotti, attraverso il controllo del processo con logica di prevenzione e l'adozione dei sistemi 'poka yoke' (a prova di errore);
- *Total Productive Maintenance (TPM)*: opera nei processi di produzione automatici e ha come obiettivo la massimizzazione dell'efficienza degli impianti tramite l'azzeramento dei guasti macchina;
- *Just In Time (JIT)*: lavora per ottimizzare i processi logistici di gestione materiali e rifornimento delle linee produttive con l'obiettivo di azzerare le scorte.

I quattro sistemi operativi sono guidati dal *Cost Deployment*, un metodo di analisi dei costi volto ad evidenziare e quantificare le perdite e gli sprechi presenti nel processo produttivo, individuandone le cause.



**Figura 2.2:** Logica del WCM

La metodologia WCM si articola in dieci Pilastri cosiddetti Tecnici ed altrettanti Pilastri Manageriali, ognuno dei quali è focalizzato su tematiche specifiche. Per capire il ruolo di suddetti pilastri all'interno della struttura complessiva si è soliti paragonare il WCM ad un tempio, rappresentato in *Figura 2.3*, le cui colonne sono rappresentate dai Pilastri Tecnici e alla cui base troviamo i Pilastri Manageriali.



**Figura 2.3:** Pilastri Tecnici e Pilastri Manageriali del WCM

I Pilastri Tecnici sono riferiti a tutte le funzioni fondamentali del sistema di produzione e, operano in funzione di specifici obiettivi che ne costituiscono la guida e l'orientamento. I Pilastri Tecnici si sviluppano con la logica dei 7 step che rappresentano il flusso di applicazione del pilastro dalle fasi iniziali (passo 1) fino all'implementazione totale, in termini sia di estensione nella fabbrica sia di uso adeguato degli strumenti del pilastro (passo 7). Il numero sette non è causale in quanto esso rappresenta il numero minimo di passaggi che consente di avere un buon livello di accuratezza e, il numero massimo affinché sia possibile memorizzare i diversi step.

Esistono tre livelli nell'approccio ai problemi:

1. *Reattivo*, viene individuato il problema e in seguito si mettono in pratica azioni correttive per ridurne gli effetti negativi;
2. *Preventivo*, si analizzano i processi, se ne individuano i problemi e si identificano le cause al fine di rimuoverle;

3. *Proattivo*, si studia il processo e le sue possibili problematiche per prevenire, migliorando il processo e gli standard di lavoro.

Come quelli Tecnici, i Pilastri Manageriali comprendono tutte le responsabilità del Management dello stabilimento (dalla Direzione ai Manager operativi di tutto lo stabilimento) per far sì che il programma WCM si sviluppi con il sostegno necessario, seguendo un piano guidato dagli obiettivi dello stabilimento e costantemente monitorato.

### 2.1.1 Sistema di audit WCM

Il WCM prevede un sistema formalizzato di audit, finalizzato a valutare nel modo più obiettivo possibile il grado di implementazione della Metodologia da parte degli stabilimenti.

La valutazione viene fatta per ciascuno dei Pilastri Tecnici e Manageriali secondo criteri che considerano sia il rigore nell'uso di metodi e strumenti dei pilastri, sia il miglioramento del KPI di stabilimento (indicatori chiave dei processi di manufacturing).

Avere un metodo oggettivo di valutazione consente di identificare gli stabilimenti migliori, che diventano un punto di riferimento per l'intero gruppo e, di creare una competizione positiva tra i diversi stabilimenti stimolandone il miglioramento continuo.

Esistono tre livelli di audit:

- *Autovalutazioni*, gestite internamente dagli stabilimenti;
- *Audit Interni*, tenuti periodicamente e durante i quali viene attribuito ad ogni stabilimento un punteggio da parte di auditor esterni;
- *Award audits*, per gli stabilimenti che raggiungono un punteggio tale da ricevere una qualifica formale nel programma WCM (Medaglia di Bronzo, Argento, Oro e World Class).

Nel corso della valutazione dello stabilimento viene analizzato il lavoro di ciascun pilastro, attribuendo poi a ciascuno di essi un punteggio da 0 a 5. La somma dei punteggi ottenuti in ciascun pilastro costituisce il *Methodology Implementation Index (MII)*, il cui range varia da 0 ad un massimo di 100. Stabilimenti con valori alti dell'MII sono premiati con il ricevimento di una medaglia da parte della *World Class Manufacturing Association* (50 = *Bronze Medal*; 60 = *Silver Medal*; 70 = *Gold Medal*; 85 = *World Class*).

Affinché uno stabilimento possa ricevere un audit per un award è necessario il rispetto preventivo di una serie di KPI (indicatori chiave). I KPI sono diversi e relativi alle varie componenti del sistema di produzione, quali ad esempio:

- aree di estensione della metodologia WCM e numero di step implementati;
- la sicurezza in termini di frequenza degli incidenti;
- riduzione percentuale anno su anno del costo di trasformazione;
- qualità (scarti, rilavorazioni, garanzie, indagini di mercato);
- gestione del personale.

L'introduzione della metodologia WCM all'interno del gruppo FCA ha portato a numerosi vantaggi che possono essere sintetizzati in due macro-categorie:

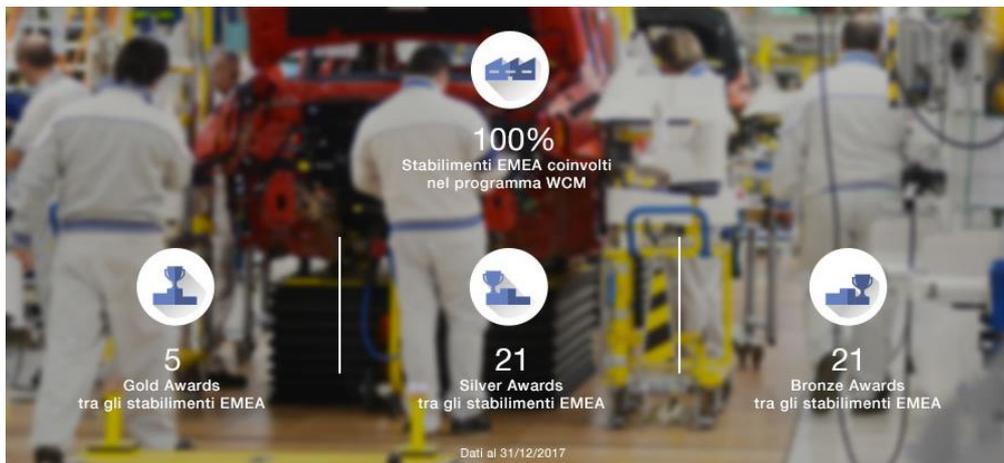
- *Aumento delle performance del singolo stabilimento sia in efficienza che in efficacia*, vantaggi rintracciabili in un concetto chiave, descritto da una strategia di condivisione, detta anche *plant sharing*;
- *Sviluppo della forza del Gruppo intesa come entità e comunità*: l'introduzione a livello *worldwide* del WCM aiuta a creare innanzitutto una sana competizione tra gli stabilimenti; la presenza di un vocabolario comune rende più facili le comunicazioni e, in generale, lo scambio di informazioni tra stabilimenti; infine, un Gruppo che persegue una strategia comune è senza dubbio un Gruppo forte.

In FCA il metodo è utilizzato da più di dieci anni. Ha dato vita a oltre **62.000 progetti** valorizzando **18.000 best practice**; ha formato circa **1.600** specialisti che hanno sviluppato **336** strumenti atti allo scopo; ha formato gli operatori che solo nel 2018 hanno fornito più di **2,6 milioni** di suggerimenti di miglioramento; la Sicurezza

è l'obiettivo primario, e come citato ha permesso di ridurre rispettivamente **del 77% e del 69% il numero e la gravità degli infortuni sul lavoro.**



*Figura 2.4: I numeri del WCM in FCA*



*Figura 2.5: I numeri del WCM nei Plant EMEA*

## 2.2 World Class Technology

Sulla base della lunga esperienza in ambito Produzione del World Class Manufacturing e, dei notevoli risultati ottenuti, in FCA si è avuta l'idea di poter migliorare altri processi aziendali con l'utilizzo dei metodi World Class. Ciò ha portato all'elaborazione di una metodologia, estensione del WCM all'ingegneria di produzione, denominata *World Class Technology*.

L'ingegneria di produzione di Fiat Chrysler ha l'obiettivo di sviluppare una piattaforma strutturata per lo sviluppo delle persone per consentire: lanci verticali consegnati con scarti e perdite minimi; soluzioni ben progettate fornite a costi di investimento competitivi; riduzione continua dei costi del ciclo di vita e forza lavoro altamente motivata.

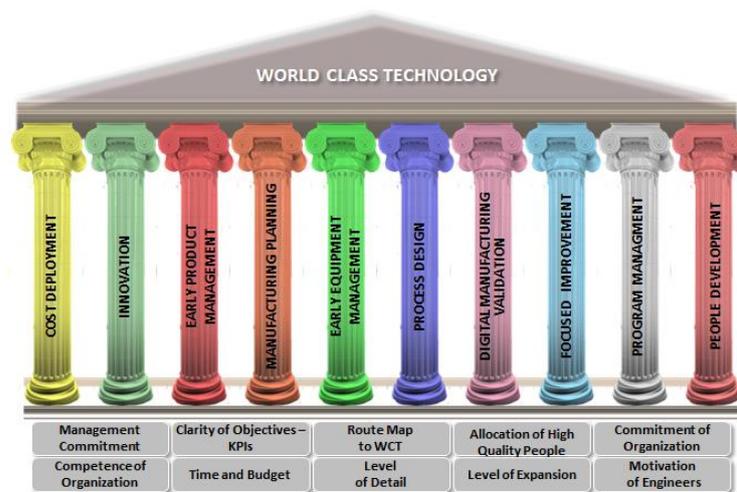
Questi obiettivi possono essere raggiunti solo grazie ad uno sviluppo del personale su larga scala e attraverso un'organizzazione capace di:

- attaccare ogni tipo di spreco e perdita;
- coinvolgere tutti ad ogni livello;
- lavorare a stretto contatto con gli stabilimenti produttivi per comprendere i bisogni dell'operatore;

- stabilire relazioni strategiche con i fornitori;
- sviluppare e implementare nuove tecnologie e soluzioni innovative;
- applicare rigorosamente metodi e strumenti standard;
- distribuire e standardizzare i risultati ottenuti;
- riconoscere e premiare le persone per il loro contributo.

Questi sono i principi su cui si basa la Metodologia WCT che mira pertanto a creare un ambiente ideale di persone, processi e design dei prodotti che lavorano all'unisono per fornire le migliori prestazioni nel lancio di nuovi prodotti e, soluzioni semplici ed ergonomiche per l'operatore che produce prodotti di qualità.

Anche il WCT, come il WCM, è strutturato in 10 pilastri tecnici che racchiudono le capacità tecniche e 10 pilastri manageriali che racchiudono le capacità di leadership e manageriali, come illustrato in *Figura 2.6*. L'ordine dei pilastri non è casuale, i primi tre pilastri del tempo infatti fungono da supporto ai pilastri successivi.



*Figura 2.6: Pilastri Tecnici e Pilastri Manageriali del WCT*

Il caso studio del presente elaborato rientra in un progetto che mira a sviluppare soluzioni innovative per l'ottimizzazione e la digitalizzazione del processo di Stampaggio. Tale progetto rientra pertanto nel perimetro del Pilastro Innovation, per cui si procede all'analisi solo di questo Pilastro.

### 2.3 Pilastro Innovazione

Contrassegnato dal colore verde in *Figura 16* vi è il Pilastro Innovazione. Al pilastro Innovazione vien chiesto di recepire bisogni e analizzare problemi, primi fra tutti quelli legati alle perdite dello stabilimento, per poi definire soluzioni e creare idee, al fine di apportare un miglioramento e/o consentire all'azienda di essere al passo con i tempi e competitiva nel mercato. Per fare ciò, il pilastro ha a disposizione strumenti di lavoro applicabili a più livelli.

Le principali attività del Pilastro Innovazione sono:

- creare una roadmap di 3 anni con priorità per innovazioni mirate e rivoluzionarie, collegate agli obiettivi organizzativi;
- formare partnership strategiche con fornitori, università e organizzazioni industriali/commerciali;
- espandere il know-how e l'applicazione di strumenti di innovazione strutturati in tutta la nostra forza lavoro.

Le idee proposte da tale Pilastro, una volta approvate dalla direzione, diventano un progetto di Innovazione. Nell'ambito dello Stampaggio sono possibili tre tipologie di progetti:

- di iniziativa, ovvero progetti che lo stampaggio si finanzia internamente, per necessità o per prospettive future;
- di innovazione aziendale, in numero minore rispetto ai progetti di iniziativa. Riguardano tematiche più spinte, ricerche/applicazioni non ancora attuate;
- finanziati, ovvero progetti a finanziamento pubblico.

L'output del lavoro svolto sulle singole attività di innovazione, le soluzioni investigate o sviluppate dovranno rappresentare, secondo quanto previsto dal metodo World Class, un input per i restanti pilastri tecnici.

### 2.3.1 Vision, Needs & Objectives

Come per il WCM, ciascun pilastro del WCT ha una propria visione (Vision), bisogni (Needs) e obiettivi (Objectives) rappresentati in *Figura 27*.

La Vision del pilastro Innovation si riassume nei tre punti:

- Creare una cultura aziendale guidata dal pensiero innovativo.
- Trasformare efficacemente le idee in valore aggiunto per la propria azienda.
- Fare della propria azienda un "esempio" in ambito industriale.

Mentre, i bisogni del pilastro Innovation sono sempre tre e, nello specifico:

- Avere a disposizione un processo di sviluppo di programmi o progetti di innovazione efficace.
- Gestire in modo chiaro e strutturato le attività di scouting e benchmarking.
- Possedere un chiaro metodo di classificazione dei progetti di innovazione

Infine, gli obiettivi del pilastro Innovation sono:

- Avere una metodologia condivisa per lo sviluppo di programmi innovativi.
- Usare strumenti Database per idee e progetti.
- Avere programmi e progetti innovativi correlati alle principali strategie e alle principali esigenze della propria organizzazione aziendale.



*Figura 2.7: VNO del Pilastro Innovazione*

### 2.3.2 7 Steps

Come per i pilastri WCM e per gli altri pilastri tecnici WCT, il pilastro Innovation si sviluppa su 7 steps di lavoro routinari, ovvero sette passaggi obbligatori che devono essere ripetuti per ciascun progetto. Nei primi 5 steps, il pilastro riceve dati in ingresso dal resto dei pilastri tecnici, mentre negli ultimi 2 steps fornisce il proprio output quale input per tutti gli altri pilastri come evidenziato nella Figura seguente.

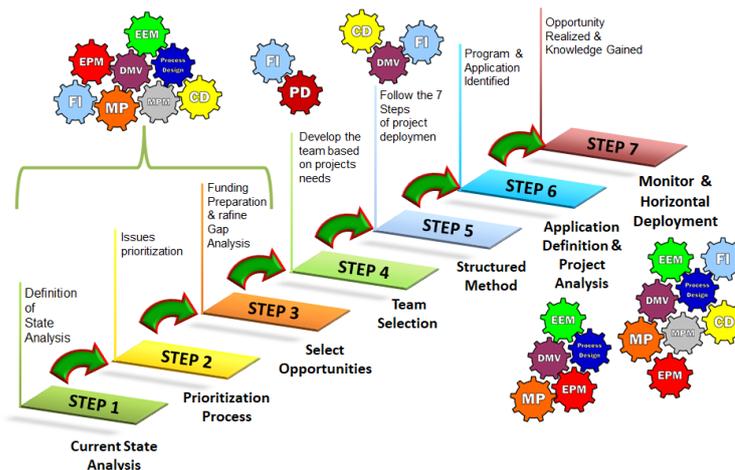


Figura 2.8: 7 Steps

Allo **Step 1** il pilastro deve analizzare lo Stato dell'arte della propria organizzazione. Gli strumenti principali da usare sono:

- L'analisi del gap, attraverso l'individuazione delle principali perdite ma anche attraverso l'analisi concorrenza.
- L'ascolto del personale al fine di raccogliere idee e proposte di vario genere, derivanti anche da progetti passati o progetti in corso.
- Una massiccia attività di scouting e benchmarking rivolta a fornitori, OEM, realtà di ricerca accademica e/o industriale.

Per facilitare e strutturare questa fase di analisi, il pilastro utilizza strumenti dedicati di raccolta delle idee e strumenti di raccolta delle attività di benchmarking. Questi strumenti sono prevalentemente in rete, facilmente accessibili a tutta la popolazione WCT.

In particolare per la raccolta delle idee si è scelto di adoperare il Kaizen System la cui interfaccia è stata sviluppata opportunamente per inserire nuovi suggerimenti (*suggestions*). Le informazioni di base richieste per una suggestion sono (Figura 30): sorgente del progetto e tipo di sorgente; titolo e descrizione della proposta; area di impatto; pilastro WCT di riferimento; loss e model (optional).

Figura 2.9: Informazioni di base su una suggestion

Lo step successivo, ossia lo **Step 2**, raccoglie tutte le idee ritenute valide e derivanti dalla fase precedente di lavoro e le trasforma in vere e proprie proposte di progetto. Tali proposte vengono filtrate in un database di attività per l'Innovazione attraverso un'analisi matriciale atta a dare priorità in base ai seguenti criteri: tempi di ritorno dell'investimento; potenziali campi di impatto positivo della soluzione o delle soluzioni che si intende inseguire col lavoro di ricerca industriale; livello o grado di strategicità della proposta di progetto; tipologia di innovazione; grado di maturità/applicabilità della soluzione che si vuole inseguire col progetto di innovazione proposto (sulla scala dell'indice globalmente riconosciuto Technology Readiness Level TRL);

possibilità di proseguire con una attività che ha già una storia di successo passata o di cominciare da zero con una attività completamente nuova. Ognuno dei punti sopra viene quantificato in uno score per poi essere pesato, al fine di ottenere una precisa valutazione numerica, sulla base dei criteri definiti, della priorità da assegnare alle attività proposte.

Sempre in questa fase di lavoro, la proposta di progetto viene opportunamente collocata nelle roadmaps strategiche della propria organizzazione. Inoltre, per ciascuna proposta, viene preparata una prima scheda descrittiva, detta **One Page**, che riassume i seguenti contenuti: descrizione della proposta; benefici individuati; risultati attesi; timing previsto; spending previsto; team di lavoro; brevettabilità; target di applicazione; punti aperti; coinvolgimento di esterni. Questa scheda continua poi ad essere aggiornata fino allo Step 7.

Allo **Step 3** il management decide quali proposte formulate nello step precedente verranno finanziate e avviate sulla base delle informazioni raccolte. Per agevolare la fase decisionale, lo step 3 prevede una attività di benchmarking più dettagliato sulle proposte e l'individuazione di potenziali collaborazioni strategiche con altre OEMs, oppure con suppliers, piuttosto che con università o Centri di Ricerca. In questa fase, il pilastro valuta attentamente e pone all'attenzione del management le potenziali sinergie tra le attività di innovazione proposte e il programma industriale della propria organizzazione, nonché le sinergie con fondi di ricerca istituzionali. Al termine dello Step 3, alcune proposte saranno state approvate dai Centri di Competenza e avranno trovato un finanziamento, mentre altre proposte verranno cortocircuitate per nuove e future analisi.

Le proposte divenute progetto di innovazione, a step 3, passano alla fase di creazione dei teams di lavoro, prevista nello **Step 4** di pilastro. La formulazione di un team di lavoro per un progetto di Innovazione, consta di tre momenti fondamentali:

1. Definizione delle competenze utili per svolgere le attività necessarie a ottenere i risultati desiderati nei tempi stabiliti.
2. Individuazione all'interno della propria organizzazione delle persone con capacità e relativi livelli necessari.
3. Valutazione di eventuali scostamenti su competenze e livelli necessari e definizione di soluzioni compensative, ad esempio attraverso attività di formazione o rivolgendosi ad esterni.

Questa fase di lavoro sarà condotta dal pilastro e dal capo progetto della singola attività, che si interfaceranno soprattutto con il pilastro del People Development.

Lo **Step 5** è quello esecutivo, durante il quale l'attività dei singoli progetti di innovazione viene messa in pratica. Lo Step 5 di pilastro si divide in altri 7 sotto step di progetto, che, nello specifico, sono: una fase 5.1 di raccolta delle idee sulle opportunità attuabili e di definizione degli strumenti metodologici utilizzabili; una fase 5.2 per identificare idee creative e una fase 5.3 per individuare quelle prioritarie, analizzandone i benefici; la fase 5.4 prevede la preparazione di un piano di lavoro da approvare nei tempi e nei costi; la fase 5.5 è il cuore di ciascun progetto, perché consiste nella fase esecutiva (test, sviluppi, validazioni etc.); la fase 5.6 è considerata di verifica e ottimizzazione dei risultati per ciascun progetto; infine, la fase 5.7 è quella dell'applicazione pilota, con l'analisi dei rischi derivabili dalla messa in produzione del progetto.

Allo **Step 6**, si definisce la location produttiva per i singoli progetti e si confrontano i risultati con le previsioni fatte allo Step 3. Si definiscono le finestre temporali in cui il contenuto di innovazione può essere applicato e si seleziona il tipo di applicazione, i tempi e le risorse disponibili.

Infine, allo **Step 7** si analizzano i risultati ottenuti formalizzando la conoscenza acquisita e definendo le opportunità realizzate. In questa fase, gli outputs delle attività di innovazione diventano inputs per i restanti pilastri.

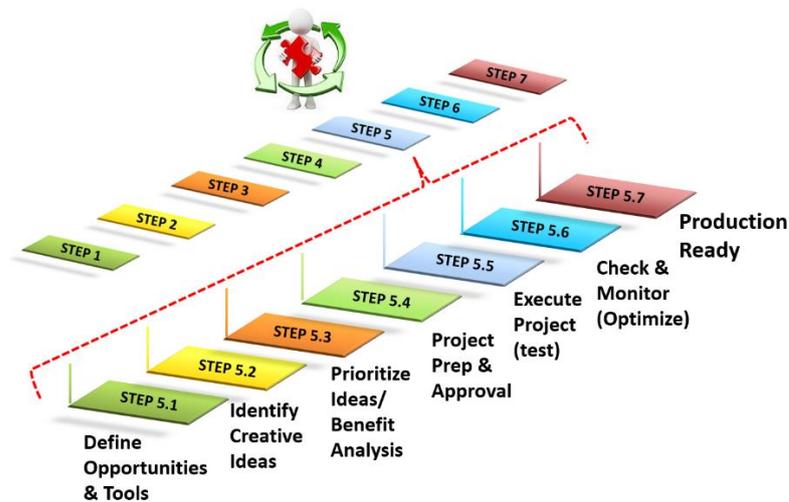


Figura 2.10: Step 5 del Pilastro Innovazione

### 2.3.3 Principali strumenti del Pilastro Innovazione

La metodologia WCT mette a disposizione dei vari pilastri diversi strumenti in grado di supportare alcune fasi di lavoro con lo scopo di agevolarle e di renderle più efficaci. Possono essere adoperati in qualsiasi momento, da una o più persone insieme e per qualsiasi tipo di attività, sia essa inserita in un progetto di innovazione e ricerca, sia essa una attività legati ad ambiti più operativi e tecnici.

L'applicazione massiccia degli Innovation tools ai programmi di innovazione ha dimostrato un incremento dell'efficacia del lavoro svolto.

Possono essere suddivisi in tre macro famiglie:

- Problem Statement
- Idea Creation
- Sorting & Prioritization.

Nella categoria *Problem Statement* rientrano tutti quegli strumenti che aiutano a definire meglio i bisogni, le necessità e i problemi. Quelli di Problem Statement sono pertanto strumenti di analisi, che mettono in chiaro le esigenze con livelli di dettaglio più o meno accurati: in base a quanto si vuole approfondire l'investigazione vanno usati uno o più strumenti in sequenza.

La categoria dell'*Idea Creation* raccoglie tutti gli strumenti che aiutano nel produrre o partorire idee o soluzioni. Tali tools possono essere adoperati in una fase preliminare di formulazione su green field oppure in fasi di problem solving e di sviluppo.

La terza categoria comprende quei tools che servono a raggruppare per items/topics e a stabilire priorità. Sono, pertanto, strumenti che definiscono criteri di categorizzazione e che aiutano ad assegnare pesi o misure applicabili su idee e attività.

In seguito sono illustrati per ciascuna macro famiglia i principali strumenti adoperati nello sviluppo del progetto.

#### **Problem Statement Phase:**

- *Problem Statement tool*

Il tool Problem Statement serve a comprendere quale sia veramente il problema che si sta tentando di risolvere, per sviluppare la soluzione migliore. È infatti tipico andare a risolvere molti problemi alternativi (o semplicemente sintomi) anziché i veri problemi e ciò porta a inefficienze e perdite di tempo. Vi sono varie tecniche disponibili per aiutare a comprendere la vera natura di un problema e a definirlo correttamente. Lo

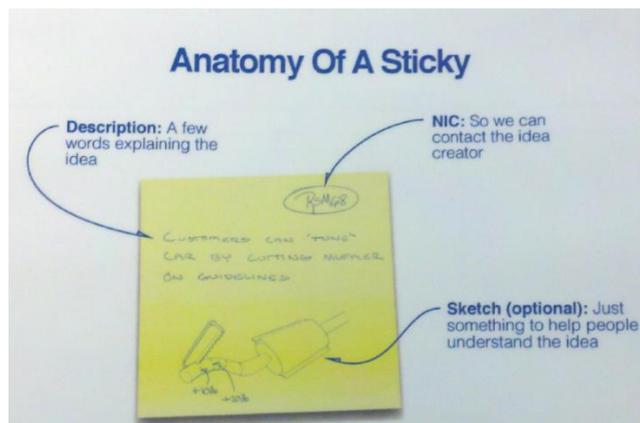
strumento Problem Statement cerca di riassumerle in 10 passi, partendo dall'annotazione della condizione iniziale del problema:

1. Esprimere il problema con parole diverse
2. Individuare e mettere in discussione le ipotesi
3. Generalizzare il problema
4. Dividere il problema
5. Trovare prospettive diverse
6. Usare in modo efficace i costrutti linguistici
7. Rendere il problema coinvolgente
8. Invertire il problema
9. Procurarsi le informazioni che servono
10. Scoprire il valore del problema

### Idea Creation Phase:

#### *Brainwriting tool*

Il Brainwriting è una tecnica di generazione di idee in un ambiente di gruppo, che richiede ai partecipanti di non parlare e, sotto la pressione di un tempo limitato, richiede la produzione di nuove idee. Consiste nello scrivere su un foglio la propria idea, facendo poi girare il foglio, di modo che un altro partecipante possa concatenarvi una nuova idea. La sessione di Brainwriting è efficace solo se si effettuano almeno 5 rounds, di circa 5 minuti ciascuno.



**Figura 2.11:** Esempio di Brainwriting tool

I vantaggi nell'uso del Brainwriting rispetto ad altri tools, vedi il Brainstorming sono riassumibili come segue:

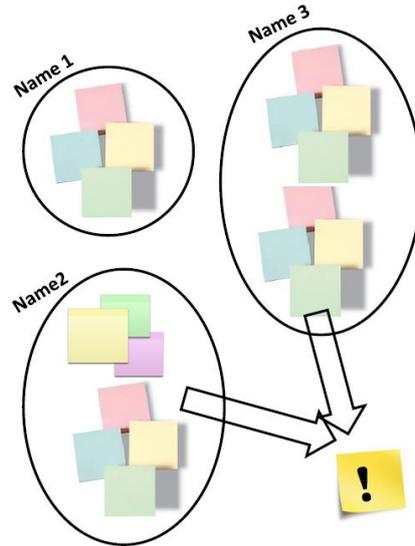
- Non c'è spazio per alleanze politiche in quanto ogni partecipante scrive il suo pensiero su carta in totale silenzio ed in forma anonima.
- L'anonimato rende possibile la partecipazione attiva anche delle persone timide e riservate rimuovendo la paura di fondo di essere giudicati.
- Ognuno esprime simultaneamente il suo pensiero tagliando i tempi morti del brainstorming che richiede l'attesa del proprio turno. Viene anche eliminato il problema di sentirsi subito "fuorigioco" quando il collega ti anticipa sulla stessa idea.
- È adattabile a gruppi di lavoro di tutte le dimensioni.
- Nessuna idea finirà nel dimenticatoio della discussione poiché ogni idea viene scritta.

### Sorting & Prioritization Phase:

#### *Affinity Diagram tool*

L’Affinity Diagram ha come prima finalità quella di organizzare le idee emerse durante la fase di Idea Creation in categorie in modo da scoprire le connessioni esistenti ma non ancora evidenti. Si effettua quindi una prima scelta concettuale per tema, che facilita, successivamente, la fase della prioritization. Dopo aver raggruppato, occorre dare un titolo a ciascuna categoria.

Infine l’Affinity Diagram viene rivisto per verificare che non vi siano fogli che contengono le stesse informazioni o idee, per identificare idee o informazioni mancanti nonché per considerare altri raggruppamenti e strutture. Uno dei vantaggi dell’organizzazione delle idee in categorie è proprio quello di rendere molto facile rivedere il diagramma.

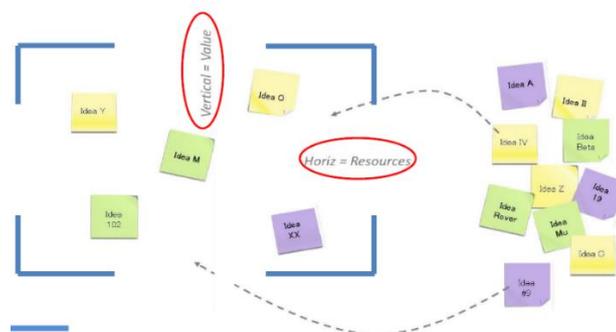


**Figura 2.12:** Affinity Diagram tool

#### *One Box tool*

È buona norma, dopo aver applicato l’Affinity Diagram, realizzare una o più One Box per ciascuna delle categorie create. Lo strumento consiste nel riportare su di un piano settorializzato da due assi incrociati con segno, le singole voci individuate all’interno di ciascuna famiglia/categoria attraverso l’applicazione dell’Affinity Diagram.

Sull’asse verticale occorre distribuire un “Valore” definito, mentre sull’asse orizzontale occorre distribuire una “Risorsa” definita. I quattro quadranti delineano un campo visivo di priorità in funzione di Valore e Risorse predefinite e in genere si realizzano più One Box perché diversi sono i parametri che possono essere assunti come valore o risorsa. In fase alla allocazione di ciascun foglio nel piano si individuano quali idee devono essere ritenute prioritarie rispetto alle altre.



**Figura 2.13:** One box tool

### 3 Stato attuale della Manutenzione

Il tema della manutenzione e la sua gestione hanno assunto negli anni un'importanza sempre maggiore. L'industria manifatturiera, con la diffusione della meccanizzazione e dell'automazione, ha visto una progressiva riduzione del personale di produzione e un incremento della frazione di dipendenti che lavorano nel settore della manutenzione, nonché della frazione dei costi di manutenzione sul totale dei costi operativi. [3] Inoltre, soprattutto in periodi recenti, grazie anche alle spinte delle nuove possibilità che si hanno con macchinari evoluti in grado di trasmettere informazioni di più alto livello rispetto a quello cui eravamo abituati fino a qualche anno fa, la manutenzione ha subito varie evoluzioni.

Lo scopo di questo capitolo è quello di fornire una visione generale sul tema della manutenzione in modo da poter poi analizzare lo stato dell'arte della manutenzione all'interno del Mirafiori Press Shop & Dies, comprenderne i problemi, capire come affrontarli e risolverli.

#### 3.1 Classificazione della manutenzione

La norma UNI EN 13306 definisce la **Manutenzione** come la “combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, volte a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”.

La norma inoltre fa una distinzione, in base al contenuto dei lavori e alla loro finalità, tra manutenzione ordinaria e straordinaria. Con **manutenzione ordinaria** si intende l'insieme degli interventi manutentivi atti a mantenere l'integrità originaria e/o l'efficienza di un bene o di ripristinarla in caso di guasti o di avarie, a garantire la vita utile del bene e a contenerne il normale degrado d'uso senza modificare o migliorare le funzioni svolte dal sistema, né aumentarne il valore. Rientrano invece nella **manutenzione straordinaria** gli interventi, non ricorrenti e ad elevato costo, che prolungano la vita utile e aumentano il valore contabile del bene.

REATTIVA	PREVENTIVA	MIGLIORATIVA	CBM	PREDITTIVA
Intervento solo a seguito di guasti o fermi produzione.	Regolarmente eseguita ad intervalli regolari. Senza attesa guasti.	Aggiornamento componenti per migliorare prestazioni e vita utile.	Rilevazione utilizzo macchinari, comparazione target di usura e pianificazione.	Pianificazione attività sulla base di un modello dinamico del componente.

Figura 3.1: Politiche di manutenzione

Nell'ambito della manutenzione ordinaria possono essere attuate differenti politiche di manutenzione, rappresentate in Figura 34 e riassumibili in:

- *Manutenzione Reattiva*, si basa sul concetto di effettuare un intervento manutentivo soltanto a seguito di un guasto. È lo scenario più semplice e non ha pianificazioni;
- *Manutenzione Preventiva*, si basa sulla conoscenza, anche non analitica, dell'intervallo di usura del componente. Quindi, definito un asset da mantenere, si stabilisce l'intervallo di utilizzo che questo a nostro avviso potrà supportare senza subire significative perdite di performance e al raggiungimento di questo si procede con un intervento di manutenzione che riporterà il sistema allo stato iniziale;
- *Manutenzione Proattiva o Migliorativa*, un'estensione della Preventiva. In questo caso si procede con un'analisi del sistema che ha lo scopo di identificare quelle che sono le condizioni che possono causare dei possibili problemi sul nostro asset (es.: un macchinario industriale) e che ne possono limitare anche la vita utile. Identificati questi elementi critici si procede con l'intervento migliorativo che ha lo scopo di estenderne la vita utile;

- *Condition Based Maintenance*, si basa sulla possibilità di misurare dei dati di utilizzo del nostro sistema. Questi dati possono essere esposti al sistema manutentivo tramite l'utilizzo di sensori o conteggi che vengono effettuati direttamente dall'unità di controllo (quindi non dei parametri fisici misurati da un sistema accessorio ma direttamente dei conteggi che il sistema di calcolo va a fare). Il dato che viene così rilevato va ad avanzare dei contatori di vita residua basati su dei valori di soglia (definiti solitamente a priori da chi ha progettato il sistema). Sono esempi di parametri misurabili i tempi d'uso, il numero di giri, i contatori di pezzi etc.;
- *Manutenzione Predittiva*, si basa anch'essa sull'analisi di dati esposti dall'asset a cui siamo interessati (es.: vibrazioni, sforzi di taglio, temperatura, pressione). L'evoluzione di questi dati viene riferita ad un modello dinamico del nostro sistema che consente quindi di risolvere il problema della determinazione dei valori di soglia. Il valore di soglia non è questa volta preimpostato ma viene definito dinamicamente riferendosi all'evoluzione di un modello che misura la variazione dei parametri di stato. Questo sistema consente di identificare l'inizio di processi degenerativi prima che questi si manifestino in un modo distruttivo.

### 3.1.1 Scelta tra le differenti politiche di manutenzione - Analisi costi/benefici

Ogni politica di manutenzione ha i suoi costi e i suoi benefici. Ogni azienda di solito adotta un mix di politiche di manutenzione, la politica più appropriata per ogni componente si sceglie in base:

- alla frequenza degli eventi di guasto;
- all'impatto degli eventi di guasto;
- al valore dei componenti e dei ricambi.

La Manutenzione Correttiva non limita le conseguenze derivanti dalle fermate non programmate, ha però un costo di implementazione minimo per cui può essere conveniente utilizzarla per componenti non critici quando l'impatto dell'evento di guasto è basso e si stima che si verifichi raramente.

Per quanto riguarda la Manutenzione Preventiva Ciclica, il beneficio qui nasce dal fatto che, facendo prevenzione, consente di ridurre la probabilità di guasto quindi delle fermate non produttive, di rallentare l'invecchiamento dell'impianto e di aumentare la qualità dei prodotti. Il costo di questa politica è dovuto soprattutto agli interventi di manutenzione, eseguiti anche se non necessari e, alle sostituzioni preventive dei ricambi. Un altro svantaggio della Preventiva Ciclica è che tra un intervento di manutenzione e il successivo potrebbe comunque verificarsi un evento di guasto.

Nel caso della Manutenzione Preventiva su Condizione, dato che gli interventi manutentivi e le sostituzioni si effettuano solo se i valori superano i livelli prefissati di allarme, si eliminano gli sprechi della Preventiva Ciclica mantenendo però gli stessi benefici. La verifica del superamento dei livelli di allarme può essere fatta sia con ispezioni che con sensori. I benefici a lungo termine sono maggiori se si usano i sensori perché non si impiegano persone, per contro, la messa in opera dei sensori ha un costo iniziale più elevato. L'utilizzo di un solo parametro per stabilire se un componente è in uno stato critico o no è troppo semplicistico e in alcuni casi stabilire le soglie può essere difficile. Oltre alla difficoltà di definizione delle soglie questa politica non fornisce indizi per capire cosa sta succedendo quindi se ci sono delle cause che provocano l'accorciamento della vita utile lo si scopre solo nel momento in cui si raggiungono le soglie.

Per risolvere questi ultimi due difetti è possibile adoperare la Manutenzione Predittiva. Quest'ultima politica ha tutti i vantaggi della precedente ma ci dà anche delle informazioni per agire in anticipo su problemi prima che l'usura o qualche altra causa faccia raggiungere la soglia. Con la politica predittiva il problema di definizione delle soglie non c'è, le regole per generare gli alert possono comprendere tanti parametri e, anche se all'interno del sistema sono molto complesse, non rappresentano un problema perché si impostano con un processo di apprendimento automatico. Questa politica di manutenzione presenta tutti i benefici delle precedenti, i costi di implementazione sono però abbastanza elevati e questo non solo per l'aggiunta della sensoristica ma anche per la messa a punto dei modelli predittivi che comunque richiede un lavoro di professionisti su progetti specifici (quindi poco riutilizzabili). L'ideale sarebbe includere la manutenzione

predittiva in un programma di gestione della manutenzione dell'intero impianto in modo da ridurre non solo il numero di guasti imprevisti ma di fornire anche uno strumento di pianificazione più affidabile per le attività di manutenzione preventiva di routine poiché rileva quando queste ultime sono effettivamente richieste dalle apparecchiature dell'impianto. [4]

In tabella sono riassunti i parametri possibili per la scelta delle politiche di manutenzione.

**Tabella 1:** Scelta tra differenti politiche di manutenzione

Politica di manutenzione	Valore del componente	Impatto sulla produzione	Altre considerazioni
Correttiva	Basso	Basso	Evento di guasto raro
Ciclica	Basso	Medio/alto	Tempi di intervento bassi
Su condizione	Medio/alto	Medio/alto	Soglie semplici, monitoraggio poco costoso
Predittiva	Medio/alto	Medio/alto	Anche con soglie complesse

### 3.1.2 Incremento della produttività e della competitività attraverso la manutenzione

La manutenzione può intervenire in maniera tangibile al miglioramento di diversi fattori che incrementano la produttività e anche la competitività.

Le corrette politiche di manutenzione possono portare a:

- Un *aumento dell'efficienza* perché si possono prevenire le fermate dovute agli eventi di guasto che sono fermate non programmate. Le fermate non programmate hanno un impatto fortemente negativo sull'efficienza, soprattutto se sono lunghe, perché non permettono l'organizzazione della produzione delle fasi successive e delle persone che stavano lavorando a quella produzione. Se si riesce a programmare le fermate, l'efficienza aumenta perché gli interventi di manutenzione programmata possono essere effettuati ad esempio durante il cambio prodotto quando le macchine o gli impianti devono già essere fermati per l'attrezzaggio. In questo caso inoltre, essendo un'attività pianificata, ci sarà stata la possibilità di procurarsi ricambi al miglior costo possibile e di ottimizzare il piano di produzione tenendo conto di questa attività;
- Un *miglioramento della qualità* perché permettono di mantenere in perfetto stato e efficienza le attrezzature che vengono a contatto con il prodotto. Quando si realizzano pezzi di scarsa qualità anche se il prodotto dovesse rientrare nei limiti di accettabilità del cliente, quindi anche se non è di scarto, si pone comunque l'azienda in una posizione di svantaggio competitivo;
- Una *riduzione dei costi di produzione* poiché se si possono ridurre le fermate si riducono i costi. Nei costi di uno stop macchina improvviso rientrano infatti, oltre al costo della mancata produzione, il costo della manodopera che rimane inattiva in attesa della ripartenza, il costo gestionale della riorganizzazione, il costo della gestione del ritardo. Delle buone politiche di manutenzione possono inoltre evitare gli scarti e questo si traduce in una netta riduzione di costo. Infine la riduzione di costo con la manutenzione si ottiene anche con l'allungamento della vita utile degli asset aziendali soprattutto quelli che hanno un valore elevato;
- Un *miglioramento del livello di servizio e dei tempi di risposta* verso il mercato come diretta conseguenza degli altri fattori già visti.
- Un *maggiore standard di sicurezza* quindi una buona reputazione dell'azienda che attualmente sta diventando un fattore di competitività sempre più importante.

## 3.2 Manutenzione: Stato Attuale

È possibile a questo punto analizzare lo stato attuale della manutenzione, sia dell'utensile che del macchinario, all'interno del Mirafiori Press Shop & Dies al fine di individuarne le problematiche, capire come affrontarle e risolverle.

### 3.2.1 Manutenzione stampi

Ogni stampo, a seconda della tipologia di materiale e della geometria del particolare stampato, deve periodicamente essere sottoposto ad operazioni di manutenzione. Essendo attrezzature articolate e determinanti per la realizzazione di parti stampate prive di difetti, gli stampi richiedono una manutenzione frequente, in particolare determinati componenti costituiti particolarmente soggetti a usura. Al fine di non bloccare la produzione, è necessario eseguire la manutenzione con una frequenza prestabilita, che viene monitorata dopo ogni lotto con dei cicli specifici per ogni componente.

Vengono anche effettuati interventi specifici in seguito alla determinazione, durante il lotto produttivo, di zone dei particolari stampati che presentano uno scostamento rispetto alla geometria definita a progetto. In base al valore (in millimetri) di questo scostamento è attribuita alla zona uno specifico demerito estetico DM:



Figura 3.2: Scala demeriti estetici

- Nessun difetto estetico scostamento da 0 a 0.01 mm;
- **DM10**, Difetto estetico leggermente visibile scostamento da 0.01 a 0.05 mm;
- **DM50**, Difetto estetico visibile scostamento da 0.05 a 0.127 mm;
- **DM100**, Difetto estetico fortemente visibile a partire dai 0.127 mm in poi.

Demeriti estetici di tipo 10 sono ammessi, mentre particolari con demeriti di tipo 50 devono essere revisionati e di tipo 100 costituiscono scarti di produzione e richiedono un intervento di manutenzione sullo stampo.

Esistono vari tipi di manutenzione:

- Verifica ispettiva
- Ciclo puntature
- Manutenzione preventiva/programmata

La verifica ispettiva consiste in un controllo visivo degli stampi da parte dei conduttori della linea prima del loro posizionamento sotto pressa e quindi dell'inizio della produzione in modo da rilevare eventuali difformità sullo stampo e provvedere al ripristino delle condizioni iniziali. La produzione ha poi inizio solo quando il conduttore certifica il buono stato dello stampo, dopo aver verificato che quest'ultimo non necessita di manutenzione. Nonostante ciò, durante la produzione del lotto possono presentarsi delle anomalie, che, quando identificate, determinano la necessità di bloccare la produzione e controllare lo stampo che ha prodotto tale anomalia e nel caso eseguire le operazioni di manutenzione. Se, una volta riportato lo stampo alla condizione iniziale, la produzione risulta conforme agli standard il conduttore dà il "benestare" al lotto.

Il Ciclo Puntature consiste in una pulizia periodica dello stampo, effettuata con una frequenza stabilita in fase di costruzione dello stampo e dipendente dal numero di colpi eseguiti dalla pressa e preceduta dallo smontaggio dello stampo e seguita dall'inserimento di grasso. Lo scopo di tale pulizia è evitare il presentarsi di puntature, accumuli di pulviscolo metallico sullo stampo dovuti alla lavorazione della lamiera, in particolare ad operazioni di rifilatura e foratura. L'eccessivo accumulo di questo pulviscolo causa la comparsa di piccoli puntini che possono portare alla presenza di difetti sul pezzo finale. In particolare, il problema delle Puntature riguarda prevalentemente i

particolari in alluminio, materiale più leggero rispetto all'acciaio, e per questo motivo il pulviscolo in fase di lavorazione è più soggetto ad espandersi su tutta la figura dello stampo.

La manutenzione preventiva e la manutenzione programmata prevedono lo smontaggio dello stampo e il controllo di tutte le sue parti costitutive per verificarne lo stato di usura, ripristinare le condizioni iniziali o sostituirli se necessario. Per entrambi questi tipi di manutenzione la frequenza è indicata sulla scheda Matricola/Ciclo e dipende, come per il ciclo puntature, dal numero di colpi al minuto effettuati dallo stampo e dalla tipo di matricola. La frequenza di manutenzione in numero di colpi è fornita direttamente dai costruttori degli stampi, a seconda degli sforzi stimati e dai materiali utilizzati per lo stampaggio ma può essere corretta a seconda del particolare tipo di matricola. In genere la differenziazione si basa sulla classificazione dei componenti che lo stampo realizza in: ossature lamiera, quindi componenti non visibili; pannelleria lamiera, quindi componenti visibili e, infine, componenti in alluminio.

Attualmente il registro colpi e l'aggiornamento sono eseguiti *manualmente*. Al fine di monitorare i colpi fatti durante il lotto e quelli totali svolti dallo stampo (oltre che per prendere nota di eventuali irregolarità riscontrate), un manutentore alla fine del lotto di produzione verifica sul sistema software a fondo linea i colpi battuti dalla linea e riporta quel valore sul Cartellino Stampo (riportato in *Figura 3.3*), ovvero un documento *cartaceo* nel quale vengono registrati dati relativi al lotto di produzione, allo stampo e ai colpi eseguiti. Successivamente, un secondo manutentore si occupa di completare tutti i cartellini di tutti gli stampi usciti, incrementando i conteggi e ne controlla le soglie per le manutenzioni, accertandosi di non aver superato il numero di colpi ai quali lo stampo deve essere sottoposto ad operazioni di manutenzione. In caso di necessità di intervento, consulta il documento di pianificazione degli stampi sotto pressa settimanale e verifica se vi è il tempo necessario per svolgere tutte le operazioni prima del ritorno in produzione. Il manutentore segnala sul cartellino la necessità di effettuare o meno la manutenzione e il tipo di manutenzione necessaria, indicando la data entro la quale deve essere eseguita in base alla data prevista di produzione del lotto successivo. Una volta terminata la manutenzione, viene bollato il cartellino con "eseguito".

Il diagramma mostra un cartellino stampo con diverse sezioni etichettate:

- DATI RELATIVI AL LOTTO DI PRODUZIONE:** Indica la parte superiore sinistra del cartellino, che include campi per il numero del lotto e altre informazioni di produzione.
- ANAGRAFICA STAMPO:** Indica la parte superiore destra, che include il numero di matricola (751382) e altri dati identificativi dello stampo.
- INTERVENTI NEL LOTTO:** Indica la sezione centrale del cartellino, che registra le operazioni di manutenzione effettuate durante il ciclo di produzione.
- DESCRIZIONE LAVORI ESEGUITI:** Indica la sezione inferiore destra, che descrive i lavori di manutenzione completati.
- LAVORI RICHIESTI IN REPARTO/F.LINEA:** Indica la sezione inferiore sinistra, che elenca i lavori di manutenzione necessari per il prossimo lotto.

*Figura 3.3: Cartellino stampo*

Altre tipologie di manutenzione possono essere in seguito alla determinazione di difetti sul particolare in lamiera. Tra queste troviamo:

- Ripristino bolli su stampo di imbutitura;
- Ripristino lame di rifilatura/flangiatura;
- Ripristino punzoni/matrici su forature;
- Controllo e ripristino impianti elettrici, pneumatici e azoto.

Il ripristino dei bolli sullo stampo di imbutitura, ad esempio, è eseguito con modalità diverse a seconda del tipo di danneggiamento: scaldando il metallo per il rigonfiamento delle fibre nella zona bollata con successiva levigazione o mediante un'operazione di saldatura laser eseguita all'esterno dello stabilimento e successiva finitura interna. In alcuni casi la manutenzione si occupa anche di modifiche geometriche su un prodotto.

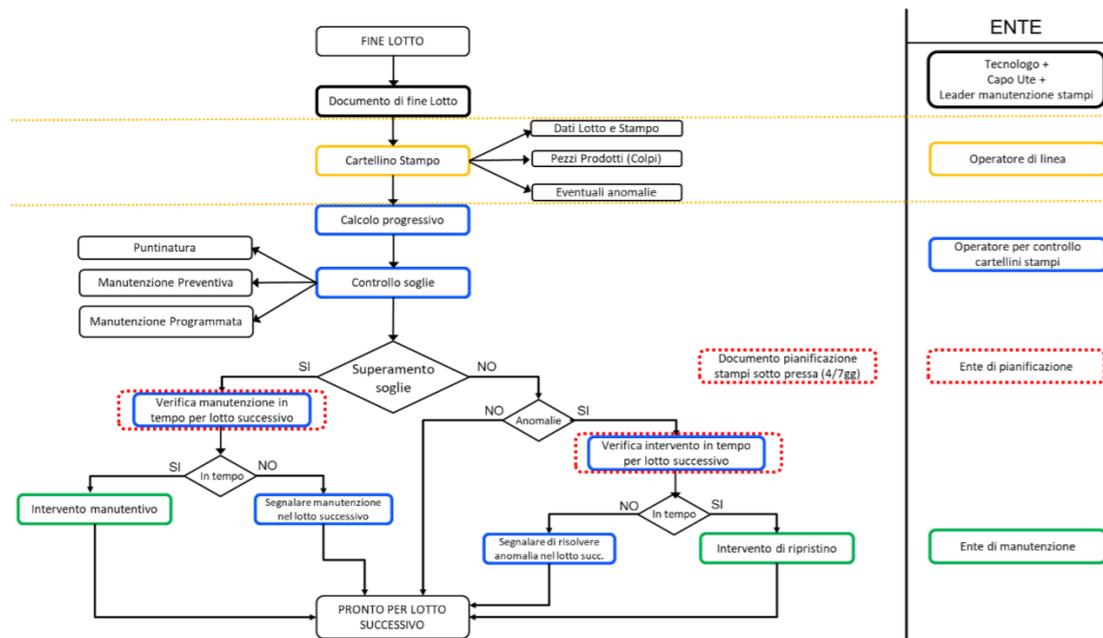


Figura 3.4: Stato attuale del flusso manutentivo

### 3.2.2 Manutenzione Macchinario

Al fine di mantenere al meglio lo stato dei macchinari, sia nel caso delle macchine a controllo numerico che nel caso delle presse, si adottano due tipologie di manutenzione:

- la *Manutenzione Autonoma* o *Autonomous Maintenance AM*;
- la *Manutenzione Professionale* o *Professional Maintenance PM*;

entrambe pilastri tecnici alla base del World Class Manufacturing.

La Manutenzione Autonoma comprende tutte quelle attività di manutenzione svolte dagli operatori di linea con una frequenza prefissata al fine di eliminare le cause di danneggiamento, sostituire le parti usurate e mantenere le condizioni di base delle macchine. Ciò si traduce in operazioni di pulizia, lubrificazione degli elementi meccanici, ispezioni (ad esempio controllo del livello dell'olio), regolazioni, riavvitamento dei bulloni, piccoli interventi e così via.

La Manutenzione Professionale comprende invece tutte quelle attività di manutenzione che devono essere svolte da personale specializzato, interno o esterno allo stabilimento produttivo, che hanno l'obiettivo di azzerare i guasti e di allungare la vita dei componenti critici. Si suddivide a sua volta in:

- Manutenzione a guasto;
- Manutenzione preventiva.

A supporto degli interventi di manutenzione a guasto è utilizzato il **modulo EWO**, un modulo compilato dal manutentore che si occupa dell'intervento e che ne consente la descrizione attraverso strumenti quali *Analisi 5W+1H* (*What, When, Where, Who, Which e How*) e *Analisi dei 5 Why*. In questo modo si registrano informazioni dettagliate sull'intervento (in termini di durata, tipologia, macchina coinvolta e nome del manutentore), sul problema e sulla causa radice.

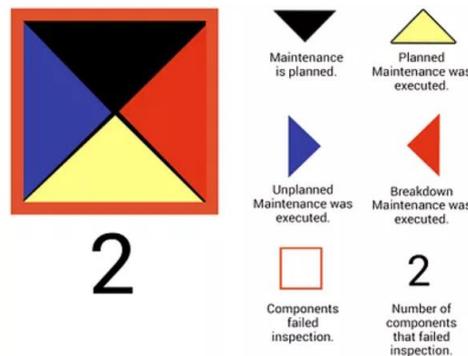
Lo strumento che consente invece di gestire la manutenzione preventiva è il Machine Ledger, uno strumento grafico in forma cartacea che supporta il coordinamento delle diverse attività poiché consente di comprendere a colpo d'occhio quando sono pianificati o quando sono stati eseguiti interventi di manutenzione.

Il machine ledger mostra ciascuna macchina scissa nei singoli componenti e per ciascun componente viene indicato il tipo di manutenzione prevista: a guasto, dopo un prefissato intervallo di tempo o su condizione. Viene anche segnalata il tipo di operazione che dovrà essere effettuata e la sua frequenza.

Per rappresentare graficamente queste informazioni, è utilizzata una struttura a griglia, in cui ogni colonna rappresenta un giorno e ogni giorno è suddiviso in 4 quadranti che rappresentano ciascuno lo stato delle attività di manutenzione (Figura 38):

- pianificata, triangolino nero orientato verso il basso;
- pianificata ed eseguita, triangolino giallo orientato verso l'alto;
- non pianificata ed eseguita, triangolino blu orientato verso destra;
- eseguita in seguito ad un guasto, triangolino rosso orientato verso sinistra.

Viene inoltre contornato il quadrante di rosso nel caso in cui il componente non supera l'ispezione. La colorazione dei diversi quadranti è effettuata *manualmente* dai manutentori ogni qual volta si verifica un cambiamento di stato.



**Figura 3.5:** Rappresentazione grafica dello stato dell'attività di manutenzione nel Machine Ledger

### 3.2.3 Problemi riscontrati

Allo stato attuale sono diversi i problemi che riguardano la manutenzione all'interno dello stabilimento produttivo.

In primo luogo, la gestione del flusso di manutenzione richiede la compilazione manuale di un elevato numero di documenti cartacei, successivamente immagazzinati in determinate zone dello stabilimento adibite ad archivi. Ciò comporta non solo la presenza di costi aggiuntivi, legati al costo orario dell'operatore per la compilazione della documentazione, dei locali adibiti ad archivi e della loro gestione, ma determina anche delle difficoltà e tempi elevati per il reperimento delle informazioni, maggiori rischi di errore legati alla manualità dell'operazione e rischi di deperimento per cause accidentali come incendi e allagamenti. Inoltre, avere una documentazione cartacea che riporta il percorso dello stampo, rende difficile lo scambio di informazioni sia tra enti diversi dello stesso stabilimento (manutenzione, progettazione e produzione) sia tra i diversi stabilimenti del gruppo nel caso in cui si verifichino le condizioni per il trasferimento di uno stampo da uno stabilimento all'altro.



**Figura 3.6:** Sistemi utilizzati attualmente per la raccolta dei documenti stampo

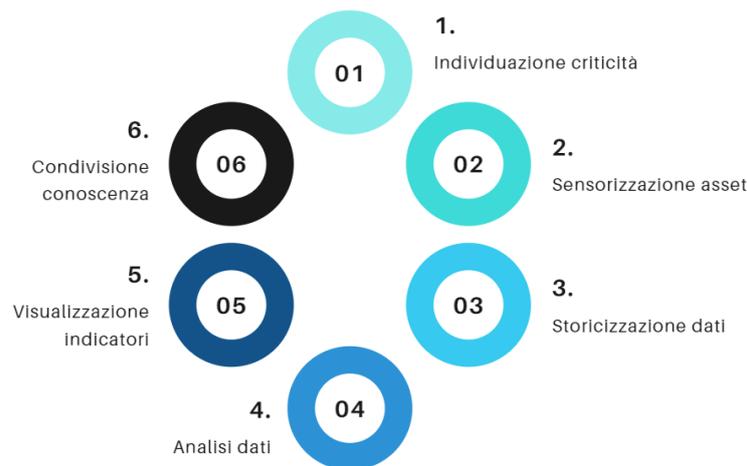
Un altro problema è legato al fatto che attualmente non esiste un sistema per il monitoraggio in tempo reale di ciò che avviene nello stampo in fase di produzione. Un sistema di questo tipo consentirebbe di individuare e misurare parametri che determinano se sia necessario o meno un intervento sui macchinari e di rilevare tempestivamente anomalie che potrebbero essere potenziali cause di imminenti guasti.

Ciò porterebbe ad interventi più mirati e intervallati da periodi di tempo più lunghi perché la manutenzione è eseguita soltanto quando i parametri indicano che il tempo residuo reale prima del guasto di un componente o di una macchina è quasi terminato, massimizzando così la sua vita utile ed evitando di cambiare una parte prima che sia strettamente necessario. Si ha pertanto un abbattimento dei costi di manutenzione grazie all'identificazione precisa e oggettiva del possibile guasto, alla possibilità di pianificare gli interventi e di evitare quelli superflui.

### 3.3 Sviluppo di un sistema di manutenzione predittiva

Allo stato attuale, lo stabilimento produttivo necessita di un'ottimizzazione e di una digitalizzazione della gestione della manutenzione. Se si vuole ridurre il numero di interventi di manutenzione e ottimizzarne l'esecuzione, gestendo le riparazioni in modo più efficiente, è importante iniziare a muovere i primi passi verso l'implementazione di strategie di manutenzione predittiva.

Nel fare ciò è bene considerare che non esistono soluzioni di manutenzione predittiva che vanno bene sempre, esistono software commerciali che permettono di sviluppare l'analisi dei dati e di fare modelli di intelligenza artificiale. Tuttavia questo non è sufficiente, ciò che è necessario in fase di sviluppo è avere un approccio metodologico standard come quello riportato in Figura 3.7 e, adattarlo alla singola applicazione.



**Figura 3.7:** Sviluppo di un sistema di manutenzione predittiva

Si evincono differenti fasi:

- 1) *Individuazione degli asset critici.* Non sempre è utile applicare una Manutenzione Predittiva ma bisogna fare un'analisi degli asset critici in modo da applicare tale politica di manutenzione solo a quegli asset che a livello di costi globali comportano una maggiore perdita. Per aiutarci in questa fase possiamo utilizzare l'analisi dei dati storici come lo storico dei guasti ma anche la formazione del know-how interno. Quindi, in questa fase, sono richieste conoscenze processuali (conoscenza del processo) e conoscenze relative all'ingegneria di manutenzione.
- 2) *Sensorizzazione delle macchine.* Partendo dall'analisi degli asset critici individuati si evidenziano i segnali deboli da monitorare tramite la formalizzazione del know-how interno. Può essere utile l'analisi della letteratura delle applicazioni preesistenti. È necessario sottolineare che non sempre è necessario monitorare tutta la macchina ma può essere utile monitorare anche un solo componente particolarmente critico della macchina riducendo i costi di hardware. In questo caso le conoscenze richieste sono la conoscenza del processo, l'Ingegneria Meccatronica e l'Ingegneria di Manutenzione.
- 3) *Raccolta e storicizzazione dei dati.* In tale fase a livello di acquisizione dati è necessario definire i requisiti hardware e software del sistema tenendo conto di protocolli di comunicazione, quantità di dati da trasferire

(dipendenti dal numero di sensori e frequenza di campionamento del singolo sensore), velocità dello streaming richiesto, capacità di integrazione con i sistemi informativi. Mentre a livello di storicizzazione è necessario tener conto della quantità di dati da salvare, il formato e la struttura del dato. In questo caso quindi le competenze richieste sono di tipo Informatico Industriale.

- 4) *Analisi dei dati.* Dopo la strutturazione del sistema di acquisizione e storicizzazione si procede con la definizione degli algoritmi e con l'individuazione delle metodologie di analisi più opportune. In tale fase si ricorre spesso all'analisi dello stato dell'arte dell'esistente in modo da individuare applicazioni simili a quelle da sviluppare. In questo modo posso ridurre i costi associati allo sviluppo dell'algoritmo che sono molto rilevanti per quanto riguarda la CBM e la Manutenzione Predittiva. È importante sottolineare che gli algoritmi devono essere selezionati a seconda della specifica applicazione (non c'è un algoritmo che va bene sempre). Tali algoritmi consentono di trasformare lo streaming di dati provenienti dalle macchine in informazioni sullo stato di salute degli asset generando valore. Le informazioni estratte devono poi essere storicizzate in un altro opportuno database.
- 5) *Visualizzazione dati.* Le informazioni estratte attraverso gli algoritmi relative allo stato di salute degli asset devono essere rese disponibili attraverso opportune dashboard agli utenti. Tali informazioni possono essere usufruite anche da remoto attraverso dispositivi Smart (ad esempio: Tablet, Smartphone etc.). Esistono software ad hoc per la realizzazione di dashboard intuitive che connettendosi ai sistemi informativi permettono di visualizzare i trend sullo stato di salute degli asset e di generare allarmi in caso di malfunzionamento.
- 6) *Condivisione della conoscenza estratta.* Cioè la conoscenza estratta può essere condivisa tra gli asset della stessa fabbrica per costruire reti di macchine comunicanti, quello che viene chiamato Sistema Cyber-Fisico, un duale digitale del mondo fisico con una continua comunicazione tra mondo fisico e mondo digitale e una continua comunicazione tra gli elementi del mondo fisico e del digitale.

Dunque un momento chiave per il successo in questa fase di passaggio è rappresentato sicuramente dall'implementazione e successivo utilizzo delle tecnologie e tecniche del CBM per rilevare le modalità di guasto appropriate.

Inoltre non si può parlare di manutenzione predittiva però se non c'è un'adeguata misurazione, raccolta e una valutazione critica dei dati che provengono dal campo. Fino a prima dell'Industria 4.0 c'era il problema dell'interconnessione, le reti di fabbrica erano poco sviluppate, la sensoristica era limitata a quella strettamente necessaria al funzionamento della fabbrica. Con l'Industria 4.0 le reti di fabbrica stanno diventando molto più capillari, molte macchine e impianti sono dotate già di sensori evoluti e le macchine sono normalmente collegate in rete. Ciò sarà trattato nel dettaglio nel Capitolo seguente.

## 4 Ottimizzazione e Digitalizzazione delle Linee di Produzione in ottica Industria 4.0

È ormai assodato che nell'industria manifatturiera è in corso un enorme cambiamento guidato da:

- un aumento della domanda di prodotti personalizzati;
  - una richiesta di maggiore flessibilità e adattabilità nella produzione per far fronte a mercati volatili con elevate fluttuazioni della domanda;
  - una maggiore tendenza ad un approvvigionamento sostenibile e sicuro di materie prime ed energia.
- [5]

Questi problemi hanno guidato lo sviluppo di tecnologie industriali per accorciare i tempi di sviluppo del prodotto, utilizzare le risorse in modo efficiente e così via, di cui il Cyber-Physical System (CPS) e l'Internet of Things (IoT) sono tra le principali tecnologie avanzate nell'ultimo decennio.[6]

I CPS sono *sistemi, che collegano direttamente oggetti e processi reali (fisici) con oggetti e processi di elaborazione delle informazioni (virtuali) - non solo oggetti materiali ma anche intangibili come processi operativi e gestionali - tramite reti di informazioni aperte, parzialmente globali e sempre interconnesse (tramite Internet)*. L'innovazione essenziale, che accompagna il CPS, è proprio l'interconnessione di oggetti e processi tramite reti di informazione aperte e globali che aprono opportunità di business del tutto nuove. Strettamente legato ai sistemi cyber-fisici è l'Internet of Things, o IoT, che si riferisce all'*integrazione di miliardi di dispositivi fisici in tutto il mondo, che raccolgono e condividono costantemente dati senza il coinvolgimento di un essere umano, in un ambiente Internet*. Ciò è stato supportato anche dalla riduzione dei costi dei sensori negli ultimi anni che, ha consentito il rilevamento di qualsiasi tipo di oggetto e la loro connessione a una rete più ampia.

L'applicazione delle idee di CPS e IoT al dominio dell'automazione industriale ha portato alla definizione del concetto di Industria 4.0, dove 4.0 allude ad una quarta rivoluzione industriale. Sviluppato originariamente in Germania, durante l'evento della Fiera di Hannover nel 2011, il termine si è diffuso rapidamente su scala globale. [6]

Ad oggi, diversi sono i progetti avviati anche all'interno dell'Area Manufacturing del gruppo FCA, che mirano a beneficiare delle potenzialità offerte dal paradigma Industria 4.0, al fine di conseguire gli obiettivi previsti dalla Metodologia World Class Manufacturing in generale e, dal Pilastro Innovation in particolare.

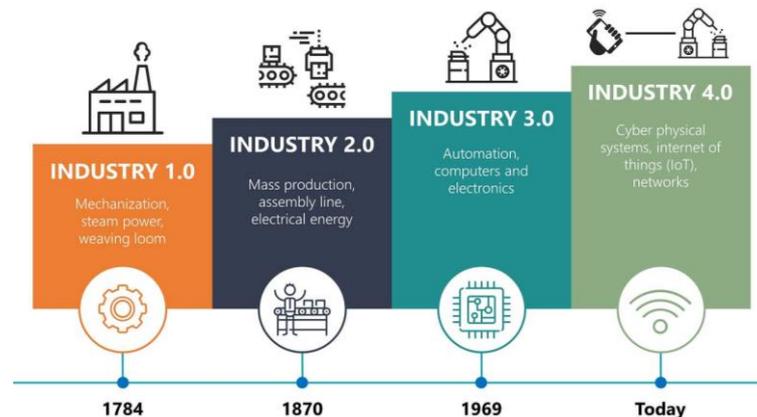
Il caso studio di questo elaborato rientra in un progetto di innovazione che ha lo scopo di ottimizzare e digitalizzare le linee produttive con l'utilizzo di soluzioni smart. Alla descrizione di questo progetto e alla sua contestualizzazione, attraverso l'analisi dei concetti di Industria 4.0 e Smart Manufacturing, è dedicato il presente Capitolo.

### 4.1 Industria 4.0

Quando si parla di Industria 4.0 ci si riferisce ad una modalità organizzativa della produzione di beni e servizi che fa leva sull'integrazione degli impianti con le tecnologie digitali, mediante l'integrazione tecnica dei CPS nella produzione e nella logistica e, l'uso dell'Internet of Things nei processi industriali. [5]

Le opportunità derivanti dall'adozione di tale iniziativa strategica sono di tale portata da essere paragonabili a quelle generate dall'adozione della macchina a vapore con conseguente meccanizzazione della produzione (Prima Rivoluzione Industriale), a quelle derivanti dall'introduzione dell'elettricità e della produzione di massa (Seconda Rivoluzione Industriale) e a quelle veicolate dall'introduzione massiccia dell'elettronica, delle telecomunicazioni e dell'informatica nell'industria (Terza Rivoluzione Industriale).

In particolare, grazie allo sfruttamento delle nuove frontiere del digitale, l'Industria 4.0 mira a integrare le tecnologie che nell'industria 3.0 venivano adottate singolarmente, in un sistema di produzione cyber fisico auto-organizzato, che consente una produzione di massa flessibile e personalizzata, nonché flessibilità nella quantità di produzione.



**Figura 4.1:** Rivoluzioni industriali

Grazie all'implementazione di sensoristica, al collegamento tra gli elementi fisici e il loro duale digitale e all'integrazione della parte fisica dell'azienda con i sistemi informativi usati si vuole migliorare la gestione della produzione, della logistica e delle attività commerciali, trasformando i dati raccolti in informazioni utili al raggiungimento di tali scopi. [7]

I benefici attesi da questo cambiamento sono:

- *maggiore flessibilità*, grazie all'adozione di un sistema di produzione riconfigurabile;
- *riduzione del time to market TTM*, attraverso l'utilizzo di tecnologie innovative;
- *incremento della produttività*, attraverso una riduzione dei tempi di setup, degli errori e dei fermi macchina;
- *migliore qualità e minori scarti*, grazie ad un monitoraggio della produzione in tempo reale;
- *maggiore competitività* del prodotto, grazie a maggiori funzionalità derivanti dall'utilizzo delle tecnologie digitali.

Bisogna sottolineare però, che dietro al concetto di Industria 4.0, non c'è un'unica e nuova "tecnologia Industria 4.0", è più il continuo progresso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, in combinazione con una crescita esponenziale della capacità di elaborazione, trasmissione ed archiviazione dei dati che, consente l'emergere di nuovi sistemi tecnologici sempre più potenti e interconnessi.

Da uno studio di Boston Consulting emerge che la quarta rivoluzione industriale si basa sull'adozione di nove tecnologie definite *abilitanti*, un insieme di tecnologie convergenti che aggiungono valore all'intero ciclo di vita del prodotto. Le 9 Tecnologie Abilitanti definite da Boston Consulting sono (Figura 4.2):

- Advanced manufacturing solution;
- Additive manufacturing;
- Augmented reality;
- Simulation;
- Horizontal e vertical integration;
- Industrial internet;
- Cloud;
- Cyber security;
- Big Data and Analytics.

Tali tecnologie saranno analizzate nei paragrafi seguenti.

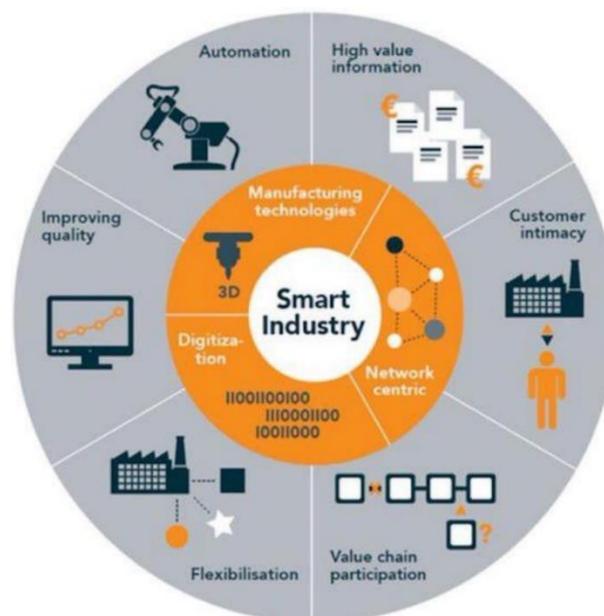


**Figura 4.2:** Tecnologie abilitanti [Fonte: Piano nazionale Industria 4.0 – Ministero dello Sviluppo]

## 4.2 Sistema di produzione Industry 4.0: Smart Manufacturing

Nell'ambito dell'Industria 4.0 i sistemi di produzione sono adattabili e flessibili e, grazie ad un'architettura tecnologica complessa, sono in grado di seguire rapidamente e in maniera automatica un cambio di prodotto o delle condizioni di lavorazione. Ciò è sintetizzato nel concetto di **Smart Manufacturing**. [8]

Il processo principale è la conversione tra digitale e fisico in un Sistema di Produzione Riconfigurabile (*Reconfigurable Manufacturing Systems RMS*) in grado di adattare i propri componenti hardware e software per seguire le mutevoli esigenze del mercato.



**Figura 4.3:** Smart Industry

Le macchine nella fabbrica Industria 4.0 sono Sistemi Cyber-Fisici in grado di fare previsioni e prendere decisioni in autonomia sulla base di algoritmi di apprendimento automatico.

I prodotti in tale fabbrica sono resi "intelligenti" grazie all'implementazione di sensori, etichette elettroniche, interfacce di comunicazione, sistemi di posizionamento (*Global Positioning System GPS*), e così via. In questo modo i prodotti sono in grado di comunicare non solo tra loro ma anche con altri dispositivi, condividendo

informazioni sul proprio stato, sulla localizzazione etc. I prodotti intelligenti mantengono tale caratteristica anche a valle del processo produttivo, continuando a fornire i dati sul loro stato anche durante la loro vita. Questi dati possono essere utilizzati non solo dal produttore, che riceve informazioni utili sulla durata e l'affidabilità dei suoi prodotti, ma anche dai clienti che sono ora in grado di conoscere le informazioni di produzione del prodotto e di ricevere consigli di utilizzo a seconda dei propri comportamenti.

Per migliorare l'adattabilità per diversi tipi di prodotti, il concetto di Smart Manufacturing comprende macchine collegate in rete, attraverso la comunicazione machine-to-machine (M2M), un sistema di comunicazione che rende possibile la generazione di applicazioni più autonome e intelligenti, senza o con un intervento umano limitato. Questa funzionalità è supportata dalla rappresentazione virtuale del sistema produttivo, ovvero la creazione di un suo Gemello Digitale o Digital Twin, grazie al quale tutti gli elementi dello stabilimento produttivo hanno oltre alla loro rappresentazione fisica anche un'identità virtuale. In questo modo è possibile simulare i processi, emulando i diversi codici dei controllori delle macchine e considerando diversi valori dei parametri in grado di influenzare la produzione. Sistema reale e sistema virtuale possono inoltre essere sincronizzati utilizzando dispositivi intelligenti, modelli matematici ed elaborazione dei dati in tempo reale. [8]

La produzione intelligente promuove anche una maggiore automazione. I robot possono eseguire le attività con maggiore precisione rispetto al passato, aumentando la produttività essendo molto meno inclini alla fatica rispetto all'uomo. Oggi, il segmento della robotica industriale che cresce più rapidamente è rappresentato dai **cobot**, noti anche come **robot collaborativi**, progettati specificamente per l'interazione con gli esseri umani e per supportare le attività dei lavoratori. In questo modo, il lavoro di produzione viene migliorato con l'accuratezza, l'affidabilità e l'efficienza dei robot, senza perdere la flessibilità del lavoro umano, il cui potenziale viene adesso sfruttato per attività in cui i robot presentano dei limiti. [8]

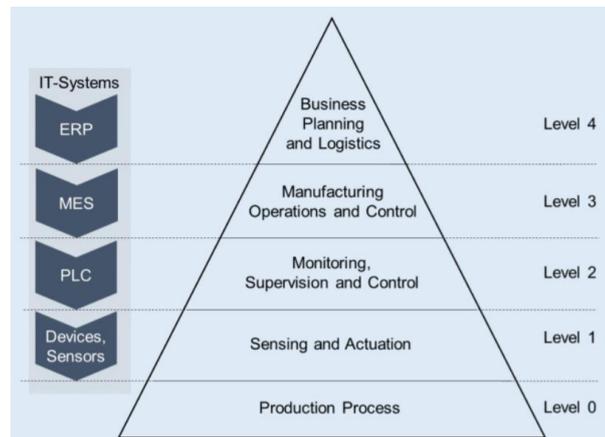
A supporto dell'attività dei lavoratori troviamo anche due tecnologie emergenti: la realtà virtuale e la realtà aumentata. La **realtà virtuale VR** offre ai lavoratori, mediante l'utilizzo di un copricapo, un'immersione visiva e uditiva in un ambiente tridimensionale generato da un computer, che essi possono esplorare e con cui possono interagire. È una modalità di apprendimento coinvolgente che può essere utilizzata a supporto non solo della formazione sulla sicurezza, in quanto si possono creare corsi che insegnano come lavorare in ambienti pericolosi o ad alto rischio, sperimentando le conseguenze di pratiche non sicure, violazione delle norme di sicurezza e anche imparando a seguire con precisione le procedure di sicurezza, ma anche della formazione su prodotti o su mestieri che richiedono elevata precisione e pratica, senza nessun investimento in materiali e consentendo di ripetere l'attività un numero qualsiasi di volte. La **realtà aumentata AR**, così come la realtà virtuale, fornisce ai dipendenti un ambiente simulato ma, in questo caso, viene preso in considerazione il contesto in cui si trovano e viene arricchito con la percezione da parte degli utenti di informazioni extra. Nel settore manifatturiero, basterà pertanto indicare un oggetto o una parte particolare della macchina per ricevere sullo schermo informazioni sulla parte, suggerimenti per la risoluzione dei problemi, per identificare il problema nonché istruzioni esatte per risolverlo. Quindi la realtà aumentata supporta i lavoratori con una guida interattiva e in tempo reale, illustrando i passaggi dei compiti da svolgere.[8]

Infine, l'intelligenza artificiale fornisce supporto per la produzione intelligente in molti modi. Ad esempio, può offrire strumenti che a partire dall'analisi dei dati raccolti dal campo consentono di prevedere guasti, malfunzionamenti o altri problemi dei macchinari migliorando la manutenzione e azzerando i tempi di fermo macchina. L'intelligenza artificiale può inoltre supportare il controllo qualitativo dei prodotti, individuando eventuali anomalie già nelle prime fasi del processo di produzione. In questo modo si ottimizza la qualità dei prodotti e si riducono i costi di produzione. [9][8]

Gli strumenti software sono fondamentali per il funzionamento della fabbrica intelligente dell'Industria 4.0 poiché ne consentono il controllo e la gestione, nonché l'archiviazione, la trasmissione e l'elaborazione di dati e informazioni sul percorso e sulla storia dei vari elementi presenti all'interno dello stabilimento. La crescente complessità dei sistemi di produzione richiede più sistemi IT; per comprendere ciò bisogna fare riferimento alla struttura gerarchica presente all'interno dei sistemi di produzione, sintetizzata in quella che viene comunemente indicata come piramide dell'automazione. Nonostante i sistemi CPS presentino un nuovo approccio non gerarchico alla produzione, l'architettura della piramide dell'automazione è ancora presente e

molto comune all'interno degli stabilimenti produttivi. Ne esistono versioni differenti, in tale elaborato si fa riferimento alla specifica riportata in Figura 4.4. Di seguito, i diversi livelli gerarchici sono discussi con un approccio dal basso verso l'alto.

L'effettivo processo di produzione o fabbricazione che crea valore è posizionato al livello gerarchico più basso, il livello 0, controllato dai dispositivi e dai sensori appartenenti al livello 1. Sensori e attuatori al livello 1 devono essere in grado di intervenire in tempi brevi (dell'ordine dei millisecondi o secondi) al fine di raggiungere i requisiti di qualità richiesti per i prodotti. Ciò è garantito grazie all'utilizzo dei sistemi di livello 2, generalmente controllori logici programmabili (PLC) che, monitorano, supervisionano e controllano quanto avviene nell'ambiente di produzione, comandano sensori e attuatori al livello inferiore. Al livello 3, si trovano tutte le attività di gestione della produzione e relativo controllo (*Manufacturing Operations and Control MO&C*) quali la gestione degli ordini, degli avanzamenti in termini di quantità e tempi, del magazzino etc. Generalmente questa funzione è svolta da un software MES (Manufacturing Execution System). Il livello 4 riguarda la pianificazione aziendale e la logistica (*Business Planning and Logistics BPL*) consistente nella gestione delle funzioni aziendali quali contabilità, vendite, acquisti, gestione dei progetti, finanza e così via. A supporto del Management per tale attività si utilizza uno strumento ERP (*Enterprise Resource Planning*), una soluzione software dalla struttura modulare che può comprendere componenti come approvvigionamento, logistica, finanza, controllo e pianificazione ed esecuzione della produzione collegati ad un database comune. Di solito vengono implementate soluzioni già disponibili in commercio, attualmente la soluzione leader è SAP, della società tedesca SAP SE.



**Figura 4.4:** Piramide dell'automazione

### 4.3 Interoperabilità e consapevolezza

Il concetto di Industria 4.0 si basa su due principi fondamentali: *interoperabilità* e *consapevolezza*.

Alla base del concetto di interoperabilità vi è l'**integrazione**, orizzontale, verticale e end-to-end, quale garante dell'affidabilità di un ambiente produttivo Industria 4.0. Comprende sotto concetti di digitalizzazione, comunicazione, flessibilità e così via.

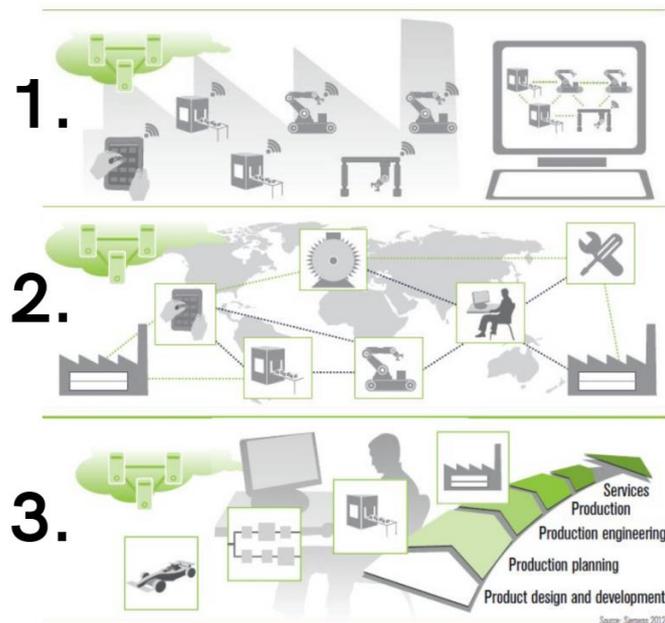
Il concetto di consapevolezza comprende invece tutti gli aspetti che rendono la produzione intelligente come la capacità di fare previsioni, di prendere decisioni e agire in maniera autonoma, l'auto-ottimizzazione, tutte quelle funzioni che forniscono l'essenza all'Industria 4.0. [6]

#### 4.3.1 Interoperabilità

Al fine di garantire una gestione e controllo efficiente di una Fabbrica Intelligente è necessaria la presenza di un flusso bidirezionale e coerente di dati e di informazioni tra tutti i sistemi tecnologici coinvolti al suo interno. Ciò è conseguibile attraverso (Figura 4.5):

1. un'integrazione verticale all'interno del sistema di produzione;

2. un'integrazione orizzontale sulle reti di valore aziendale;
3. un'integrazione end-to-end lungo l'intero ciclo di vita del prodotto.



*Figura 4.5: Integrazione verticale, orizzontale e end-to-end*

L'**integrazione verticale** consiste nello sviluppo, implementazione ed integrazione di sistemi di produzione flessibili e riconfigurabili all'interno di uno stabilimento produttivo in cui, vi è uno scambio di dati bidirezionale tra i diversi livelli della piramide dell'automazione. Ciò è reso possibile, nell'ambito dell'Industria 4.0, dalla connessione delle macchine in rete, che consente di raccogliere e di immagazzinare grandi quantità di dati direttamente dal campo e di analizzarli, garantendo una maggiore trasparenza e controllo del processo di produzione e supportando così il miglioramento del processo decisionale in officina. [9]

L'**integrazione orizzontale** presenta una sfera di applicazione più ampia rispetto all'integrazione verticale. Possiamo identificare due differenti tipologie di integrazione orizzontale: la prima è interna allo stabilimento produttivo e consiste nell'unione digitale delle varie aree dello stabilimento stesso; la seconda è esterna e prevede non solo la collaborazione tra diversi stabilimenti di uno stesso gruppo aziendale o di gruppi diversi, ma anche il coinvolgimento di clienti e fornitori. La potenzialità derivante dal concetto di Industria 4.0 è nello sfruttamento della connettività garantita dai CPS per connettere l'azienda con il mondo esterno. Le reti di collaborazione tra le imprese consentono un'unione delle risorse e una condivisione della conoscenza in modo che esse possano adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato, cogliendo nuove opportunità.

Grazie all'integrazione del sistema clienti, resa possibile da canali digitali e prodotti smart, un cliente può ottenere in ogni momento informazioni sullo stato del prodotto nel processo di produzione, è immediatamente informato in caso di problemi ed è in grado di attivare le modifiche nella fase desiderata del processo di produzione. In questo modo le modifiche e le richieste di modifica possono essere gestite in modo migliore.

L'integrazione orizzontale è vantaggiosa anche per i fornitori che possono ottenere informazioni in tempo reale sullo stato del magazzino e sulla domanda futura di componenti. In questo modo è possibile pianificare e organizzare meglio la consegna e condividere immediatamente le informazioni se i componenti non sono più disponibili. Inoltre, i fornitori e i produttori di componenti ottengono direttamente i dati di come i loro componenti e parti si comportano nei processi di produzione. Ciò consente ai fornitori di ottimizzare l'offerta di prodotti e ai produttori di migliorare i propri componenti in base ai dati di produzione reali.

L'**integrazione end-to-end** consiste nell'unione del mondo digitale e del mondo fisico in ogni fase del ciclo di vita dei prodotti, coinvolgendo i diversi dipartimenti aziendali che danno il loro contributo. Il punto di partenza è l'interazione con il cliente, al fine di comprenderne i gusti e le esigenze e tramutarli in un'idea per lo sviluppo del prodotto. Il prodotto, poiché è intelligente, può memorizzare informazioni su sé stesso in termini di produzione, operazione precedente, stato corrente, informazioni sull'assemblaggio, informazioni

che possono poi essere raccolte ed elaborare nei sistemi informatici. Il fine è l'ottimizzazione dell'ingegneria e delle risorse lungo l'intera catena di valore del prodotto e a supporto di ciò, la potenzialità offerta dall'Industria 4.0, è nella digitalizzazione dei processi, che consente di mantenere sempre una connessione con il mondo fisico.

#### 4.3.2 Consapevolezza

A rendere possibile l'interconnessione, oltre a fornire l'intelligenza dei nuovi sistemi di produzione, sono le nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione (*Information and Communications Technology ICT*), in particolare l'Internet of Things (IoT), i servizi Cloud, Big Data e Analytics.

L'IoT rappresenta l'integrazione di miliardi di dispositivi fisici in tutto il mondo in un ambiente Internet, attraverso la comunicazione wireless, che raccolgono e condividono costantemente dati senza il coinvolgimento di un essere umano.

I servizi Cloud consentono l'archiviazione di dati in uno spazio virtuale, accessibile in qualsiasi momento ed in ogni luogo, favorendo in questo modo l'integrazione tra diversi dispositivi.

La combinazione dell'utilizzo di IoT e Cloud consente la connessione di diverse apparecchiature e la raccolta da sistemi e oggetti di un'estesa quantità di dati, in termini di volume, velocità e varietà, raccolta indicata con la locuzione inglese Big Data. Insieme all' Analytics, ovvero al processo di analisi di questa mole di dati al fine di estrarne informazioni mediante l'utilizzo di metodi analitici, è considerato uno dei driver più importanti della quarta rivoluzione industriale. La combinazione di Big Data e Analytics può infatti supportare l'auto-organizzazione delle linee di produzione e può ottimizzare le attività decisionali in ogni dimensione di un'attività industriale.

Queste quattro tecnologie hanno funzioni diverse: l'IoT consente la comunicazione tra gli oggetti e i dispositivi all'interno della fabbrica, i servizi Cloud forniscono un facile accesso a informazioni e servizi mentre la capacità di raccogliere grandi quantità di dati ed analizzarli, trasformandoli in informazioni, rendono il sistema fabbrica intelligente. [8]

### 4.4 Comunicazione industriale

Abbiamo visto come sia essenziale, nell'ambito della produzione intelligente, garantire lo scambio affidabile di un elevato flusso di informazioni. Alla base della comunicazione tra i dispositivi di rete industriali vi sono i protocolli di comunicazione, linguaggi con i quali una macchina, una scheda elettronica, un software o più in generale un dispositivo comunica con il mondo esterno. A partire dagli anni '80 sono stati sviluppati un elevato numero di protocolli di comunicazione accogliendo in molti casi nuove tecnologie emergenti in altri campi, principalmente nel mondo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC).

La scelta del protocollo è guidata dalla considerazione di diversi fattori quali l'estensione degli impianti, le condizioni di funzionamento in termini di esposizione agli agenti atmosferici e corrosivi, le distanze che i dati devono percorrere nella rete, il numero di nodi nella rete e l'architettura di rete stessa, la velocità di elaborazione, la scalabilità ed estendibilità, etc. I requisiti richiesti ad un protocollo di comunicazione variano da un livello gerarchico all'altro in base alle esigenze delle applicazioni, ai requisiti di affidabilità, all'ampiezza di banda e così via.

Tra i primi protocolli di comunicazione sviluppati troviamo i sistemi Fieldbus, sviluppati da zero per superare i limiti causati dal cablaggio in parallelo tra sensori, attuatori e controllori e per colmare il divario di comunicazione esistente ai livelli inferiori della piramide di automazione. Il maggior vantaggio offerto dal bus di campo è stata la drastica riduzione del cablaggio dell'impianto e le sue caratteristiche di affidabilità e semplicità

La diffusione di Internet e il subentro delle tecnologie dell'informazione IT in ambito industriale, ha stimolato una nuova ondata di reti basate su Ethernet, che offrivano prestazioni più elevate e capacità di integrarsi facilmente con le reti aziendali. L'uso della fibra Ethernet riduce i problemi di disturbi elettrici, fornisce l'isolamento elettrico per prevenire danni alle apparecchiature e resiste ad ambienti industriali difficili.

Tuttavia, la mancanza di autentiche capacità in tempo reale nello standard Ethernet ha impedito lo sviluppo di un'unica soluzione e ha portato, ancora una volta, all'emergere di un elevato numero di soluzioni dedicate

La terza fase evolutiva ha riguardato le reti wireless. Il vantaggio principale dell'utilizzo di connessioni wireless nell'automazione industriale è che dispositivi e macchine possono essere spostati e collegati con maggiore facilità e non ci sono cavi che limitano. Ciò comporta un risparmio sui costi operativi della rete e facilita l'installazione. La fortuna di questo protocollo di comunicazione va ricercata nell'assenza di cablaggio e nella possibilità di gestione di un maggior numero di punti di monitoraggio e controllo. Oggi, i sensori sono i principali utilizzatori del protocollo wireless.

Per ciascuna famiglia di protocolli sono riportati in *Figura 4.6* le principali soluzioni.

Protocolli di comunicazione		
Cablati		Wireless
<b>Fieldbus:</b> Profibus ModBus DeviceNET	<b>Industrial Ethernet:</b> Profinet Ethernet/IP Ethernet CAT	Bluetooth/LE ZigBee Wi-Fi Cellular

**Figura 4.6:** Lista dei protocolli di comunicazione più utilizzati

Le interfacce di comunicazione possono inoltre essere differenziate in base al raggio d'azione e all'installazione fisica, che include una comunicazione cablata o wireless.[5] In *Figura 4.7* sono presentati i diversi tipi di interfacce di comunicazione all'interno dell'ambiente industriale.

Area	Descrizione	Esempi
Body Area Networks (BAN)	Reti wireless con un'estensione di circa un metro	NFC, Bluetooth Low Energy
Personal Area Networks (PAN)	Reti wireless per device mobili con un'estensione di circa 10 metri	Industrial WLAN, Bluetooth o ZigBee
Local Area Networks (LAN)	Reti wireless o cablate con un'estensione di circa 300 metri	Ethernet, Profibus, Profinet (cablati)
Wide Area Networks (WAN)	Trasferimento di dati tra punti distanti anche diverse centinaia di km	GPRS, UMTS, LTE

**Figura 4.7:** Interfacce di comunicazione all'interno dell'ambiente industriale

Le comunicazioni industriali sono attualmente composte da un misto di sistemi di bus di campo, approcci basati su Ethernet e alcune soluzioni wireless. La recente adozione di concetti IoT e CPS nel mondo dell'automazione, tuttavia, sta cambiando nuovamente lo scenario inserendo la ricerca per l'integrazione dei flussi di informazioni nell'automazione in un contesto più ampio, coinvolgendo l'ambito dell'elettronica di consumo. Quest'ultima ha infatti trovato nell'automazione industriale un campo di applicazione promettente dei propri prodotti e sembra determinata a considerare le esigenze di automazione nello sviluppo delle reti 5G. Dopo tutto, una delle caratteristiche allettanti del concetto IoT è la promessa di utilizzare tutti i giorni dispositivi abilitati a Internet come smartphone o tablet per l'accesso ai dati industriali. [10]

## 4.5 Sviluppo di soluzioni innovative nell'ambito dell'Industria 4.0

Come già anticipato all'inizio di questo Capitolo, all'interno del perimetro Industria 4.0, nell'area Press Shop & Die, è stato già avviato lo sviluppo di soluzioni innovative che mirano ad ottimizzare e digitalizzare il processo di Stampaggio attraverso l'implementazione di soluzioni intelligenti. Si tratta di attività, sviluppate

seguendo la Metodologia World Class, che partono da un'analisi dello stato dell'arte e, da un'attenta valutazione dei bisogni aziendali.

Queste attività sono parte di un progetto di innovazione, svolto in collaborazione con diversi atenei e centri di ricerca, il cui obiettivo è quello di introdurre, a partire dall'attuale linea presse, una serie di sensori per il monitoraggio dei principali parametri che influenzano l'efficienza e la produttività della linea, nonché la qualità finale dei componenti stampati.

Essendo tali parametri di prodotto e di processo in numero elevato, sono stati prediletti quelli facilmente misurabili in linea mediante l'uso di sensori e, quelli che potessero essere significativi in termini di confronto tra dati di progetto (dati simulati) e dati di processo (dati misurati), in modo tale da avere un ulteriore sistema di feedback.

Diverse sono le soluzioni proposte sia per il processo di stampaggio a freddo che per il processo di stampaggio a caldo. Prima di entrare però nel merito della metodologia seguita per la raccolta delle idee e, delle principali soluzioni individuate, è bene analizzare lo stato dell'arte della sensoristica, in termini di tipologia e impiego, all'interno del Press Shop & Die.

#### 4.5.1 Sensori

Un sensore è un dispositivo che rileva eventi o cambiamenti nel suo ambiente e li converte in dati che possono essere interpretati da un essere umano o da una macchina. Con la raccolta di dati dall'ambiente i sensori consentono di ricreare fedelmente il mondo fisico in tempo reale, garantendo un controllo accurato dei processi fisici. Il risultato è una *fusione di mondo digitale e mondo materiale*.

I dati raccolti dai sensori, opportunamente elaborati, danno luogo a segnali di comando che vengono inviati agli attuatori. Il compito dei sensori è quindi fondamentale, perché la condizione necessaria per il corretto funzionamento di un sistema è quella di ricevere informazioni accurate.

I sensori possono essere classificati in base alla grandezza fisica rilevata (Figura 4.8), che può essere ad esempio meccanica, elettrica, termica, oppure in base al principio di funzionamento, ovvero alla grandezza di uscita che può essere ad esempio meccanica, elettrica o ottica. I sensori oggi più utilizzati sono quelli di tipo elettrico che convertono una proprietà fisica in ingresso in un segnale elettrico, analogico o digitale, compatibile con i circuiti elettronici, dove con elettrico si intende un segnale che può essere canalizzato, amplificato e modificato da dispositivi elettronici. Il segnale di uscita del sensore può essere pertanto sotto forma di tensione, corrente o carica.

Classificazione	Esempi di variabili misurate
Variabili meccaniche	Velocità, velocità di rotazione, accelerazione, vibrazione, portata
Variabili termiche	Temperatura di contatto
Variabili elettriche	Tensione, corrente, potenza elettrica
Variabili chimiche e fisiche	Intensità, lunghezza d'onda, colore

**Figura 4.8:** Classificazione dei sensori in base alla grandezza fisica rilevata

Tutti i sensori possono essere di due tipi: *passivi* e *attivi*. Un sensore passivo non necessita di alcuna fonte di energia aggiuntiva mentre, i sensori attivi, richiedono un'alimentazione esterna per il loro funzionamento, che viene chiamata segnale di eccitazione. Questo segnale viene modificato dal sensore per produrre il segnale di uscita.

Le principali caratteristiche di un sensore sono: campo di misura, sensibilità, accuratezza, velocità di risposta ed economicità. In fase di progettazione si cerca un compromesso tra queste caratteristiche in base ai compiti specifici che il sensore dovrà svolgere.

Per quanto riguarda le tecnologie di rilevamento, i sensori classici servono come primo elemento di un'intera catena di misura. Questa catena include processi di misurazione fondamentali come la raccolta di variabili di misurazione, la preelaborazione dei segnali, l'elaborazione dei segnali, l'amplificazione del segnale e la conversione analogico-digitale.

I sensori classici raccolgono semplicemente le variabili di misura e le trasformano in un segnale elettrico, mentre le nuove generazioni di sensori basati su semiconduttori, i cosiddetti sensori intelligenti, hanno la capacità di trasformare i segnali raccolti in dati digitali e, inoltre, di elaborarli in informazioni preziose coprendo in questo modo l'intera catena di misura. Questa sensoristica Smart è sempre più evoluta, economica, miniaturizzata e fornisce dati già pronti per l'analisi perché sono trasmessi in forma numerica e sono ripuliti mediante operazioni di filtraggio, linearizzazioni, medie e altre funzioni matematiche applicate alla grandezza misurata (Figura 4.9).



**Figura 4.9:** Sensoristica Smart

Utilizzando un dispositivo di comunicazione, i suddetti sensori intelligenti possono inoltre scambiare tra di loro i dati elaborati in modo da effettuare osservazioni accurate su scenari del mondo reale in vari settori come non è mai stato possibile prima. Negli ultimi anni, ad attirare l'attenzione della comunità di ricerca, sono state le reti di sensori wireless (Wireless sensor networks WSN), composte da un insieme finito di sensori distribuiti geograficamente in un dato ambiente che comunicano tra di loro in modalità wireless.

La tecnologia dei sensori wireless e le reti di sensori wireless saranno analizzate con maggiore dettaglio nel Capitolo 5 di questo elaborato.

#### 4.5.2 Sensoristica su stampi

La sensoristica attualmente implementata sugli stampi è costituita da sensori di prossimità, ossia sensori in grado di rilevare la presenza o l'assenza di oggetti che si avvicinano ad un lato sensibile e, forniscono in uscita o un segnale elettrico di tipo on/off (assenza/presenza) o un segnale analogico dipendente dalla distanza tra il sensore e l'oggetto (in questo caso i sensori sono dei trasduttori di posizione lineare).

Il circuito che genera il segnale elettrico d'uscita può essere realizzato secondo diversi standard:

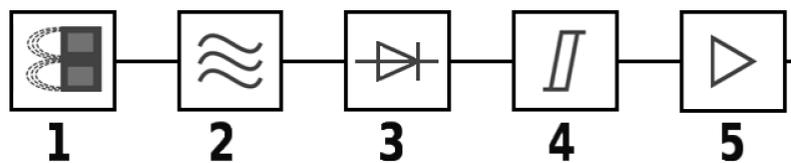
- come contatto puro;
- tipo PNP;
- tipo NPN.

L'uscita è normalmente progettata per trattare segnali a bassa tensione (fino a 48V) e basse correnti (fino 200 mA), non adatte per comandare direttamente attuatori, ma adatte ad alimentare ingressi di schede di controllo, PLC o CNC. [11]

I sensori di prossimità sono solitamente classificati in base alla tecnologia con la quale sono costruiti. Avremo pertanto sensori di prossimità di tipo *meccanico*, *induttivo*, *capacitivo*, *magnetico*, *ottico* e *ad ultrasuoni*. Tra questi, i primi tre sono i più utilizzati sullo stampo poiché più affidabili e meno costosi.

I *sensori di prossimità di tipo meccanico* sono generalmente valvole pneumatiche ad azionamento meccanico usate come finecorsa. Sono valvole monostabili in cui l'azionamento avviene meccanicamente per contatto con l'oggetto di cui si vuole rilevare la presenza.

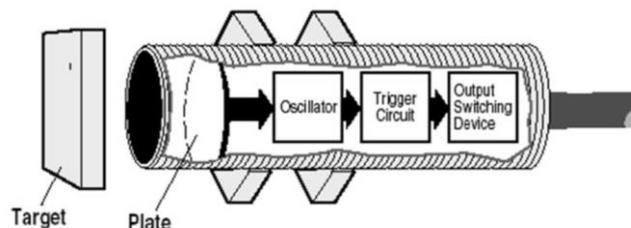
I *sensori di prossimità di tipo induttivo* consistono di una bobina avvolta attorno a un nucleo di ferro dolce alimentata con tensione sinusoidale ad alte frequenze (nell'ordine del MHz), di un oscillatore, di un rilevatore del livello del segnale di attivazione e di un circuito di uscita. La corrente elettrica che circola nella bobina, genera un campo elettromagnetico oscillante e quando un oggetto metallico entra all'interno del campo, le correnti parassite indotte nell'elemento fanno diminuire l'ampiezza dell'oscillazione. Quando questa oscillazione diventa inferiore ad una certa soglia, il sensore commuta grazie ad un demodulatore che rileva l'involuppo dell'oscillazione, e dunque la sua ampiezza e al Trigger di Schmitt, dotato di isteresi, che confronta l'ampiezza dell'oscillazione con due valori di soglia fornendo un'uscita logica (ON/OFF).



**Figura 4.10:** Schema a blocchi di un sensore induttivo

I sensori induttivi sono largamente utilizzati in diverse applicazioni industriali. Sono robusti e compatti e, rilevando solamente oggetti metallici, non sono influenzati dalla presenza di altri materiali.

Il principio di funzionamento dei *sensori di prossimità di tipo capacitivo* è simile a quello dei sensori induttivi ma utilizzano la proprietà elettrica della capacità e la variazione di tale capacità causata da un cambiamento nel campo elettrico attorno alla faccia attiva del sensore. Un sensore capacitivo agisce come un semplice condensatore: un tipico condensatore è composto da due piastre di materiale conduttore dette armature separate da un isolante, noto anche come dielettrico. Sul lato sensibile del sensore vi è una piastra che costituisce un'armatura; l'eventuale presenza nelle immediate vicinanze di un oggetto conduttore realizza l'altra armatura del condensatore; l'aria tra il sensore e l'oggetto funge da dielettrico. Come i sensori induttivi, queste piastre sono collegate a un oscillatore, un trigger di Schmitt e un amplificatore di uscita. A riposo c'è poca capacità tra le due piastre ma quando un oggetto entra nella zona di rilevamento, la capacità delle due piastre aumenta, provocando una variazione dell'ampiezza dell'oscillatore. Una volta che le oscillazioni superano una determinata soglia, il Trigger genera un segnale di uscita che indica che l'oggetto si è avvicinato all'interno del range di attivazione impostato. Contrariamente ai sensori induttivi, che rilevano solo gli oggetti metallici, quelli capacitivi segnalano la presenza di qualsiasi tipo di oggetto, indipendentemente da forma e materiale (materiali solidi, liquidi, viscosi, polveri, ecc.), inoltre hanno un'ottima durata e sono estremamente affidabili. Tuttavia, possono essere un po' più lenti nel fornire la lettura rispetto ai sensori induttivi, sono sensibili alla temperatura e materiali non target, quali umidità e polvere, possono potenzialmente interferire con il sensore che potrebbe fornire letture imprecise o errate.



**Figura 4.11:** Sensore di prossimità di tipo capacitivo

Le tipologie di controllo attualmente effettuate sugli stampi sono:

- controllo del posizionamento corretto del foglio di lamiera;
- controllo della corretta evacuazione dello sfrido;

- controllo delle posizioni degli automatismi e delle parti meccaniche.

Il foglio di lamiera è in posizione corretta se è ben calzato e se è bloccato. Mediante l'utilizzo di finecorsa si controlla che il foglio sia ben calzato (in uno stampo grande è possibile avere fino a 3 finecorsa) mentre per controllare che il foglio si bloccato si utilizzano degli automatismi, ad esempio dei cilindri pneumatici, che bloccano lo spezzone. I cilindri pneumatici sono comandati elettricamente mediante elettrovalvole (in generale abbiamo sempre che la parte di comando è elettrica e la parte di azionamento è pneumatica) e servono a garantire la ripetibilità dello stampaggio per cui è particolarmente importante il loro posizionamento all'interno dello stampo, posizionamento che varia in base alla geometria della figura. In generale sono posizionati lontani tra loro e disposti diagonalmente in modo da controllare anche un'eventuale rotazione in pianta del pezzo.

In generale il controllo del corretto posizionamento del pezzo è utilizzato anche per verificare che non vi siano sfridi bloccati poiché uno sfrido bloccato impedisce il corretto posizionamento. Anche per la rimozione dello sfrido bloccato si utilizza un cilindro comandato elettricamente.

**Tabella 2:** Tipologia di sensori e relativo tipo di controllo

Tipologia di sensore	Tipologia di controllo
Sensori di prossimità induttivi	Corretto posizionamento del pezzo
Sensori di prossimità capacitivi	Corretto posizionamento di elementi in alluminio
Sensori di prossimità meccanici	Controllo della posizione delle parti meccaniche

Per quanto riguarda la sensoristica impiegata per questi controlli abbiamo:

- sensori di prossimità induttivi per il controllo della corretta posizione dell'elemento;
- sensori di prossimità capacitivi per il controllo della corretta posizione degli elementi in alluminio;
- sensori di prossimità meccanici per il controllo delle posizioni di spine di reazione, slitte matrici, sollevatori etc. quindi in generale delle parti meccaniche.

In *Tabella 2* è riassunto quanto detto.

Nell'analizzare la sensoristica attualmente presente sugli stampi bisogna però sempre considerare che, per ciascuna operazione del Ciclo di Stampaggio, cambiano le funzioni all'interno dello stampo per cui ogni operazione ha un suo modo di dialogare ed è sottoposta a determinati controlli.

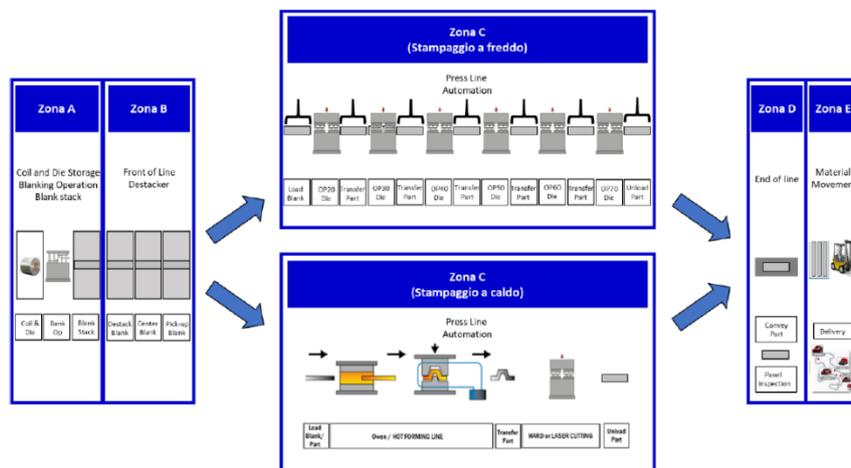
Una tipologia di controllo che si vuole implementare, con particolare riferimento all'operazione di Assestamento è il controllo delle forze in gioco. Infatti, affinché si abbia la compressione le forze esercitate dalla parte superiore devono vincere le forze resistenti della parte inferiore e se la parte inferiore nell'impatto non è sufficientemente resistente tenderebbe a far rimbalzare la parte superiore e si perderebbe il controllo del pezzo per qualche secondo mentre se fosse troppo rigida si rischierebbe di avere un assestamento già al momento dell'impatto. Queste forze sono regolabili per cui il loro controllo potrebbe apportare miglioramenti notevoli.

### 4.5.3 Proposte di innovazione

La Metodologia seguita al fine di individuare la soluzione più idonea all'ottimizzazione del Processo di Stampaggio ha visto una prima suddivisione di quest'ultimo in zone logicamente distinte. Ciascuna zona è stata accuratamente analizzata, al fine di individuarne i problemi e, sono state raccolte idee su possibili controlli da implementare per risolverli. Per ciascuna tipologia di controllo è stato infine ipotizzato l'impiego di uno o più sistemi di sensori.

L'intero processo di stampaggio è stato suddiviso in cinque zone logicamente distinte:

- **ZONA A: Ingresso Materiale**, che comprende lo stoccaggio del coil di lamiera, l'operazione di tranciatura e lo stoccaggio dei pezzi tranciati;
- **ZONA B: Posizionamento**, dove vi è il prelievo della lamiera e deposito in pressa;
- **ZONA C: Linea Presse**, che comprende tutte le operazioni di stampaggio (differenti per stampaggio a freddo e stampaggio a caldo);
- **ZONA D: Scarico**, controllo del pezzo e rimozione dello stesso dalla pressa;
- **ZONA E: Controllo Qualità**, dove vi è il controllo della qualità del componente stampato a fondo linea.



**Figura 4.12:** Zone logicamente distinte individuate nel processo di stampaggio

Per ciascuna zona sono stati individuati i seguenti tipi di controlli:

#### ZONA A – Ingresso materiale

- **A.1:** controllo qualità e caratterizzazione del materiale in ingresso;
- **A.2:** verifica della quantità e della distribuzione di olio sulla lamiera in entrata, particolarmente importante nel caso di stampaggio dell'alluminio poiché l'alluminio ha una formabilità ridotta rispetto all'acciaio e si è osservato che lubrificando l'alluminio si va ad agevolare la formabilità;
- **A.3:** verifica dello spessore del materiale in ingresso. Una lamiera con uno spessore maggiore è più restia a modificare la sua geometria ma è meno resistente per cui lo spessore del materiale in ingresso deve essere un giusto compromesso tra queste due necessità;
- **A.4:** rilevamento della saldatura di giunzione tra coil, che può comportare difetti estetici;
- **A.5:** avviamento automatico del ciclo di stampaggio a caldo mediante l'individuazione della presenza del pezzo sul caricatore esterno;
- **A.6:** segnalazione di emergenza su caricatore esterno per stampaggio a caldo.

#### ZONA B – Posizionamento

- **B.1:** Verifica del corretto posizionamento della lamiera nello stampo, controllando che non vi siano scostamenti e/o rotazioni in pianta rispetto alla posizione nominale;
- **B.2:** misura della temperatura del pezzo in uscita dal forno per stampaggio a caldo;
- **B.3:** verifica che il robot non carichi due fogli di lamiera.

#### ZONA C – Stampaggio della lamiera sotto pressa

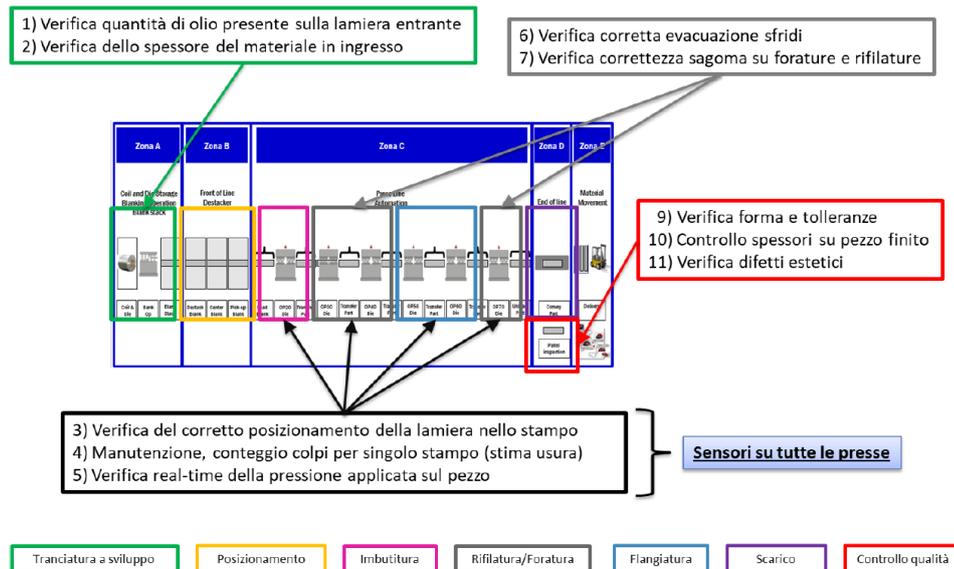
- **C.1:** verifica della velocità di discesa in fase di attivazione della pressa;
- **C.2:** conteggio del numero di colpi/ciclo per manutenzione preventiva;
- **C.3:** verifica in tempo reale della pressione applicata sul pezzo;
- **C.4:** controllo che lo scorrimento lamiera posta nella pressa, dovuta a fenomeni di ritiro elastico, sia in tolleranza. In caso contrario si va ad incrementare o a ridurre la pressione per la lavorazione dei pezzi successivi.

### ZONA D – Scarico

- D.1: verifica della corretta evacuazione degli sfridi;
- D.2: verifica della correttezza del profilo nelle zone di tranciatura e foratura, operazione attualmente svolta dagli operatori a fondo linea.

### ZONA E – Controllo qualità

- E.1: verifica forma e tolleranze;
- E.2: verifica della distribuzione delle temperature sul materiale temprato per stampaggio a caldo;
- E.3: controllo degli spessori sul pezzo finito;
- E.4: verifica dei difetti estetici.



Diverse sono le soluzioni ipotizzate per i controlli precedentemente elencati, alcune già accantonate mentre altre ancora in fase di verifica. Ad esempio, è stato proposto l'utilizzo di dispositivi di rilevazione ottica o fotografica per la verifica della quantità di olio e della presenza di saldature di giunzione tra coil sulla lamiera in entrata e, per il controllo del corretto posizionamento del pezzo nello stampo. L'impiego di distanziometri è invece ipotizzato per la verifica dello spessore del materiale in ingresso e del caricamento doppio.

Per il controllo della corretta evacuazione dello sfrido è stato proposto di utilizzare una fotocellula che ne individua il passaggio e un nastro trasportatore che, nel caso di mancata rilevazione, si pone in movimento e fa evacuare lo sfrido.

A fondo linea, al momento, il controllo qualitativo che il pezzo subisce è effettuato manualmente dipendendo così dal giudizio dell'operatore. Per ovviare alla mancanza di una quantificazione oggettiva, si vuole automatizzare questo processo, anticipando il controllo che il pezzo subisce in sala metrologica, implementando sistemi di visione (rilevazione ottica, fotografica, etc.) e/o di dimensione (distanziometri laser, sensori induttivi, capacitivi o laser).

Nell'ambito dello stampaggio a caldo, invece, si vuole intervenire in primo luogo sul corretto posizionamento del pezzo nella fornace. Oggi, ciò è realizzato utilizzando un sistema di riferimento posto a monte della linea, è stato però proposto di implementare un sistema di scansione del pezzo durante la fase di caricamento sia nella fornace che dalla fornace alla pressa. Necessaria sarebbe anche l'introduzione di un termo scanner per il monitoraggio in tempo reale della temperatura, attualmente del tutto assente. La temperatura del pezzo, in uscita dalla fornace e in uscita dallo stampo, è misurata solo ad inizio lotto al fine di tarare tempi e velocità del processo. Succede spesso però che eventuali errori sul pezzo, legati ad una non corretta temperatura di estrazione, si rilevino solo durante i controlli in sala metrologica.

Eseguendo attività di benchmarking è stato inoltre osservato che una delle principali aziende competitor ha già implementato all'interno del Press Shop l'utilizzo del Deep Learning, basato su reti neurali artificiali, per

la rilevazione di microstrappi sulle parti stampate. Con l'impiego del Deep Learning per l'analisi delle immagini eseguite da una telecamera a infrarossi posta nello stampo, i microstrappi risultano ben differenziati da eventuali particelle di polvere o macchie di olio sulla lamiera. Interessante sarebbe provare ad implementare questa soluzione.



**Figura 4.13:** Impiego del Deep Learning per l'analisi delle immagini eseguite da una telecamera a infrarossi posta nello stampo

Già testata invece è la soluzione proposta per il conteggio dei colpi per il singolo stampo e stima dell'usura consistente nell'impiego della tecnologia *Radio-frequency identification RFID* per l'identificazione e/o memorizzazione automatica delle informazioni inerenti allo stampo, tecnologia basata sulla capacità di memorizzazione di dati da parte di particolari etichette elettroniche, chiamate *tag* e sulla capacità di ricezione dei dati e di gestione dell'aggiornamento delle informazioni presenti nei tag da parte di dispositivi chiamati *reader* che comunicano e/o aggiornano le informazioni contenute nei tag mediante radiofrequenza. In particolare, il sistema implementato prevede l'utilizzo di un trigger, ovvero un sensore induttivo in grado di effettuare il conteggio colpi dello stampo, i cui segnali registrati sono inviati in tempo reale al reader che li scrive sul tag. Sul tag vengono, quindi, memorizzati i colpi dello stampo in lavorazione confrontati in tempo reale con le soglie di allarme inizializzate.

L'impiego di questi componenti ha portato ad un controllo più puntuale dei colpi eseguiti e ad una verifica in tempo reale dello stato dello stampo, ottimizzandone l'utilizzo e la manutenzione. Inoltre, la possibilità di visualizzare i dati del tag in qualsiasi momento, anche da remoto e, il possibile collegamento tra il sistema e un Software di gestione, ha aperto la strada verso una manutenzione più digitale.

La mia proposta di innovazione nell'ambito di tale progetto e, caso studio di questo elaborato, è descritta nel Capitolo seguente.

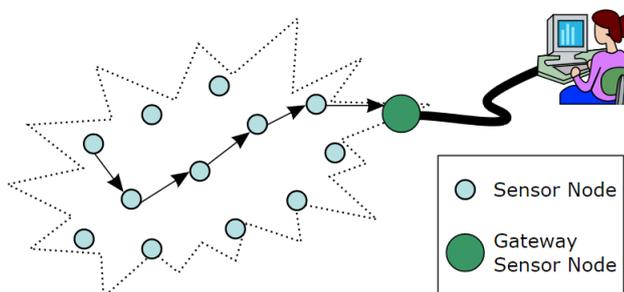
## 5 Caso studio: Applicazione del sistema WPM

I diversi sensori e attuatori presenti in un ambiente industriale sono collegati e controllati da un sistema di controllo distribuito DCS che monitora costantemente i sistemi fisici e, trasmette attuazioni e controlli per regolarne i parametri in risposta ai cambiamenti di stato. Inoltre, informa le persone sulle variabili di processo e consente loro di comandare modifiche alle variabili fisiche.[12]

In molti siti industriali il collegamento di sensori e attuatori richiede un elevato cablaggio, risultante in una rete molto estesa e costosa. La crescente maturità delle tecnologie wireless e l'adozione di standard come Bluetooth e ZigBee [13] ha portato all'implementazione di sensori wireless, piccoli dispositivi incorporati, a bassa potenza e dai costi contenuti, in grado di rilevare grandezze fisiche, elaborare dati e comunicare tra loro.

In genere, questi dispositivi sono organizzati in reti di sensori wireless (*Wireless Sensor Network WSN*) che comprendono diversi nodi sensori distribuiti in uno spazio fisico dal quale raccolgono le informazioni che vengono poi trasmesse ad uno o più punti di controllo centralizzato, chiamati nodi sink, per ulteriori analisi ed elaborazioni.

Per connettere la rete con l'esterno e trasmettere le informazioni che essa raccoglie, si utilizzano nodi sink, che agiscono come nodi *gateway*, a lungo raggio d'azione e distribuiti accanto ai sensori (*Figura 5.1*). Un gateway è un componente di rete progettato per la conversione tra protocolli diversi e in grado pertanto di comunicare con altri computer tramite altre reti, come reti locali (LAN), reti locali senza fili (WLAN), Internet e così via [14]. Funge in questo caso da interfaccia tra le sottoreti dei sensori wireless e il resto del sistema distribuito.

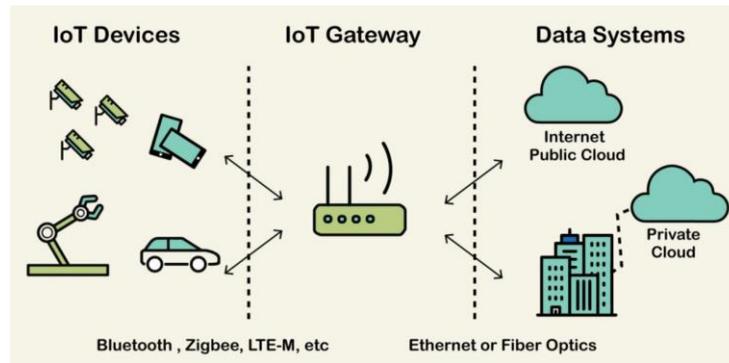


*Figura 5.1: Wireless Sensor Network*

Con la rapida espansione dell'Internet of Things (IoT) e la conseguente necessità di integrare un numero sempre maggiore di dispositivi e protocolli, si è diffuso l'utilizzo di gateway "intelligenti", noti come *gateway IoT*, in grado non solo di fare da ponte tra diversi tipi di tecnologie di comunicazione, abilitando la comunicazione IoT da dispositivo a dispositivo e da dispositivo a Cloud, ma di svolgere anche altre attività quali:

- elaborazione dei dati a livello Edge (pre-elaborazione, pulizia, filtraggio e ottimizzazione dei dati);
- gestione, controllo e diagnostica dell'intero sistema;
- protezione dell'intero canale di comunicazione (consente di gestire l'accesso degli utenti e le funzionalità di sicurezza della rete, crittografia, certificazioni e autenticazione).

I gateway IoT stanno emergendo come componente essenziale nella costruzione di un solido IoT e per fornire potenza di calcolo in scenari di Edge computing. Nell'Edge computing, l'elaborazione dei dati critici avviene in prossimità del luogo in cui vengono generati con conseguenti tempi di risposta e velocità di trasferimento migliori; i dati ottimizzati possono poi essere trasferiti al cloud dove si ha accesso a una maggiore potenza di calcolo e capacità di archiviazione maggiori. Un gateway IoT può fornire potenza di Edge computing ai tecnici sul campo o presso l'impianto.



*Figura 5.2: Utilizzo di un Gateway IoT*

Infine, la tecnologia wireless promette costi di installazione inferiori rispetto ai dispositivi cablati; fattibilità dell'installazione in luoghi in cui il cablaggio è impossibile o su apparecchiature in movimento dove il cablaggio può essere facilmente danneggiato e/o limitare il funzionamento dei macchinari da monitorare; funzionamento continuo, anche se i sensori vengono spostati, introdotti o rimossi poiché i collegamenti wireless sono spontanei e non pianificati. [12][14]

Tuttavia, a causa dell'elevata suscettibilità alle interferenze ambientali, della distanza limitata su cui possono operare i ricetrasmittitori wireless, delle difficoltà nel realizzare requisiti generali di affidabilità e tempestività nonché dei vincoli imposti ai nodi sensore in termini di costi (che si traducono in un nodo sensore limitato in risorse e capacità), la progettazione e l'implementazione di un WSN in ambiente industriale presenta non poche difficoltà.

Come risultato dei vincoli imposti ai nodi del sensore, molte ricerche si stanno concentrando sulla progettazione di protocolli, tecniche e metodi efficienti per rilevare, trasmettere e analizzare i dati [15] e che soddisfino i principali requisiti richiesti quali un basso consumo energetico, maggiore sicurezza e maggiore capacità di elaborazione e di archiviazione. Il basso consumo energetico, il basso costo e una maggiore sicurezza sono alcuni dei problemi principali che devono essere affrontati nelle reti di sensori wireless industriali. In tale contesto diventa cruciale la scelta di una tecnologia wireless adeguata: il nuovo standard Bluetooth Low Energy (BLE), pubblicato nel 2010 da Bluetooth SIG, è una soluzione interessante che dovrebbe essere in grado di soddisfare i diversi requisiti [13] [16].

L'implementazione di reti industriali wireless rimarrà comunque un'area di ricerca attiva per un tempo significativo, soprattutto perché la comunicazione wireless è ancora in via di sviluppo e le nuove tecnologie dovranno essere adattate per applicazioni industriali.

In questo contesto, si colloca la mia proposta di innovazione per il miglioramento dell'utilizzo e della manutenzione dello stampo, descritta in dettaglio nel presente capitolo.

## 5.1 Scopo dell'attività

La mia proposta, nell'ambito dell'ottimizzazione e digitalizzazione del Processo di Stampaggio in ottica Industria 4.0, prevede l'implementazione, a partire dall'attuale Linea di Produzione, di un sistema wireless per il monitoraggio e controllo del processo attraverso l'osservazione costante dello stato dell'impianto ad azoto presente nello stampo.

L'impianto ad azoto riveste infatti un ruolo critico nel corretto funzionamento dello stampo, non solo perché determina in parte il valore della forza esercitata sulla lamiera, ma anche perché, da esso, dipende il giusto posizionamento di diverse parti meccaniche contenute nello stampo.

Se a ciò si aggiunge la constatazione da parte degli addetti alla manutenzione di una non perfetta corrispondenza tra la vita utile effettiva dei cilindri e quella segnalata dai fornitori, con conseguenti interventi

manutentivi superflui o guasti improvvisi, si comprende facilmente come sia importante monitorare la pressione e la temperatura dei cilindri ad azoto contenuti nello stampo.

Gli obiettivi che ci si prefigge di raggiungere grazie all'implementazione di questo sistema sono:

- *Miglioramento dell'utilizzo e della manutenzione dello stampo* grazie ad un monitoraggio del processo di produzione e visualizzazione dei principali parametri di funzionamento in tempo reale;
- *Ottimizzazione della qualità dell'elemento stampato* come diretta conseguenza non solo dei fattori di cui sopra ma anche di una migliore gestione della fase di Messa a Punto (*Die Try-Out*) grazie ad un confronto tra i dati di processo (dati misurati dal sistema) e i dati di progetto (dati virtuali ottenuti in fase di simulazione);
- *Riduzione dei costi e dei tempi di manutenzione* grazie all'identificazione precisa e oggettiva del possibile guasto e alla possibilità di pianificare gli interventi manutentivi e di evitare quelli superflui;
- *Riconoscimento rapido dello stampo a magazzino* utilizzando un device mobile.

Si procede adesso alla presentazione del sistema scelto, della sua applicazione e delle opportunità grazie ad esso realizzate.

## 5.2 Sistema proposto

Il sistema proposto è un sistema di Monitoraggio della pressione Wireless in grado di monitorare la *pressione* e la *temperatura* dell'azoto nei cilindri, in tutte le aree in cui non è possibile l'impiego di sistemi basati su cavi o tubi e, di segnalare un malfunzionamento qualora tali parametri superino i valori di soglia di avvertimento o di allarme definiti in fase di installazione.

Con tale sistema, la casa produttrice offre un prodotto e una tecnologia che si colloca nel contesto della *quarta rivoluzione industriale*, supportando i concetti di processo intelligente e macchine/stampi collegati in rete.

Il sistema, rappresentato in *Figura 5.3*, è costituito da:

1. *Sensori*, collegati ai cilindri ad azoto nello stampo o al pannello di controllo, per il monitoraggio della pressione e della temperatura;
2. *Supporto dati* che gestisce i dati dei sensori dello stampo e ne trasmette i parametri al PC o al gateway;
3. *Gateway IoT*, installato in maniera fissa sulla pressa, con un'applicazione software per la configurazione del sistema e la visualizzazione dei valori misurati. Comunica da un lato con i sensori nello stampo, dall'altro con il sistema di comando della pressa.



*Figura 5.3: Componenti del sistema*

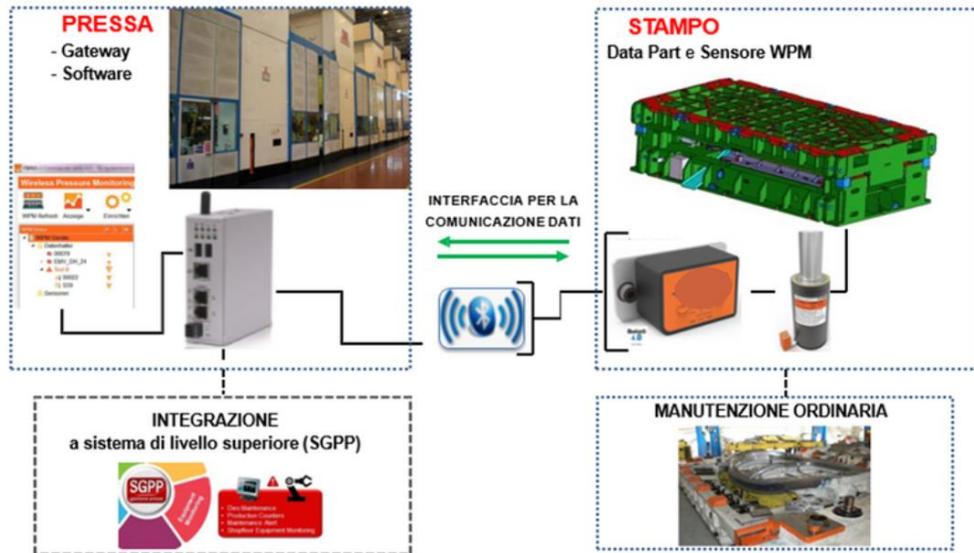
Il Sensore di pressione rileva informazioni sullo stato di funzionamento dei cilindri ad azoto, in particolare pressione e temperatura dell'azoto e, trasmette ciclicamente i dati misurati via wireless tramite lo standard

Bluetooth LE 4.0 al Supporto Dati e al Gateway. L'insieme di sensori posizionati all'interno dello stampo costituisce una rete di sensori wireless.

In ogni stampo viene installato un supporto dati; al suo interno vengono salvati tutti i dati dello stampo, così come un elenco di tutti i sensori che si trovano al suo interno. Il supporto dati effettua il collegamento al gateway o al dispositivo di lettura (ad esempio PC) e trasmette i propri dati stampo. Supporta il cambio utensile e può eseguire un test di funzionamento della rete di sensori quando lo stampo è fuori dalla pressa.

Infine il gateway serve per il collegamento dei sensori e del supporto dati al comando pressa, nel nostro caso un controllore logico programmabile PLC, nonché per la comunicazione con il software per la configurazione del sistema e la visualizzazione dei valori misurati.

Affinché il sistema funzioni correttamente la distanza del gateway dal supporto dati e dal sensore non deve essere superiore a 5 metri. [17]



**Figura 5.4:** Layout del Sistema e principio di funzionamento

Questo Sistema non è però una nuova conoscenza per l'azienda. La sua prima applicazione ha avuto luogo nell'anno 2010 nello stabilimento produttivo di Mirafiori. Il test fu eseguito per valutarne il beneficio potenziale in termini di verifica, durante il ciclo, della forza di lavoro in funzione della pressione di carica dei cilindri. Il Sensore di pressione non trasmetteva però informazioni via wireless tramite lo standard Bluetooth LE 4.0 ma tramite Wi-Fi per cui il sistema presentava limiti tecnologici legati a problemi di trasmissione del segnale all'interno della fusione, limiti condivisi dalla stessa casa produttrice.

Un secondo test è stato eseguito nell'anno successivo nello stabilimento produttivo di Cassino ovviando ai problemi di trasmissione del segnale collegando il trasmettitore non più al singolo cilindro ma al pannello di controllo di un gruppo di cilindri. Il sistema funzionava e il software dedicato risultava semplice ed intuitivo ma il rapporto costi/benefici si è dimostrato negativo per questo tipo di applicazione.

Per eliminare il problema relativo alle interferenze del segnale la casa produttrice nel 2018 ha inserito un nuovo elemento all'interno del sistema, il Gateway ed ha implementato anche la comunicazione tramite lo standard Bluetooth LE 4.0. Queste modifiche hanno consentito di ampliare l'utilizzo del sistema e di conseguire gli scopi elencati precedentemente.

### 5.2.1 Descrizione dei componenti

*Sensore:*

Il sensore, rappresentato in *Figura 5.5*, è alimentato a batteria ed ha una struttura meccanica resistente a urti e vibrazioni e, conforme ai requisiti ai requisiti dell'ambiente pressa. I dati tecnici del sensore sono riportati in *Tabella 3*.



**Figura 5.5: Sensore WPM**

**Tabella 3: Dati tecnici Sensore WPM**

<b>Parametri</b>	<b>Valore</b>
Soglia di misurazione della pressione	0-500 bar relativa
Soglia di misurazione della temperatura	da 0 °C a 85 °C
Soglia della temperatura di funzionamento	da 0 °C a 80 °C
Linearità	+/- 1%
Isteresi	+/- 0,5%
Ripetibilità	+/- 0,5%
Alloggiamento	plastica
Piastra base	alluminio
Connettore Minimes	acciaio zincato M12,65 x 1,5 FEM
Batteria	litio Li-SoC12 2 / 3 A 3,6 V
Trasmissione del segnale	Bluetooth 4.0 LE
Grado di protezione	IP65 avvitato e incollato in modo ermetico

**Supporto Dati:**

Ogni supporto dati è associato allo stampo cui è collegato e configurato insieme ai Sensori di pressione mediante l'utilizzo di un software di configurazione fornito dalla casa produttrice.



**Figura 5.6: Supporto Dati**

Sulla parte anteriore del supporto dati sono presenti dei LED, il cui colore dipende dalle condizioni di funzionamento e due pulsanti, il pulsante Check e il pulsante Login, ciascuno associato ad una determinata funzione.

Quando lo stampo non è in produzione, mediante il tasto di richiesta (*pulsante CHECK*) il supporto dati può eseguire un'interrogazione rapida dello stampo: commuta il suo stato di esercizio da trasmettitore a ricevitore, riceve le informazioni di stato di tutti i sensori ad esso collegati (pressione, batteria e ricezione) e le valuta. Durante questo intervallo di tempo il LED verde lampeggia, fino ad accendersi in modo statico una volta accertato il buono stato di tutti i sensori. Nel caso di superamento di una soglia di avvertimento da parte di almeno un sensore il LED rosso lampeggia, mentre in caso di superamento di una soglia di allarme la funzione di controllo reagisce immediatamente e il LED si accende di rosso in modo statico.

Una volta che lo stampo è pronto per il posizionamento sotto pressa, affinché il suo funzionamento possa essere monitorato e i valori misurati visualizzati, è necessario un accoppiamento tra il supporto dati ad esso associato e il Gateway. Per predisporre quest'ultimo all'appaiamento, esso viene commutato manualmente sulla modalità pairing. Mediante la pressione del *pulsante LOGIN* il supporto dati invia al Gateway una conferma di pairing e il LED rosso lampeggia. Se il Gateway riceve il segnale, convalida il pairing e il LED verde sul Supporto dati si accende in modo statico. Il Gateway cerca parallelamente tutti i sensori configurati e li attiva, conseguentemente il rispettivo stato viene visualizzato sul gateway.

**Tabella 4:** Dati tecnici del Supporto Dati

Parametri	Valore
Soglia della temperatura di funzionamento	da 0 °C a 55 °C
Alloggiamento	plastica
Piastra base	alluminio
Copertura del vano Batterie	alluminio
Trasmissione del segnale	Bluetooth 4.0 LE
Grado di protezione	IP65 avvitato e incollato in modo ermetico
Comando e visualizzazione	2 tasti e 2 LED bicolore rosso/verde
Alimentazione di tensione	2 batterie al litio-metallo da 3,6 V FIBRO
Dimensioni	44 mm x 50 mm x 111 mm

#### Gateway IoT:

Il gateway presenta la possibilità di rilevare informazioni di stato di sensori e Supporto Dati tramite lo standard Bluetooth LE 4.0. È montato sulla pressa o in prossimità, in un punto ben visibile e protetto meccanicamente. Sul gateway stesso alcuni LED mostrano gli stati di esercizio dell'apparecchio e delle interfacce, ad esempio stato dell'alimentazione di tensione interna, Stato di comunicazione Bluetooth, Stato del Pairing etc. Inoltre mediante i valori limite di pressione e di temperatura salvati nel supporto dati, il gateway può attivare un avvertimento o una disattivazione tramite l'interfaccia al comando pressa.



**Figura 5.7:** Gateway IoT

Il gateway possiede quattro modalità di funzionamento:

- la modalità I/O digitale semplice per impianti senza EtherCAT per la quale sono disponibili 4 ingressi digitali, 4 uscite digitali e 3 relè a potenziale zero (due pezzi con commutazione e un pezzo con contatto NA). Su uscite digitali e su uscite Relè sono valutabili le informazioni di stato riportate nelle tabelle seguenti:

**Tabella 5:** Informazioni di stato su uscite digitali

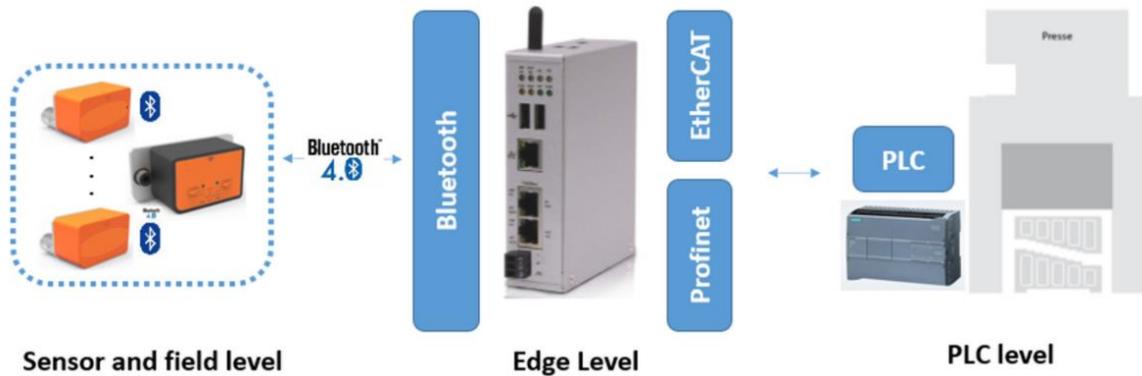
Uscite digitali	Funzione	Stato	Descrizione
+24V, 0,5A Uscita digitale 0 D0_OUT	Spia di segnale verde, stato OK.	On	Tutti gli stati dei sensori di pressione WPM collegati sono corretti
		Lampeggiante	Durante il monitoraggio utensile attivo, almeno un sensore monitorato non ha ricevuto alcuna informazione per un intervallo di tempo superiore a 120 secondi
+24V, 0,5A Uscita digitale 1 D1_OUT	Spia di segnale arancione, stato di avvertimento.	On	Almeno un sensore o un supporto dati collegato presenta un avvertimento
+24V, 0,5A Uscita digitale 2 D2_OUT	Spia di segnale rossa, stato di errore.	On	Almeno un sensore o un supporto dati collegato presenta un allarme
+24V, 0,5A Uscita digitale 3 D3_OUT	Spia di segnale blu, Pairing.	On	Collegamento completato correttamente, monitoraggio utensile attivo.
		Lampeggiante (1)	Il gateway crea un collegamento con il supporto dati e scansiona tutti i componenti ad esso collegati
		Lampeggiante (2)	In caso di D0_OUT lampeggiante: Durante il monitoraggio utensile attivo, almeno un sensore monitorato non ha ricevuto alcuna informazione per un intervallo di tempo superiore a 120 secondi

**Tabella 6:** Informazioni di stato su uscite relè

Spina M12 8 poli, codifica A	Uscite digitali contatti a relè	Funzione
REL_RUN_IN	Relè in scambio 1	Alimentazione +24V contatto di commutazione relè 1
REL_RUN_OUT	Contatto NA relè 1	Chiuso: Gateway WPM operativo, un utensile è collegato. Aperto: Gateway WPM non operativo oppure nessun utensile accoppiato
REL_WARN_IN	Relè in scambio 2	Alimentazione +24 interruttore relè 2
NREL_WARN_OUT	Contatto NC relè 2	Chiuso: Nessun avvertimento sistema WPM riconosciuto
REL_WARN_OUT	Contatto NA relè 3	Chiuso: Avvertimento sistema WPM riconosciuto
REL_ERR_IN	Relè in scambio 3	Alimentazione +24 interruttore relè 3
NREL_ERR_OUT	Contatto NC relè 3	Chiuso: Nessun allarme sistema WPM riconosciuto
REL_ERR_OUT	Contatto NA relè 4	Chiuso: Allarme sistema WPM riconosciuto

- pairing con supporto dati: in questa modalità di funzionamento il gateway monitora i sensori di pressione assegnati al supporto dati e se almeno un sensore collegato emette un avvertimento, l'uscita D1\_OUT viene impostata e contemporaneamente l'uscita REL\_WARN\_OUT viene chiusa; se emette un allarme, l'uscita D2\_OUT viene impostata e contemporaneamente l'uscita REL\_ERR\_OUT viene chiusa; se durante il monitoraggio non viene ricevuto ciclicamente un segnale da un sensore entro 120 secondi, il pairing viene soppresso, il LED gateway si accende di rosso in modo statico, D3\_out viene impostata su 0 e l'uscita relè REL\_ERR\_OUT viene chiusa;
- la modalità bus di campo per la piena integrazione nel sistema di controllo dell'impianto. I dispositivi di controllo, nel nostro caso un PLC, sono dispositivi potenti e cablati e, il gateway è in questo caso implementato anche come convertitore di protocollo, utilizzando un protocollo fieldbus cablati per facilitare la comunicazione [12]. Due sono le opzioni disponibili per l'integrazione nel sistema di controllo

della pressa, il funzionamento con bus di campo EtherCAT e con bus di campo Profinet come illustrato in *Figura 5.8*;



*Figura 5.8: Integrazione nel sistema di controllo della pressa*

- comunicazione con il *systema Cloud del cliente* tramite interfacce MQTT e OPC-UA, ancora da implementare. In questo modo i dati che il sistema misura possano essere integrati in sistemi di livello superiore e in server di posta (si può aggiungere un server mailing affinché il gateway possa inviare e-mail in condizioni sfavorevoli).

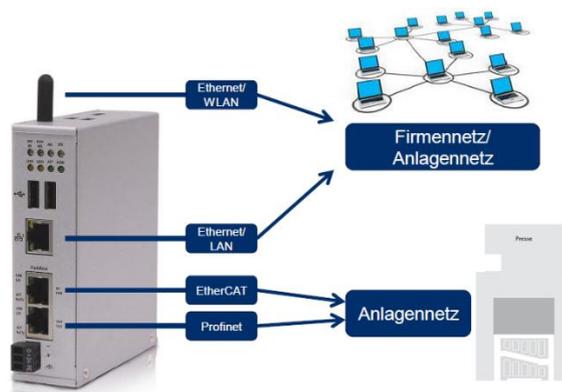
Come ogni gateway IoT questo componente non solo è in grado di fornire un ponte tra diversi tipi di tecnologie di comunicazione, ma è in grado di effettuare anche una prima analisi dei dati tramite l'impiego di algoritmi. Presenta un database per l'archiviazione dei dati e comunica con il software per la configurazione del sistema e la visualizzazione dei valori misurati. I dati archiviati possono essere scaricati dal software di raccolta dati come file .csv; un esempio di quest'ultimo è riportato in *Figura 5.9*.

	A	B	C
1	SERIES	TIME	VALUE
2	Temperature Warning	2020-11-12T18:39:18+01:00	50
3	Temperature Alarm	2020-11-12T18:39:18+01:00	80
4	Pressure Warning	2020-11-12T18:39:18+01:00	150
5	Pressure Alarm	2020-11-12T18:39:18+01:00	25
6	Pressure	2020-11-12T18:35:00+01:00	1.908.841.825
7	Pressure	2020-11-12T18:40:00+01:00	1.908.616.560.000.000
8	Pressure	2020-11-12T18:45:00+01:00	19.081.448.100.000.000
9	Pressure	2020-11-12T18:50:00+01:00	19.076.420.600.000.000
10	Pressure	2020-11-12T18:55:00+01:00	19.071.075.099.999.900
11	Pressure	2020-11-12T19:00:00+01:00	190.654.164
12	Pressure	2020-11-12T19:05:00+01:00	190.594.364
13	Pressure	2020-11-12T19:10:00+01:00	19.053.144.399.999.900
14	Pressure	2020-11-12T19:15:00+01:00	19.046.537.599.999.900

*Figura 5.9: Esempio di file .csv scaricato dal Software*

Il Gateway può prevedere condizioni sfavorevoli utilizzando un algoritmo di previsione ed è in grado di generare un database storico relativo alle prestazioni ed al comportamento dello stampo che, è possibile sfruttare per aumentare il grado di precisione delle previsioni future; queste previsioni possono anche essere inviate via e-mail a specifiche persone.

Tutto ciò si realizza grazie alla possibilità di collegare il gateway alla rete aziendale tramite protocollo di comunicazione Ethernet (*Figura 5.10*).



**Figura 5.10:** Collegamento del Gateway alla rete aziendale

I dati tecnici del Gateway sono riportati nella tabella seguente.

**Tabella 7:** Dati tecnici Gateway

Parametri	Valore
Soglia della temperatura di funzionamento	da 0 °C a 55 °C
Alloggiamento	plastica
Piastra base	alluminio
Trasmissione del segnale	Bluetooth 4.0 LE
Grado di protezione	IP65 avvitato
Alimentazione di tensione	+ 24 V CC ± 20 %

*Interfaccia utente e App per Android e IOS:*

Il sistema WPM presenta un'interfaccia utente (*User Interface UI*) cui si può accedere tramite web browser. Tramite l'interfaccia utente si può eseguire in primo luogo la predisposizione dello strumento con la configurazione del supporto dati e dei sensori (l'intera configurazione dello strumento con l'elenco dei sensori viene salvata nel supporto dati) e, successivamente, supporta la manutenzione dello stampo e il suo monitoraggio attraverso la visualizzazione dei dati e dei valori misurati di tutti i sensori.

L'utilizzo dell'UI richiede che il gateway sia integrato nella rete aziendale. Ciò si realizza, una volta stabilita la connessione del gateway alla rete tramite protocollo di comunicazione Ethernet, inserendo l'indirizzo IP del gateway tramite l'interfaccia web. La procedura da eseguire dopo aver ricevuto il gateway è rappresentata graficamente in *Figura 5.11*.



**Figura 5.11:** Procedura dopo aver ricevuto il Gateway IoT

Lo stato (pressione e temperatura) dei componenti del sistema può essere visionato anche tramite App; quest'ultima può essere utilizzata esclusivamente come strumento di visualizzazione e quindi di verifica, sia quando lo stampo è in produzione sia quando è fuori pressa. Ciò abilita anche il riconoscimento dello stampo a magazzino mediante l'utilizzo di un device mobile, tablet o smartphone, sul quale è scaricata l'App e attivata la licenza. In fase di configurazione del sistema, infatti, a ciascun supporto dati viene assegnata una designazione per un massimo di 15 caratteri e questa può essere scelta in modo che sia indicativa della

tipologia di stampo (quale operazione esegue) e di matricola (quale componente realizza), garantendo un'individuazione rapida dello stampo stesso.

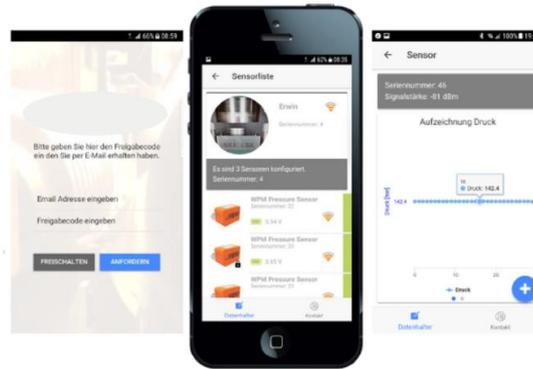


Figura 5.12: App per Android e IOS

## 5.2.2 Bluetooth LE 4.0

Il sistema WPM utilizza per la comunicazione lo standard Bluetooth Low Energy (BLE), una tecnologia emergente, appartenente alla famiglia dei protocolli di comunicazione Wireless, sviluppata nel 2010 da Bluetooth Special Interest Group (SIG) per comunicazioni a corto raggio. In contrasto con le versioni Bluetooth precedenti, BLE è stata progettata come soluzione a basso consumo energetico e ad un costo notevolmente ridotto per applicazioni di controllo e monitoraggio. [18]

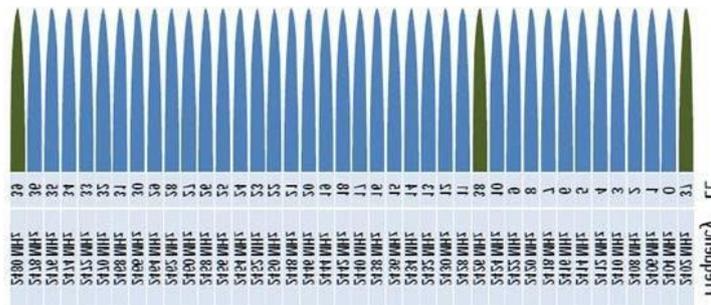


Figura 5.13: Banda di frequenze

Questo standard tecnico-industriale di trasmissione dati presenta le seguenti caratteristiche:

- opera nella banda ISM (Industrial Scientific Medical) a 2,4 GHz come il Bluetooth classico;
- ha 40 canali in radiofrequenza (RF) con spaziatura tra i canali di 2 MHz. Esistono due tipi di canali RF BLE: advertising channels e data channels. Gli advertising channels vengono utilizzati per la scoperta dei dispositivi, la creazione della connessione e la trasmissione broadcast, mentre i canali dati vengono utilizzati per la comunicazione bidirezionale tra i dispositivi collegati;
- la potenza di trasmissione massima è di 10 mW. [19]

BLE è adatto per applicazioni che non richiedono lo scambio di grandi quantità di dati; di conseguenza, il dispositivo può funzionare con una piccola batteria per diversi anni a un costo inferiore rispetto al Bluetooth, poiché non richiede una connessione continua.

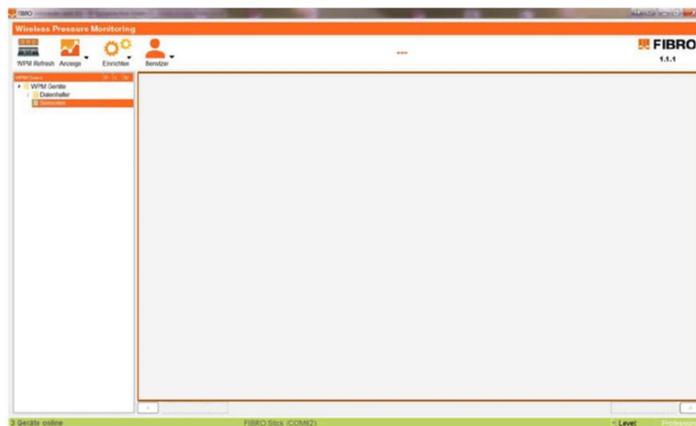
Dai diversi studi condotti per verificarne le capacità è scaturito che il protocollo offre, rispetto ad altri protocolli wireless a basso consumo ampiamente utilizzati, prestazioni superiori, un consumo energetico significativamente inferiore e compatibilità con un ampio spettro di dispositivi mobili. [20]

Ha il potenziale per una vasta gamma di applicazioni (ad esempio: sanità, elettronica di consumo, smart energy, sicurezza etc.) ed è adatto anche per ambienti industriali, che sono difficili a causa delle interferenze radio dai macchinari [18], in particolare nell'ambito delle reti di sensori wireless industriali (IWSN) e IoT industriale (IIoT).

### 5.2.3 Configurazione del sistema

Affinché il sistema funzioni in modo corretto è necessario configurare il sistema, associando ai sensori di uno stampo il relativo supporto dati.

Il supporto dati viene associato ad uno stampo e configurato insieme ai sensori di pressione mediante il software per cui, una volta ricevuta la componentistica dai fornitori, è necessario procedere con l'installazione del software.



**Figura 5.14:** Schermata di avvio del Software di configurazione

Il Software avviato rileva la presenza dei dispositivi presenti e una struttura ad albero, la struttura ad albero delle risorse, viene impostata nell'area sinistra della finestra; la voce di menu Start cambia in Refresh, con cui è possibile aggiornare la struttura delle risorse.



**Figura 5.15:** Albero delle risorse

La struttura ad albero mostra il supporto dati, i sensori e la loro assegnazione. In particolare nella cartella "Possessore Dati" vediamo il supporto dati configurato e al di sotto di esso vengono visualizzati i sensori associati; nella Cartella "Sensori" sono visualizzati i sensori non ancora assegnati. L'assegnazione di un sensore ad un supporto dati viene eseguita mediante *drag and drop*, selezionando il sensore desiderato con il tasto sinistro del mouse e trascinandolo sul supporto dati desiderato nella Cartella "Possessore di Dati".

Durante la configurazione, a ogni sensore viene assegnato un nome, una posizione nell'utensile, i valori soglia (in termini di pressione e temperatura) e l'utensile cui appartiene.

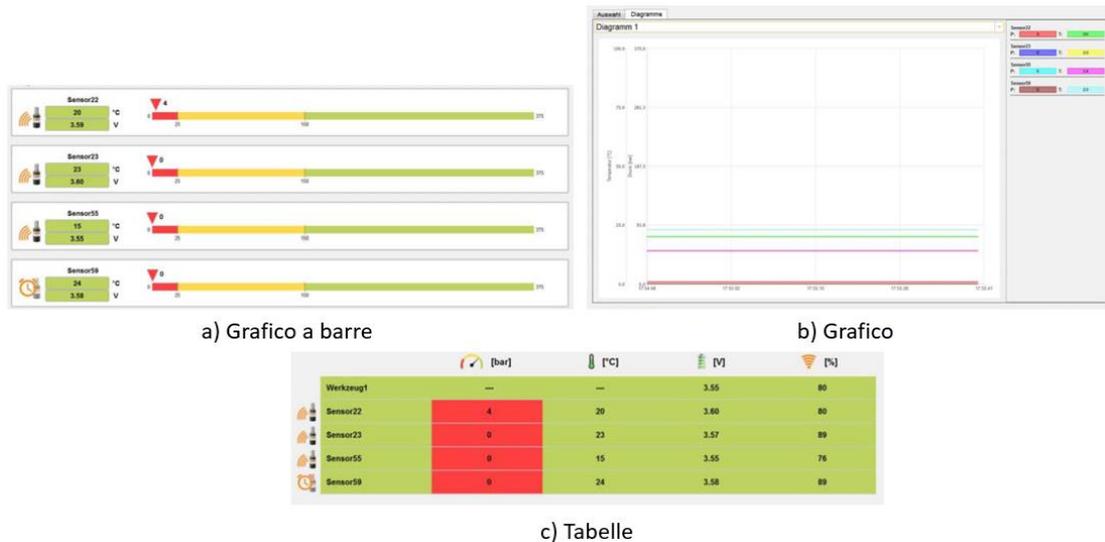
Il sistema presenta due possibili livelli di autorizzazione:

- Base, l'utente dispone dei soli diritti per visualizzare i dati;

- Professionale, l'utente ha tutte le autorizzazioni per visualizzare, creare e modificare i dati di strumenti e sensori.

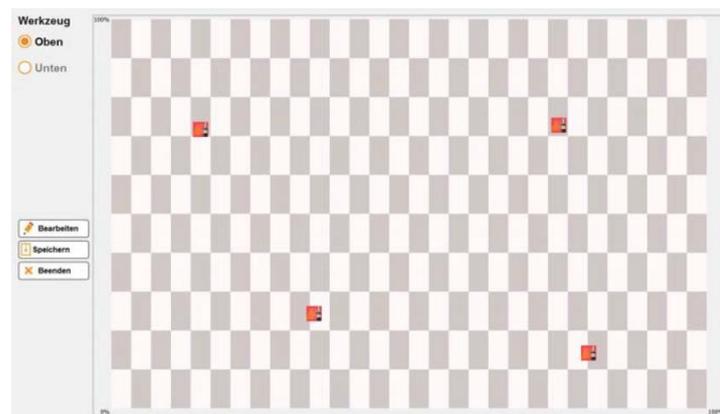
Selezionando la voce del Menu "Visualizza" è possibile controllare la parametrizzazione del supporto dati e del sensore e, i dati dello stampo in termini di temperatura e pressione dell'azoto all'interno dei cilindri, di livello della batteria e percentuale di trasmissione dei dati Bluetooth del sensore. I dati sono visualizzabili in forma di grafico a barre, in forma grafica e in forma tabellare (Figura 5.16): il colore verde è indicativo di uno stato di funzionamento corretto; il giallo di uno stato di avvertimento e il rosso di uno stato di errore.

I dati visualizzati dei sensori attivati sono dati in tempo reale.



**Figura 5.16:** Rappresentazione dei dati del sensore in forma: a) di grafico a barre; b) grafica; c) tabellare

È inoltre fornita una panoramica della posizione dei sensori all'interno dello stampo con annessa informazione su se si tratti di sensori appartenenti al semistampo superiore o al semistampo inferiore. In questo modo, qualora si ricevesse un segnale, di avvertimento o di allarme, da parte di uno dei sensori si individua in modo celere il cilindro su cui intervenire.

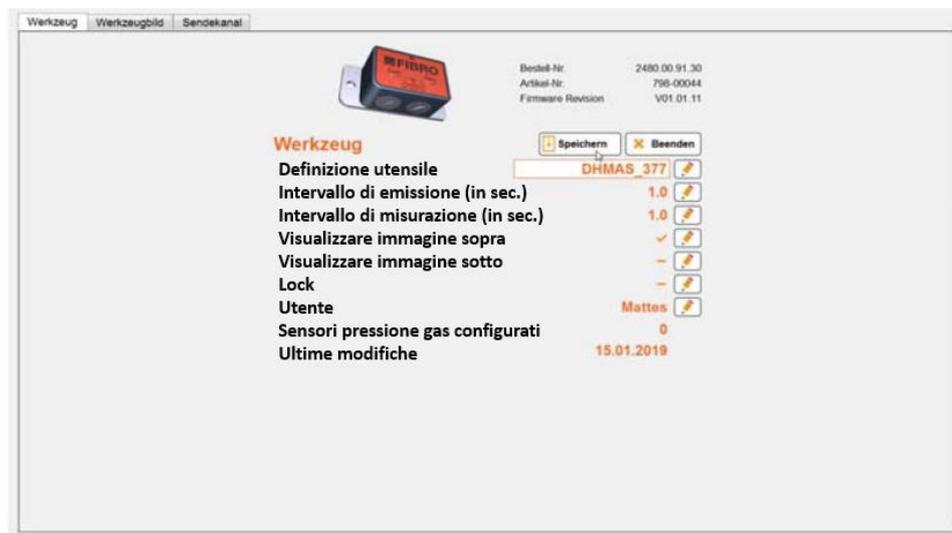


**Figura 5.17:** Panoramica della posizione dei sensori all'interno dello stampo

Le modifiche ai parametri dei componenti sono possibili solo con il livello di autorizzazione professionale. Selezionando la voce del menu Allestimento -> Strumenti -> Modifica, le proprietà del supporto dati vengono visualizzate in forma modificabile (Figura 5.18).

I parametri modificabili del supporto dati sono:

- Designazione utensile;
- Intervallo di emissione (in sec.), impostazione del tempo ciclico in cui il supporto dati invia i dati tramite Bluetooth;
- Intervallo di misurazione (in sec.), impostazione del tempo ciclico in cui il supporto dati registra internamente i dati di misurazione;
- Numero di sensori di pressione configurati;
- Mostra immagine sopra: consente di impostare se visualizzare un'immagine dello strumento superiore.
- Mostra immagine sotto: consente di impostare se visualizzare un'immagine dello strumento inferiore.
- Data delle ultime modifiche apportate;
- Nome dell'ultimo utente ad aver apportato modifiche;
- Immagine per mappatura della sensoristica;
- Numero di canali di comunicazione Bluetooth attivi.

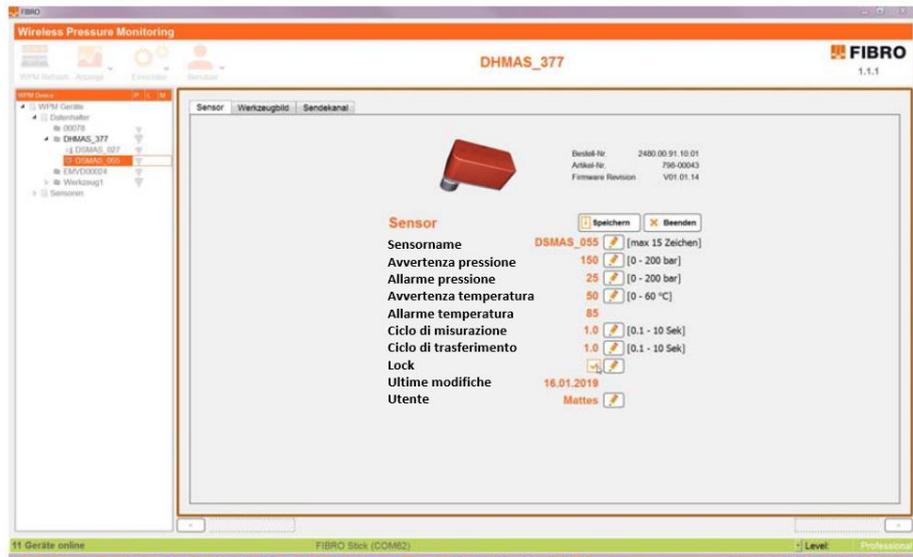


**Figura 5.18:** Parametri modificabili del supporto dati

Selezionando la voce del Menù Allestimento-> Sensore-> Modifica anche le proprietà del sensore vengono visualizzate in una forma modificabile (Figura 5.19).

I parametri modificabili del sensore sono:

- Nome del sensore;
- Valore di pressione (in bar) e di temperatura (in °C) dell'azoto all'interno del cilindro al di sotto del quale il sistema segnala uno stato di avvertimento;
- Valore di pressione (in bar) e di temperatura (in °C) dell'azoto all'interno del cilindro al di sotto del quale il sistema segnala uno stato di errore;
- Ciclo di misurazione (in sec.);
- Ciclo di trasferimento (in sec.);
- Data delle ultime modifiche apportate;
- Nome dell'ultimo utente ad aver apportato modifiche;
- Posizione del sensore all'interno dello stampo;
- Numero di canali di comunicazione Bluetooth attivi.



**Figura 5.19:** Parametri modificabili del sensore

### 5.3 Sviluppo del Progetto

Il progetto è stato sviluppato, in accordo con la Metodologia World Class Technology, seguendo la logica dei 7 Steps del pilastro Innovation.

Il primo passo ha visto l'analisi dello Stato dell'Arte al fine di individuarne i problemi e identificare possibili soluzioni attraverso la raccolta di idee, attività di benchmarking e/o la valutazione delle proposte dei principali fornitori. I principali problemi individuati in questa fase sono:

- la mancanza di un sistema che consenta il monitoraggio di ciò che accade nello stampo durante il processo di produzione;
- la gestione cartacea della manutenzione;
- la mancanza di un sistema per il riconoscimento rapido dello stampo a magazzino.

I primi due punti sono già stati analizzati nell'ambito di questo elaborato; per il terzo, allo stato attuale, ciascuno stampo, quando non è in produzione, è posizionato in determinati punti all'interno dello stabilimento produttivo delimitati mediante strisce e contrassegnati da un numero. Il numero associato a ciascuno stampo è registrato all'interno di un database in modo che, quando lo stampo deve essere posto sotto pressa o deve essere sottoposto ad un intervento manutentivo, l'addetto al carico e allo scarico dello stampo sa già dove quest'ultimo è collocato. Tale procedura non prevede alcun sistema di feedback sull'effettivo caricamento dello stampo corretto.

Abbiamo notato che erano già state segnalate all'interno del Suggestion System delle idee che richiamavano queste tre problematiche. In *Figura 5.20* è riportata la *suggestion* che può essere considerata il punto di partenza di questo progetto, ovvero la proposta di un sistema di controllo wireless dei cilindri ad azoto.

Title	Description	Model
WIFI CONTROL FOR SELF CONTAINED NITROGEN CYLINDER (Ex.Kaizen - SK/00890/2017)	REAL TIME CHECK STATUS OF COMPONENT	

**Figura 5.20:** Attività proposta di partenza

La proposta aveva già trovato spazio nel Data Base di attività per l’Innovazione (*Step 2*) dove è stata classificata come innovazione di tipo Incremental, ovvero un’innovazione proveniente dall’esterno e applicata con modifiche marginali dovute all’adattamento, con tempi lunghi di analisi e Step 5 breve. All’interno del Data Base l’attività era stata filtrata attraverso l’applicazione della Prioritization Matrix e ciascun criterio di valutazione quantificato e pesato al fine di ottenere una precisa valutazione numerica della priorità assegnata all’attività proposta. Il punteggio totale determinato, pari a 3.25, è valutato positivamente.

Project Name	Short Description	LEGAL REQUIREMENT	Return of Investment	Fields of potential impact (safety, quality, energy, timing, manpower)	Strategic for Company	Type of I&D	TRL	Continuation of previous year	Tot Score
NX press Line Global Library	creation of library with all FCA press line lay out	NO	1	4	5	1	4	1	2,9
Wi-fi control for nitrogen cylinder	use wi-fi control for monitoring status of nitrogen cylinder	NO	3	3	5	1	4	1	3,25

**Figura 5.21: Prioritization Matrix**

In questo caso, come già anticipato, l’idea nasce da un progetto passato, come avviene per molte attività di innovazione.

Due sono stati i principali fornitori di cilindri ad azoto consultati; gli incontri con i fornitori e le analisi delle proposte hanno portato poi alla scelta del Sistema di cui sopra poiché già sviluppato dalla casa produttrice. Il Sistema scelto è stato studiato, sono state valutate le possibili applicazioni (illustrate nel paragrafo successivo) e, ne è stata verificata l’attuabilità coinvolgendo l’IT di stabilimento, in particolare in termini di fattibilità di interfaccia del Gateway con la pressa FCA.

Fatto ciò, è stata formalizzata la proposta inserendola all’interno del Suggestion System. Sempre in questa fase di lavoro, abbiamo iniziato a compilare la scheda descrittiva *One Page* poi continuamente aggiornata fino allo Step 7, quale strumento di monitoraggio costante del progetto e, la proposta è stata collocata nelle roadmaps strategiche dell’organizzazione valutando potenziali sinergie tra le attività di innovazione proposte e gli altri pilastri del WCT. L’attività si inserisce nella Roadmap già esistente di Industria 4.0 e copre una finestra temporale di 18 mesi.

In *Figura 5.22* è riportata la versione definitiva della *One Page*, dalla quale sono stati rimossi i dati sensibili.

**DESCRIPTION**

Application of the Wireless Pressure Monitoring System for Wireless Monitoring of temperature and pressure in gas springs via Bluetooth LE 4.0.

**KEY BENEFITS**

- Optimize the quality of stamped parts
- Optimize die maintenance
- Recognition and check with out-of-press die

**COMPETITIVE REFERENCE**

N/A

**TARGET APPLICATION**

- Further new model on existing stamping line
- 2022

**MILESTONES/DELIVERABLES**

**Phase 1:**

- Benchmark on application/technologies existing on the market
- Case study selection
- Meeting with the supplier for a feasibility study

**Phase 2:**

- Testing the application
- Analysis of the results

**Phase 3:**

- Implementation strategy
- Business case

**COST ESTIMATION**

To be evaluated with the definition of an application strategy

**IP STATUS**

ND

**OPEN POINTS**

- Interface with the company network
- Database development

**TIMING**

	2020	2021
PHASE 1		
PHASE 2		
PHASE 3		

**SPENDING – k\$**

	2020	2021
Internal		
External	5	5
TOTAL		

**SPENDING%**

0 50 100

**SUPPLIERS**

//

**TEAM**

OWNER: EMEA Stamping  
STP Technologies  
Plant

**Figura 5.22: One Page del progetto**

Il Sistema scelto e le sue possibili applicazioni sono stati poi esposti alla Direzione (*Step 3*) per la richiesta di finanziamento. In tale occasione sono stati inoltre scelti i referenti per ogni area, definita l'allocazione del budget per il Kit e richiesto di impostare un'analisi costi-benefici. La proposta è stata approvata ed è diventata un **progetto di Innovazione**.

L'avvio del progetto ha richiesto la definizione di un team di lavoro (*Step 4*) che ha coinvolto l'Area Tecnologie, l'Area Qualità e l'Area Costruzione Stampi. Al fine di racchiudere tutte le competenze necessarie per portare a termine tale attività è stato necessario il supporto dei tecnici della casa produttrice (necessità di know-how esterno). A questo punto, è stato possibile entrare nella fase operativa del progetto, lo *Step 5*.

A monte dello *Step 5*, per ciascun progetto, occorre definire gli indicatori di performance (*KPI*) e i relativi target richiesti; il confronto quantitativo e/o qualitativo tra i valori raggiunti e quelli richiesti sarà svolto allo *Step 5.6* per appurare il buon esito dell'attività di innovazione. I *KPI* di progetto e i valori obiettivo ad essi associati sono riportati in *Figura 5.23*.

Project KPI	Target
Vita Cilindri	> 20%
Fermi macchina inattesi/accidentali	0

**Figura 5.23:** Indicatori di performance di progetto

È noto che, per sviluppare la soluzione migliore, bisogna comprendere quale sia veramente il problema (*Step 5.1*) che si sta tentando di risolvere per cui prima di intraprendere la fase operativa è stato applicato il Problem Statement Tool in modo da definire correttamente il problema. L'applicazione di questo strumento è mostrata in *Figura 5.24*.

Prima definizione del problema	Esprimi il problema con parole diverse	Dividi il problema	Inverti il problema	Ridefinizione del problema
Ottimizzazione dell'uso dello stampo, della manutenzione e della qualità dell'elemento	Occorre modificare le modalità di manutenzione stampi per renderla il più possibile preventiva e predittiva. Risulta alto il numero dei componenti stampati scartati o che necessitano di rilavorazione	Un monitoraggio accurato del processo e l'interazione dello stampo col processo è necessario per evitare Die Failures e Scraps. Per ridurre le perdite di Line Breakdowns occorre intervenire sulla manutenzione. Altra necessità è quella di migliorare la qualità del componente stampato.	Ci sono problemi qualitativi sui pezzi stampati che potrebbero derivare dal processo, dalle tecnologie adoperate e da altre condizioni al contorno; ci sono problemi sullo stampo che derivano da una non ottimale manutenzione e messa a punto	Occorre ottimizzare l'uso dello stampo con un monitoraggio accurato del processo, stabilendo un'interazione dello stampo stesso con esso per ridurre le perdite e migliorare la qualità del pezzo stampato. Occorre intervenire sulla manutenzione, rendendola il più possibile predittiva, nonché sulla ottimizzazione della fase di Try Out.

**Figura 5.24:** Applicazione del Problem Statemen Tool

Fatto ciò è stato possibile raccogliere e identificare idee creative sulle opportunità attuabili (fase di Idea Creation, *Step 5.2*) e definire gli strumenti metodologici utilizzabili attraverso l'applicazione dello strumento Brainwriting, seguito poi dall'applicazione degli strumenti Affinity Diagram e One Box per prioritizzare tali idee (*Step 5.3*), analizzandone i benefici. In particolare quest'ultimo strumento ha visto la definizione di due differenti tipologie di valore, numero di colpi e tempi di manutenzione, cui corrispondono due differenti tipologie di risorse, rispettivamente rischio di fermi macchina accidentali e costi di manutenzione. La messa in opera di questi strumenti è mostrata, fase per fase, nelle figure seguenti.

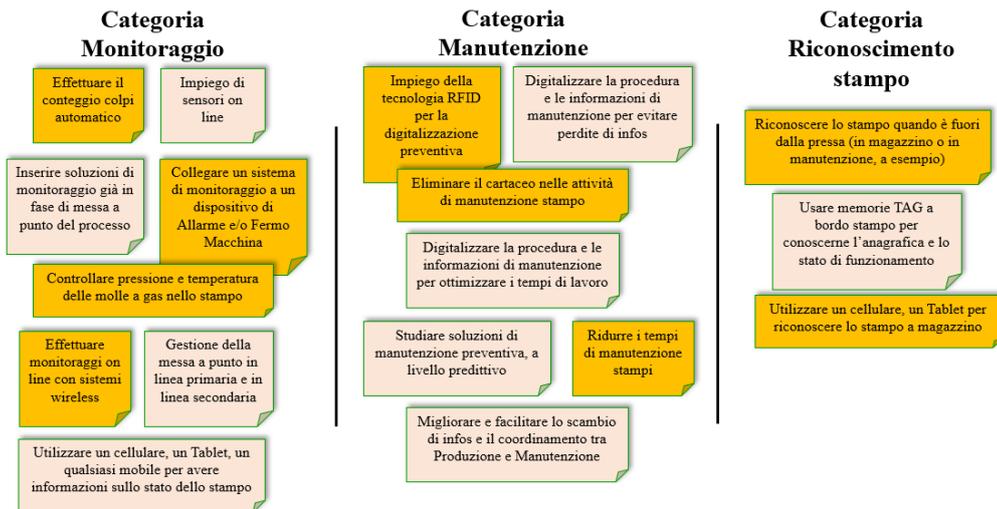


Figura 5.25: Applicazione dell'Affinity Diagram tool

Valore: Numero di colpi

Risorsa: Rischio fermi macchina accidentali

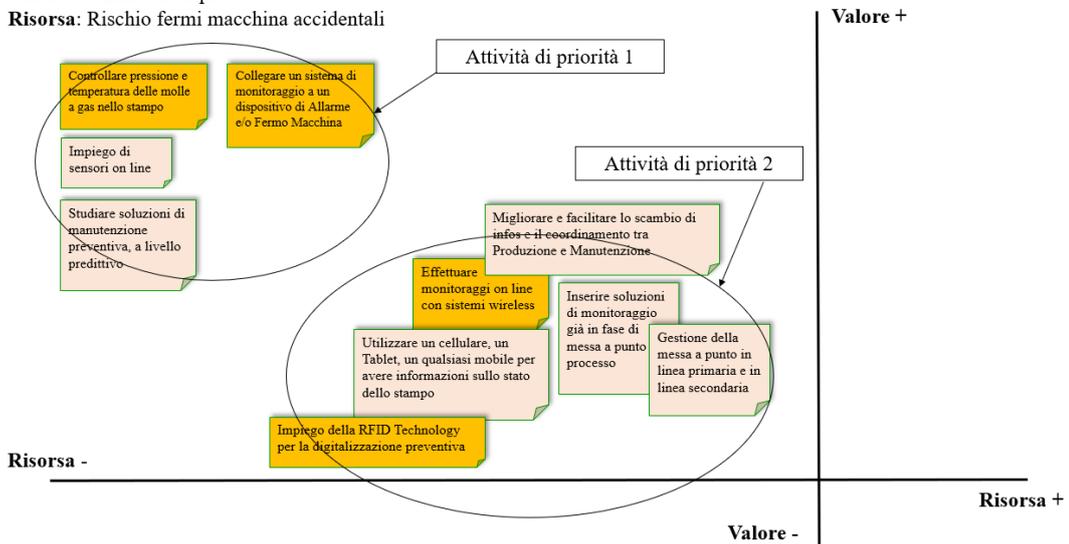


Figura 5.26: Applicazione del One Box Tool - prima parte

Valore: Tempi di manutenzione

Risorsa: Costi di manutenzione

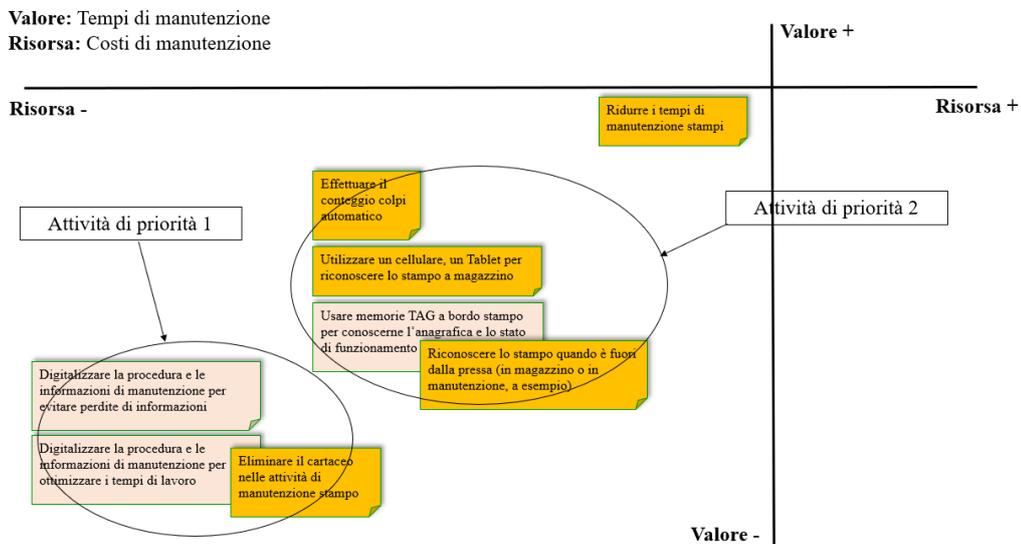


Figura 5.27: Applicazione del One Box Tool - seconda parte

A valle di questo processo sono risultate prioritarie le attività di:

- Controllo di pressione e temperatura delle molle a gas nello stampo;
- Studio di soluzioni di manutenzione preventiva, a livello predittivo;
- Digitalizzazione della procedura e delle informazioni di manutenzione per evitare perdite di informazioni e ottimizzare i tempi di lavoro.

Queste attività incrementano infatti il numero di colpi effettuati dai cilindri prima di essere sottoposti ad un intervento manutentivo, riducono il rischio di fermi macchina accidentali e allo stesso tempo portano ad una riduzione dei tempi e dei costi di manutenzione. Il risultato ottenuto è in linea con quanto pianificato.

Successivamente, in collaborazione con il Project Manager, è stato sviluppato un piano di lavoro (*Step 5.4*) in termini di tempi e di costi, pianificazione che ha richiesto l'approvazione dello stabilimento produttivo e dei fornitori (un esempio di pianificazione è riportato in Figura 5.29). Effettuata tale operazione, è stato possibile entrare nel vivo del progetto: la fase di esecuzione di test e validazioni (*Step 5.5*).

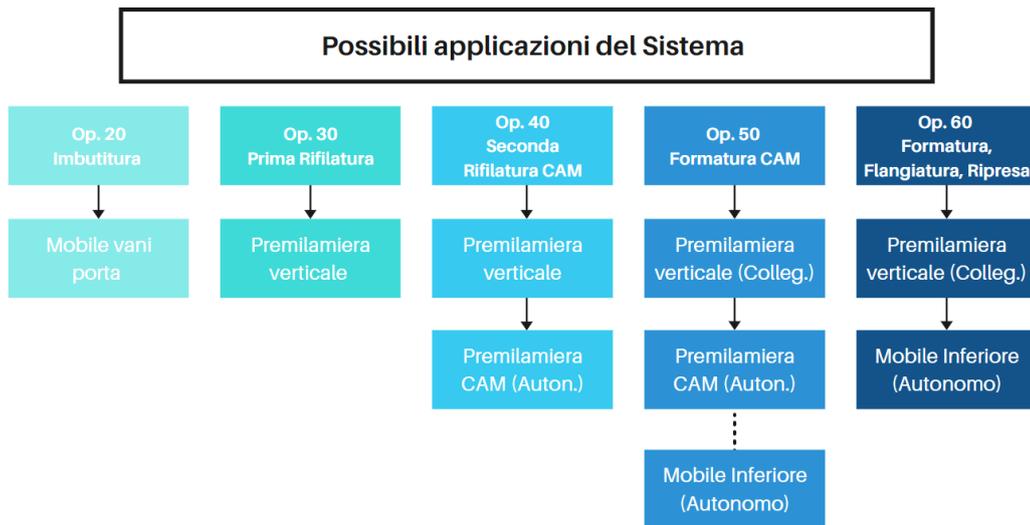


**Figura 5.28:** Esempio di pianificazione test

### 5.3.1 Definizione dell'applicazione

La fase di pianificazione prima e l'esecuzione del test dopo, richiedono una preliminare definizione dello stampo su cui provare questo tipo di sistema. In un primo momento sono state valutate le possibili applicazioni del Sistema per ciascuna operazione del Ciclo di Stampaggio. Ne consegue, come riportato in *Figura 5.30*:

- Operazione di Imbutitura: applicazione del sistema per il controllo dei cilindri ad azoto del mobile vani porta;
- Operazione di prima Rifilatura: applicazione del sistema per il controllo dei cilindri ad azoto del premilamiera verticale;
- Operazione di seconda Rifilatura: applicazione del sistema per il controllo dei cilindri ad azoto del premilamiera verticale e dei cilindri ad azoto autonomi del premilamiera del sistema CAM;
- Operazione di Formatura: applicazione del sistema per il controllo dei cilindri ad azoto collegati del premilamiera verticale, dei cilindri ad azoto autonomi del premilamiera del sistema CAM e del Mobile Inferiore;
- Operazione di Assestamento: applicazione del sistema per il controllo dei cilindri ad azoto collegati del premilamiera verticale e dei cilindri ad azoto autonomi del Mobile Inferiore.

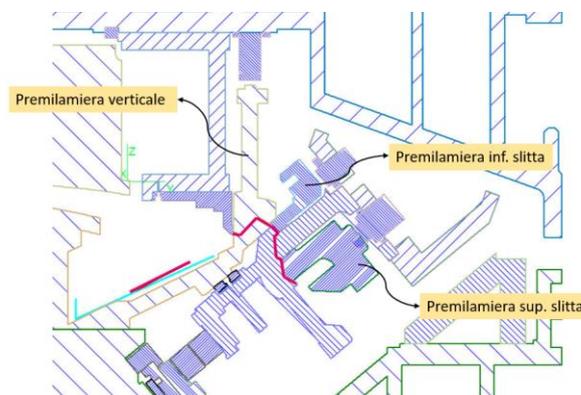


**Figura 5.29:** Possibili applicazioni del Sistema WPM per ciascuna operazione del Ciclo di Stampaggio

Le operazioni di formatura (Op.20, Op.50 e Op.60) sono state considerate prioritarie ed in particolare si prediligono le matricole i cui stampi presentano diverse parti mobili azionate dai cilindri ad azoto (ad esempio: stampi per Fiancate, Parafanghi, Padiglioni etc.) per cui, gli stampi considerati in fase di definizione dell'applicazione, presentano tutti più funzioni da gestire, presenza di più CAM che lavorano in simultaneo (ad esempio: simultaneità del lavoro di due premilamiera, uno verticale e uno a camme con possibilità di registrare le pressioni in funzione degli sforzi necessari in simulazione).

È stato proposto di testare l'applicazione in primo luogo (*Fase 1*) in ambiente di produzione nello stabilimento di Mirafiori, in modo da valutare il funzionamento del sistema durante le normali condizioni di lavoro e, successivamente (*Fase 2*), in costruzione stampi in modo da sperimentare l'utilizzo del sistema anche in fase di Try-Out. Si vuole infatti utilizzare questo strumento durante la Messa a Punto dello stampo per raggiungere più velocemente le condizioni ottimali di produzione.

Per l'applicazione in ambiente di costruzione la scelta è ricaduta su di uno stampo per l'esecuzione di un'operazione di Flangiatura di una fiancata. La fiancata è infatti una delle matricole più complesse dal punto di vista del controllo dell'impianto ad azoto poiché presenta in genere stampi di formatura con differenti parti mobili controllate da gruppi distinti di cilindri ad azoto collegati. Ad esempio se consideriamo la sezione in *Figura 5.31* dello stampo scelto, in cui in rosso è riportato il foglio in lamiera, osserviamo la presenza di tre parti mobili, premilamiera verticale, premilamiera superiore e premilamiera inferiore della slitta, controllati da tre gruppi di cilindri ad azoto collegati.



**Figura 5.30:** Sezione dello stampo scelto per l'applicazione del test in ambiente di costruzione

Per l'applicazione in ambiente di produzione sono state identificate tre possibili soluzioni:

- stampo per l'esecuzione di un'operazione di Flangiatura fiancata;
- stampo per l'esecuzione di un'operazione di Formatura padiglione;
- stampo per l'esecuzione di un'operazione di Assestamento ossatura cofano.

La scelta è stata poi effettuata grazie all'utilizzo di una **Matrice di Scelta**, considerando i cinque criteri che consentono di eseguire il test validando i diversi benefici potenziali del sistema, ovvero:

- tipologia impianti adeguata, ovvero impianti ad azoto con cilindri collegati, poiché su questi cilindri si può intervenire anche durante la fase di produzione dal momento in cui si determinano caratteristiche di qualità non conformi del particolare prodotto;
- disponibilità di una simulazione coerente con la realtà produttiva, ovvero esiste una simulazione aggiornata e corrispondente allo stato fisico dell'operazione specifica, in modo da poter effettuare un confronto tra dati di processo e dati di progetto;
- pressa con interfaccia adeguata al collegamento al Gateway IoT;
- numero di lotti previsti (maggiore è il numero di lotti, maggiore è la possibilità di analisi);
- disponibilità immediata dello stampo.

L'asterisco, all'interno della seconda colonna della matrice di scelta, sta ad indicare la presenza di un unico gruppo di cilindri ad azoto collegati.

La scelta è ricaduta pertanto sullo stampo per l'assestamento dell'ossatura cofano.

Applicazione	Tipologia impianti adeguata	Disponibilità simulazione	Interfaccia adeguata pressa	Disponibilità immediata	Numero lotti previsti
Flangiatura fiancata	✓*		✓		
Formatura padiglione	✓			✓	
Assestamento ossatura cofano	✓*		✓	✓	✓

**Figura 5.31: Matrice di scelta**

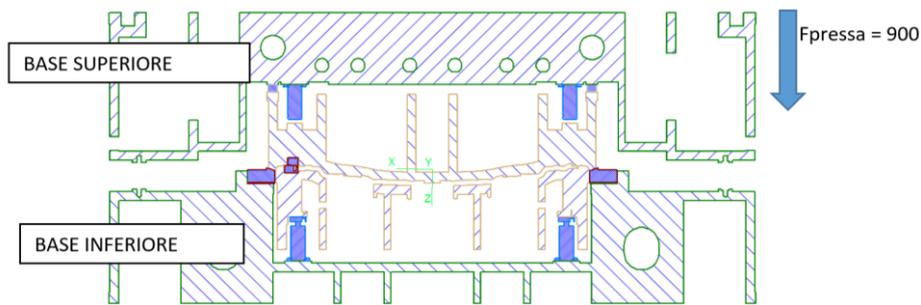
Infine, per ogni stampo scelto sono stati definiti i punti di verifica. In fase di produzione bisogna verificare che il sistema porti ad: un'ottimizzazione funzionale dello stampo – *verifica meccanica*; un miglioramento della qualità dell'elemento stampato – *verifica qualitativa*; una maggiore efficienza dell'impianto ad azoto – *verifica manutentiva*; un riconoscimento dello stampo e lettura dei dati quando in condizioni di stampo fuori pressa. Quest'ultimo punto è da esaminare anche in fase di costruzione stampi insieme ad una verifica manutentiva in modo da effettuare una diagnosi del circuito ad alta pressione e una verifica qualitativa/meccanica in fase di Try-Out attraverso un confronto tra dati reali e dati di simulazione.

### 5.3.2 Preparazione test in ambiente di produzione

La fase di preparazione del test ha visto:

- la stesura di una check-list, un elenco pre-pianificato delle verifiche da eseguire secondo una procedura definita, in modo da guidare le attività del test, capire se sono state eseguite completamente e quante non sono riuscite;
- la definizione del numero e della posizione dei sensori nello stampo;
- il montaggio dei sensori.

Queste ultime due attività hanno richiesto l'analisi nel dettaglio dell'impianto ad azoto dello stampo scelto per l'esecuzione del test in ambiente di produzione.

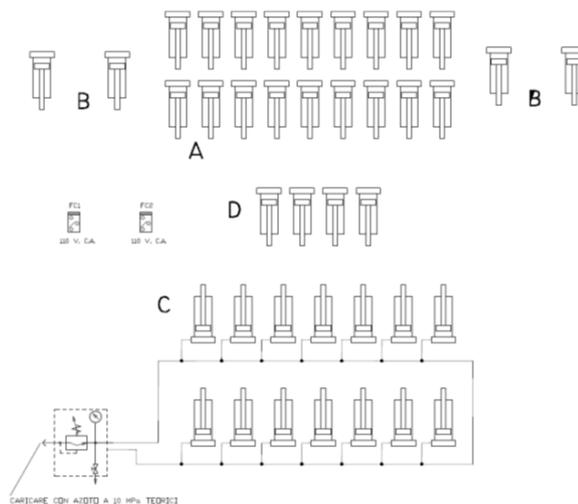


**Figura 5.32:** Vista in sezione dello stampo

Lo stampo scelto presenta un impianto ad azoto caratterizzato da 14 cilindri collegati nel mobile della Base Inferiore caricati ad una pressione di 10 MPa e, da 26 cilindri autonomi nel mobile della Base Superiore caricati ad una pressione di 15 MPa, di cui 18 montati sul premilamiera, 4 al di sotto dei coni di centraggio per bilanciare il premilamiera e altri 4 per il bilanciamento dello stampo a riposo.

Sia nel mobile inferiore che nel mobile superiore i cilindri ad azoto sono scelti, in numero e tipologia, compatibilmente alla geometria dell'elemento che richiede il lavoro e alla struttura (fusione) che li contiene.

Riportato in *Figura 5.34* troviamo lo schema pneumatico di principio e di montaggio dell'impianto ad azoto dove con la lettera A sono indicati i cilindri montati sul premilamiera superiore, con la lettera B i cilindri per il bilanciamento dello stampo, con la lettera C i cilindri montati nel mobile della Base Inferiore e con la lettera D i cilindri stampo a riposo. Questi ultimi non influenzano il comportamento dello stampo durante la produzione, servono solo a vincere le forze dovute al peso della base superiore quando lo stampo è chiuso fuori pressa, evitando in questo modo che le lame di base superiore e base inferiore vengano a contatto tra loro.



**Figura 5.33:** Schema pneumatico di principio e di montaggio dell'impianto ad azoto

Siccome lo studio di un sistema automatico sequenziale inizia dalla valutazione dei movimenti che devono essere eseguiti, questi schemi pneumatici sono sempre accompagnati da un diagramma movimento-fasi, un diagramma in cui in ordinata sono riportati i movimenti e le attuazioni mentre in ascissa viene indicato l'evolversi del ciclo in riferimento alle fasi.

Dal diagramma movimento-fasi del sistema in esame, riportato in *Figura 5.35*, si evince come i cilindri ad azoto si presentano in posizione retratta solo durante la fase di stampaggio. I Finecorsa FC1 e FC2, elettromeccanici, conferiscono il consenso a stampare, una volta verificato il corretto posizionamento del pezzo in seguito alla fase di caricamento e, il consenso ad estrarre una volta completata la fase di stampaggio. Bisogna infatti ricordare che per completare la singola operazione sono sempre necessarie tre fasi, riportate nel diagramma movimento fasi che sono: caricamento, stampaggio ed estrazione.

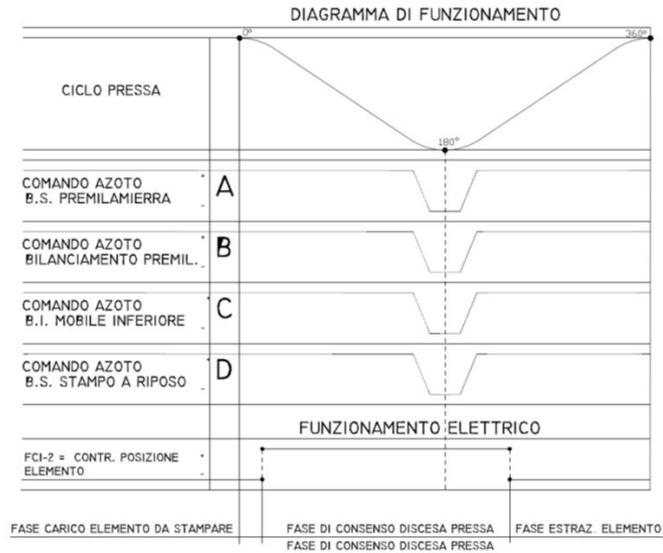


Figura 5.34: Diagramma movimento-fasi

Importante, nello studio dell'impianto ad azoto, è la valutazione delle curve, definite una volta scelto il numero e la tipologia dei cilindri tra la fase di Simulazione e la fase di Progettazione dello stampo, che riportano l'andamento della forza esercitata dai diversi gruppi di cilindri in funzione della corsa degli stessi. Con riferimento alla Figura 5.36, relativa allo stampo in esame, è possibile osservare tre diverse curve:

- la curva verde, relativa al gruppo di cilindri montati sul mobile della base inferiore;
- la curva rossa, relativa al gruppo di cilindri autonomi per il bilanciamento dello stampo;
- la curva nera, relativa al gruppo di cilindri autonomi montati sul premilamiera superiore.

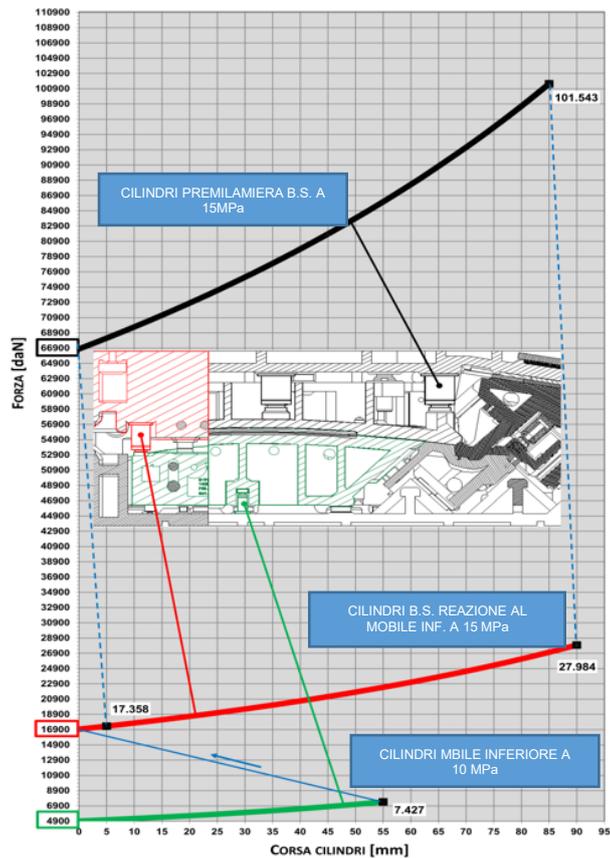


Figura 5.35: Funzionamento dell'impianto ad azoto nello stampo

Una volta caricato il pezzo e ricevuto il consenso a stampare, la Base Superiore dello stampo va verso il basso. Una volta avvenuto il contatto tra i cilindri colorati in rosso, che comprimono la zona esterna della figura per il bilanciamento dello stampo e, la Base Inferiore, ha inizio la compressione dei cilindri in verde e dei cilindri in rosso. La compressione dei cilindri colorati in nero ha inizio solo successivamente, in questo caso quando i cilindri in rosso hanno già compiuto una corsa di circa 5 mm. È importante osservare come i cilindri nel mobile inferiore presentino una corsa ridotta rispetto agli altri due; in questo modo una volta che i cilindri in verde sono arrivati a fondo corsa, gli altri due gruppi di cilindri continuano a comprimere. In questo modo si realizza la formatura del pezzo.

Come già anticipato il mobile inferiore non deve essere né troppo rigido né troppo cedevole, in genere la forza a fondo corsa dei cilindri in rosso deve essere circa 3 volte superiore alla forza dei cilindri colorati in verde.

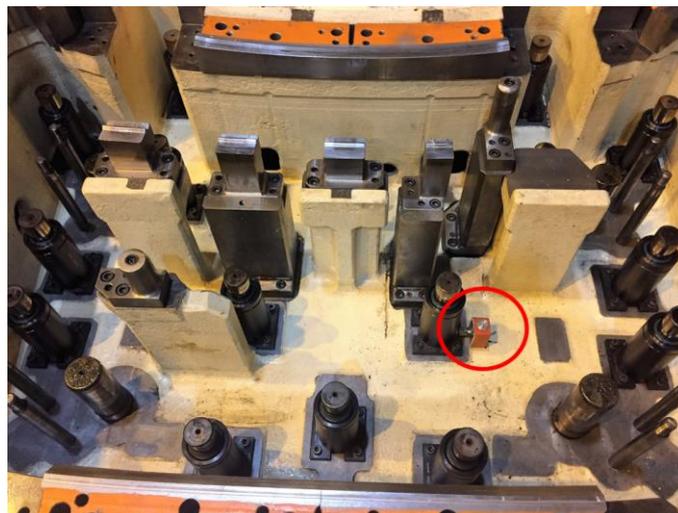
A questo punto, analizzata nel dettaglio la componentistica dell'impianto ad azoto dello stampo è stato possibile definire il numero e la posizione dei sensori da utilizzare per il test. Per verificare la trasmissione del segnale dentro le camere del premilamiera, la funzionalità del software e il test dei warnings è stato stabilito di applicare due sensori, di cui uno collegato al pannello di controllo della Base Inferiore e il secondo posto su di un cilindro ad azoto della Base Superiore. Come anticipato precedentemente in fase di scelta dello stampo, si predilige l'applicazione di questo sistema ai cilindri collegati; l'applicazione del sensore anche al cilindro autonomo ha come scopo principale quello di verificare la capacità di trasmissione del segnale attraverso la fusione, limite mostrato dal sistema durante le applicazioni passate.

Il primo passo, una volta ricevuti i componenti dal fornitore e verificata la conformità del materiale alla richiesta, è stato il montaggio dei diversi componenti sullo stampo e sulla pressa seguito dall'integrazione del gateway alla rete aziendale.

È stato poi necessario eseguire il pairing tra il gateway e il Supporto Dati per effettuare la connessione Bluetooth in modo da poter configurare il sistema tramite interfaccia utente. In tale sede sono state definite anche le soglie di avvertimento e di allarme sia per la pressione che per la temperatura, nonché la posizione dei sensori all'interno dello stampo e le designazioni di sensori e Supporto Dati.

In questa prima fase sono state verificate, come definito da check-list, l'idoneità dell'interfaccia per le installazioni future e la realizzazione del pairing tra supporto dati e gateway e tra supporto dati e sensori.

I sensori sono stati montati preventivamente approfittando di un momento di fermo produttivo dello stampo; la scelta della posizione del sensore collegato al cilindro autonomo non è casuale, si è dovuto infatti tener conto della presenza, nelle vicinanze del sensore, di opportuni fori per evitare possibili problemi di trasmissione del segnale. In Figura 5.37 è mostrato il posizionamento del sensore nella Base Superiore dello stampo.



**Figura 5.36:** Posizionamento del sensore nella Base Superiore dello stampo

### 5.3.3 Test del sistema

Una volta montati tutti i componenti e configurato il sistema è stato possibile procedere con la fase esecutiva del test (*Step 5.5*), svolto all'interno dello stabilimento produttivo per una durata complessiva di tre ore.

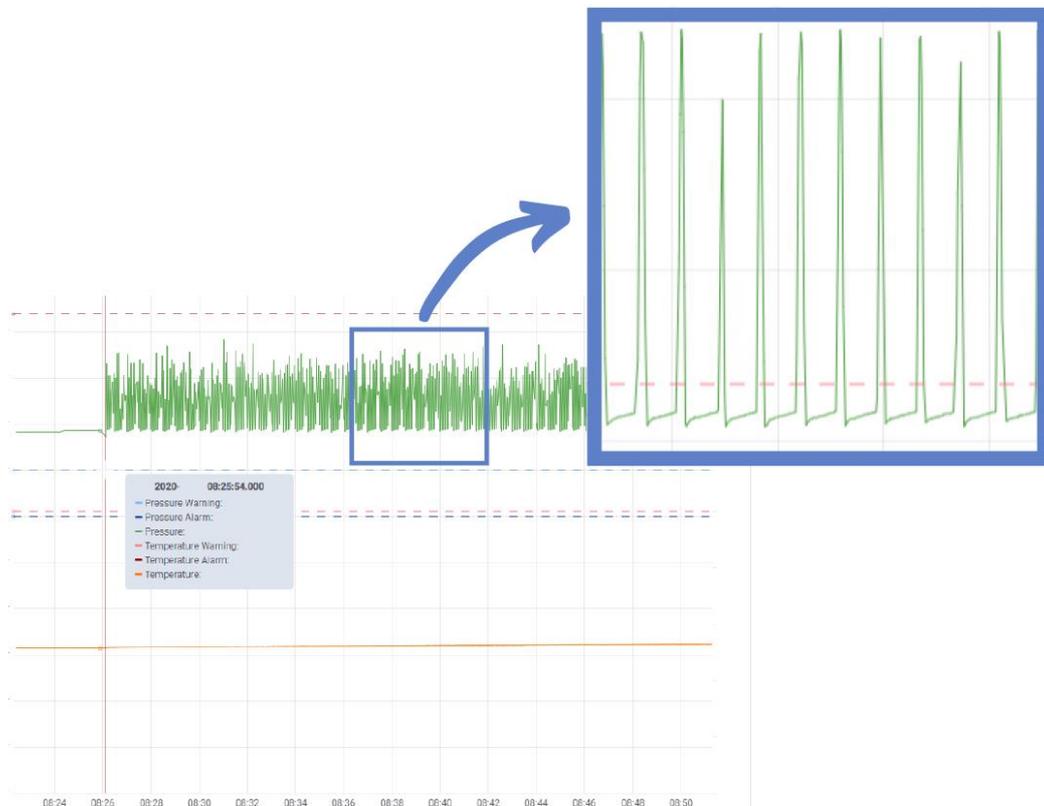
Il test prevedeva i seguenti punti di verifica:

- Prove di ricezione, controllando l'assenza di perdite di connessione tra tutti i componenti del sistema durante la lavorazione sotto pressa;
- Funzionalità del software, verificando la possibilità di accesso alla pagina web e la visualizzazione dei dati durante tutta la durata del test;
- Funzionalità dell'App, verificando il riconoscimento dello stampo prima del suo posizionamento sotto pressa e controllando anche in questo caso la corretta visualizzazione dei dati;
- Verifica dei warnings, verificando la segnalazione da parte del sistema del superamento della soglia di avvertimento;
- Riconoscimento dello stampo fuori pressa.

Durante lo svolgimento del test il sistema non ha segnalato alcuna perdita di segnale tra i suoi diversi componenti; in questo modo è stata appurata la buona ricezione del segnale tra le diverse parti.

Durante la prova è stato effettuato l'accesso alla pagina web per la visualizzazione dei parametri misurati dal sistema. Gli andamenti registrati della pressione e della temperatura dell'azoto in funzione del tempo sono riportati in forma grafica in *Figura 5.38*, ottenuta catturando l'immagine riportata sullo schermo del computer a bordo linea. Si nota come, in fase di discesa della pressa, si verifica un incremento, rispetto al valore di caricamento, della pressione dell'azoto all'interno della camera e un lieve incremento della sua temperatura. Quanto ottenuto è coerente con quanto previsto.

L'attendibilità dei valori numerici di pressione e temperatura è stata verificata successivamente attraverso un confronto tra i dati di processo misurati e i dati di progetto in modo da controllare la corretta visualizzazione dei dati. Ciò è illustrato nel paragrafo successivo.



*Figura 5.37: Andamento della pressione e della temperatura in funzione del tempo*

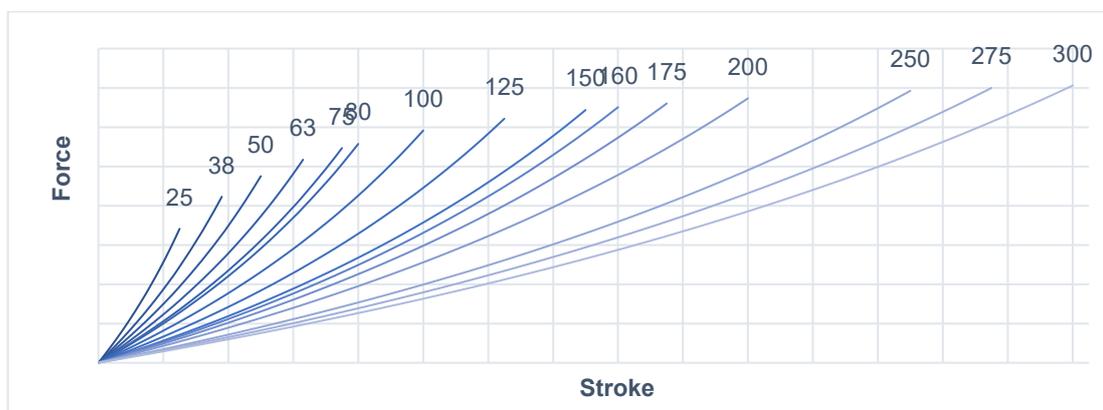
Per verificare la segnalazione da parte del sistema del superamento della soglia di avvertimento sono stati variati i dati di configurazione. In particolare è stato incrementato il valore della pressione di avvertimento in modo che essa fosse superiore rispetto alla pressione minima raggiunta dall'azoto durante il normale funzionamento dell'impianto. Una volta superato il valore soglia, il sistema, come previsto ha emesso un segnale di avvertimento.

Infine, una volta rimosso lo stampo dalla pressa, è stato testato il riconoscimento dello stampo, schiacciando il pulsante CHECK sul supporto dati e utilizzando uno Smartphone sul quale era stata precedente l'App della casa produttrice. Anche in questo caso la verifica ha dato esito positivo.

#### 5.3.4 Analisi dei dati

La progettazione di uno stampo è sempre preceduta da una fase di simulazione in cui viene determinata la forza utile a formare il pezzo. Il valore di tale forza, insieme ai vincoli di ingombro della fusione e alla necessità di avere una distribuzione uniforme dei cilindri sul premilamiera (in funzione della geometria dell'elemento), determina la scelta dei cilindri ad azoto da inserire nello stampo. In fase di Messa a Punto è poi sempre possibile regolare la pressione dell'azoto in funzione del tonnellaggio necessario determinato in fase di simulazione.

Effettuata tale scelta, in termini di tipologia e di numero dei cilindri ad azoto, ciascun fornitore mette a disposizione i dati di funzionamento degli stessi in funzione della corsa utile c.u. e della pressione di caricamento. Da questi dati è possibile ricavare le curve di forza, ovvero le curve in cui è riportata la forza, politropica o isoterma (in genere in  $daN$ ), in funzione della corsa (in genere in  $mm$ ). Le curve di forza dei cilindri ad azoto si presentano come riportato in *Figura 5.39*, dove per ciascuna curva è indicata all'estremità la corsa utile del cilindro.



**Figura 5.38:** Curve di forza dei cilindri ad azoto

Definito il numero e la tipologia di cilindri, sono noti a questo punto i dati di progetto.

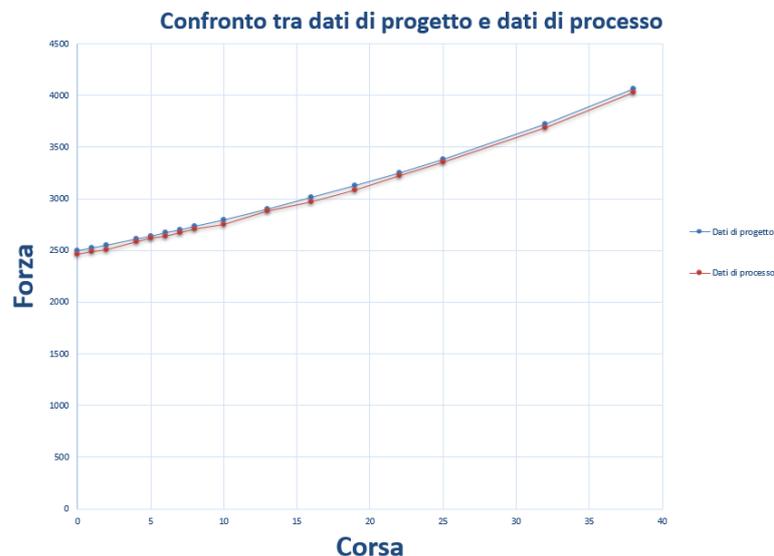
Per verificare l'attendibilità dei valori numerici di pressione e temperatura è stato eseguito un confronto tra i dati di progetto e i dati di processo registrati durante la prova e, scaricati come file .csv dal database di archiviazione del Gateway, sovrapponendo le curve di Forza – Corsa dei cilindri e individuando eventuali scostamenti. In particolare, per tale confronto, è stata utilizzata la curva di forza politropica, essendo più vicina alle condizioni reali di funzionamento dei cilindri.

Un primo problema riscontrato è che il Software Base fornito dalla casa produttrice non prevede il calcolo del valore della forza in funzione della corsa del cilindro. È stato possibile ovviare a ciò facilmente poiché il sistema registra l'andamento della pressione in funzione del tempo in un intervallo tempo prefissato. I dati di pressione possono essere convertiti facilmente, nota la tipologia di cilindri su cui è installato il sistema, in termini di forza poiché ciascuna casa produttrice di cilindri ad azoto fornisce la relazione, riportata nei

paragrafi precedenti, tra il valore istantaneo della pressione e il valore istantaneo della forza politropica. Infine, risulta facile anche la conversione da tempo a corsa, essendo nota la velocità della pressa.

Per semplicità la sovrapposizione tra le curve è stata eseguita considerando i dati di processo e di progetto del cilindro autonomo posizionato nella base superiore dello stampo. Nel confronto però, bisogna considerare che la curva di progetto è ottenuta considerando una frequenza di 30 colpi al minuto, mentre il lotto di produzione considerato opera con una frequenza di 12 colpi al minuto. Ci si aspetta pertanto che la curva di processo risulti un po' più bassa rispetto alla curva di progetto, considerando anche che in generale la curva politropica misurata è quasi sempre più alta della curva calcolata, salvo alcuni casi.

Il risultato ottenuto da tale confronto è riportato in *Figura 5.40* ed è in linea con quanto previsto. Gli scostamenti individuati tra le due curve sono trascurabili, in particolar modo se si considera che la casa produttrice del sistema WPM garantisce la massima precisione dei dati rilevati solo sui propri cilindri mentre il test è stato effettuato su cilindri di un altro marchio. Infatti, anche se si usa componentistica ISO, tra un marchio e l'altro posso esserci delle differenze non solo dimensionali ma anche strutturali. La componentistica all'interno di ogni cilindro è molto sofisticata ed è possibile individuare diversi parametri che incidono sul rendimento in termini di *forza di lavoro, velocità e temperatura* quali la tipologia di guarnizioni, la cura nella lavorazione dello stelo e la precisione della sua guida, la cura nella lavorazione della camicia interna nonché la qualità del materiale usato.



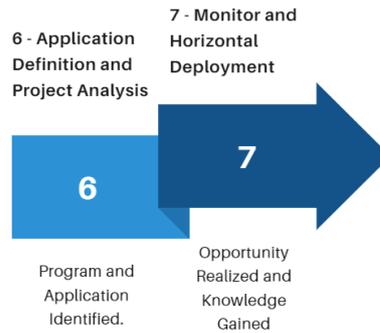
**Figura 5.39:** Confronto tra i dati di progetto e i dati di processo

Risulta verificata anche l'attendibilità dei valori numerici rilevati, pertanto, è possibile affermare che il test ha avuto esito positivo ed è validato il corretto funzionamento del sistema.

#### 5.4 Conoscenza acquisita e opportunità realizzate

Verificato il corretto funzionamento del sistema in ambiente di produzione è stato possibile procedere con la predisposizione delle prime applicazioni, la definizione dei tempi e delle risorse necessarie all'applicazione stessa (*Step 6*), effettuando un confronto con le previsioni fatte allo *Step 3*.

Infine, sono stati analizzati i risultati ottenuti formalizzando la conoscenza acquisita, definendo le opportunità realizzate e identificando gli sviluppi futuri (*Step 7*).



**Figura 5.40:** Fase 6 e fase 7

Lo sviluppo di queste due fasi, rappresentate graficamente in *Figura 5.41*, è analizzato nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

### 5.4.1 Predisposizione delle applicazioni e analisi dei costi

Per la definizione delle prime applicazioni e dei costi associati all'implementazione di questo sistema abbiamo considerato come riferimento un determinato modello di vettura.

Definito il modello abbiamo individuato le matricole per cui è conveniente applicare questo sistema prediligendo quelle i cui stampi presentano diverse parti mobili azionate dai cilindri ad azoto. Le matricole considerate idonee all'applicazione di questo sistema, rappresentate in *Figura 5.42*, sono:

- Esterno Fiancata D/S;
- Parafango CX2;
- Padiglione;
- Ossatura Cofano;

per un totale di 6 matricole per stampo.



**Figura 5.41:** Matricole scelte per modello di vettura di riferimento

Come è stato mostrato precedentemente, il sistema non è vantaggioso per ogni tipologia di operazione del ciclo di stampaggio, quindi per ogni matricola sono stati individuati gli stampi idonei all'installazione e per ogni tipologia di stampo, il numero di sensori necessari. A tal proposito sono stati considerati solo i gruppi di cilindri controllati che determinano un'azione diretta sull'elemento e per i quali, pertanto, si ha la necessità di regolare la pressione al fine di effettuare un controllo di processo durante il ciclo di fabbricazione. Questa procedura ha portato ad identificare un totale di 11 stampi e 36 sensori per ciascun modello di vettura. Nell'ambito dello stampo al costo dei sensori va sommato il costo del supporto dati (un componente per stampo) e degli elementi accessori quali raccordi e adattatori.

**Tabella 8: Stampi e funzioni individuate per ciascuna matricola**

ESTERNO FIANCO D/S	Op. 40	Premilamiera base superiore Premilamiera slitta superiore Premilamiera slitta inferiore
	Op.50	Premilamiera base superiore Premilamiera slitta superiore Premilamiera slitta inferiore
	Op.60	Premilamiera base superiore Premilamiera slitta superiore Premilamiera slitta inferiore
	Op. 70	Unit Power di foratura
PADIGLIONE	Op. 40	Premilamiera base superiore Premilamiera slitta
	Op.60	Mobile inferiore
PARAFNGO CX2	Op.20	Cilindri ad azoto controllati
	Op. 40	Premilamiera base superiore
	Op. 50	Premilamiera base superiore
	Op.60	Premilamiera base superiore
OSSATURA COFANO	Op. 50	Mobile inferiore

Nell'analisi dei costi si considerano inoltre i costi di adeguamento delle linee di produzione su cui si effettua la messa in opera degli stampi scelti. Sono state individuate tre linee con costi di adeguamento più o meno simili. Questi costi sono rapportati alla singola pressa e si vanno a sommare, nel contesto della pressa, ai costi del gateway.

**Tabella 9: Numero totale di componenti per modello**

	<b>Matricola</b>	<b>Stampo</b>	<b>Funzione</b>	<b>N. Sensori</b>	<b>N. Gateway</b>	<b>N. Data Part</b>	<b>Accessori</b>
<b>Totale</b>	4	11	18	36	11	11	36

Infine, sono stati aggiunti i costi delle licenze, considerate in numero opportuno all'utilizzo da parte dei diversi enti dello stabilimento (progettazione, produzione, manutenzione e pianificazione) e il costo per lo sviluppo di un database di gestione per l'interfaccia con il sistema MES, argomento che sarà trattato nel dettaglio nel paragrafo successivo.

Le voci di costo, di primo e di secondo modello, sono riportate in Tabella 11.

**Tabella 10: Analisi dei costi**

Costi primo modello	
Costi Hardware Stampo	Costo sensori Costo Supporto Dati Costo Adattatori
Costi Hardware Pressa	Costo Gateway
Costi licenza Software	
Costi adeguamento presse	
Costi Database di gestione	

È importante osservare che solo i costi di hardware relativi allo stampo devono essere aggiunti qualora si volesse implementare il sistema su di un altro modello di vettura; i restanti costi risultano pertanto essere costi fissi.

#### 5.4.2 Opportunità realizzate

Il Sistema WPM, prima e durante l'utilizzo dello stampo, è in grado di controllare e registrare il livello di pressione e temperatura di tutti i cilindri ad azoto, parametri che determinano se sia necessario o meno un intervento manutentivo e che consentono di rilevare rapidamente anomalie che potrebbero essere potenziali cause di imminenti guasti.

Ciò porta ad interventi mirati e intervallati da periodi di tempo più lunghi e specifici, perché la manutenzione è eseguita soltanto quando i parametri indicano che il tempo residuo reale prima del guasto del componente è quasi terminato, massimizzando così la sua vita utile ed evitando di cambiare una parte prima che sia strettamente necessario. In caso di malfunzionamento, inoltre, il sistema localizza esattamente il cilindro in questione.

Si ha pertanto, un abbattimento dei costi e dei tempi di manutenzione grazie all'identificazione precisa e oggettiva del possibile guasto, alla possibilità di pianificare gli interventi, gestendo la manutenzione in modo più pronto ed efficace e, di evitare quelli superflui.

Le anomalie sono segnalate tempestivamente dal sistema, prima ancora che venga prodotto un pezzo difettoso; gli scarti di produzione e i fermi produttivi per guasti sono pertanto ridotti al minimo o azzerati con conseguente riduzione dei costi associati.

La conoscenza dell'andamento della pressione durante il processo produttivo non agevola solo la fase di manutenzione, si riscontrano benefici anche nelle fasi precedenti. I dati di pressione, archiviati nel Gateway, possono essere utilizzati durante la fase di Simulazione/Progettazione al fine di garantire una maggiore selettività dei componenti ad azoto, per quanto riguarda la tipologia e il numero. Fino ad ora, in fase di simulazione, si determina solo il tonnellaggio necessario a formare il pezzo, senza mai ragionare in termini di pressione a causa della non disponibilità di questi dati. L'utilizzo di questo sistema consente di utilizzare i dati di pressione già a partire dalla fase di Simulazione agevolando la successiva fase di Messa a Punto in cui, grazie all'utilizzo di una pressa di prova, si determina la pressione di caricamento dei cilindri.

I dati registrati sono resi disponibili centralmente nell'Internet of Things e ciò costituisce la base di un'espansione tecnologica verso l'Industria 4.0 e della trasformazione del processo di produzione da tradizionale ad "intelligente". A supporto di ciò vi è anche la capacità del sistema di generare un database storico relativo alle prestazioni ed al comportamento dello stampo che, è possibile sfruttare per aumentare il grado di precisione delle previsioni future.

Da non trascurare inoltre, è la possibilità di monitorare la produzione senza aggiunta di un elevato cablaggio, poiché tutti i componenti del sistema comunicano tra loro tramite protocollo Bluetooth LE 4.0 e, la semplicità di montaggio offerta dal sistema.

Al fine di sfruttare al meglio le potenzialità di questo sistema è necessario muovere i primi passi verso una maggiore **integrazione** e **digitalizzazione** del processo di produzione e della sua gestione. Per far ciò, la prossima mossa è quella di trasferire e organizzare queste informazioni in una banca dati a cui devono poter accedere gli enti di manutenzione, produzione e planning in modo che possono ricevere informazioni in tempo reale sullo stato di salute dello stampo e sulla sua allocazione (in magazzino e in produzione), in modo che possano agire e reagire prontamente.

Per tale scopo è stato individuato a livello aziendale un sistema software, codificato come un MES, sviluppato dall'ICT e strettamente connesso a tutti i reparti dello stabilimento. Come mostrato in Figura 5.43, copre un po' tutti gli aspetti di uno stabilimento produttivo di stampaggio quali la produzione, la qualità, la logistica, la gestione dell'impianto, la gestione degli stampi e la manutenzione.



**Figura 5.42:** Funzionalità del software MES

Si sta valutando se può interfacciarsi con una manutenzione ordinaria gestita in modo digitale e, se sia possibile creare un collegamento tra il sistema WPM (sistema che ha il potenziale per una digitalizzazione del processo) e il software MES per lo scambio e aggiornamento dei dati.

Una digitalizzazione della gestione della manutenzione comporta sicuramente una riduzione dei tempi ad essa dedicati, azzerando i tempi necessari agli operatori per la compilazione manuale della documentazione, per il calcolo del numero di colpi totali effettuati dallo stampo e la verifica del superamento delle soglie. Inoltre in questo modo si offre ad essi la possibilità di svolgere altre mansioni e si riducono i rischi di errore legati alla manualità dell'operazione.

Attualmente, nell'ambito del processo di produzione, questo sistema è utilizzato per il conteggio dei colpi, dopo aver inserito manualmente i dati della matricola che si sta per produrre. L'idea è quella di attribuire a ciascun supporto dati la stessa designazione che lo stampo possiede all'interno del software e far sì che, una volta avvenuto il pairing tra supporto dati e gateway, il sistema WPM comunichi al sistema MES che quel determinato stampo ha iniziato la produzione, in modo da by-passare la prima fase di stesura dei dati manuale. Successivamente, nel corso del processo di produzione, il sistema WPM deve fornire informazioni al sistema MES sullo stato dello stampo.

Grazie a questa implementazione si ha anche la possibilità di far conoscere il percorso e la storia dello stampo anche ad altri stabilimenti del gruppo nel caso in cui si verificano le condizioni (ad esempio: guasto di una linea presse) per cui gli stampi debbano essere trasferiti da uno stabilimento all'altro. Avere tutte le informazioni dello stampo in formato digitale rende sicuramente più agevole e veloce la loro condivisione nel caso in cui si presentino situazioni di questo tipo.

### 5.4.3 Analisi costi–benefici

Al fine di verificare la sostenibilità finanziaria delle applicazioni di cui sopra è stata condotta l'analisi costi-benefici in modo da determinare se i benefici derivanti dall'implementazione del progetto superano i costi necessari alla sua realizzazione. I costi e i benefici sono calcolati su base annuale.

Per far ciò, una volta note le voci di costo definite durante lo Step 6, sono stati quantificati i benefici, ovvero tutte le risorse prodotte o risparmiate per effetto della realizzazione del progetto. In particolare, nell'ambito di questa analisi, sono stati considerati benefici tutte le quote di risparmio relative a ciascuna fase del processo, dalla simulazione alla produzione. Le quote di risparmio individuate, in linea con quanto detto nel paragrafo precedente, sono:

- *Risparmio sui costi per guasti;*
- *Risparmio sui costi legati ai fermi produttivi per guasti;*
- *Risparmio sui costi per scarti di produzione;*
- *Risparmio sui costi legati ad una gestione preventiva della manutenzione;*
- *Risparmio sui costi legati ad una gestione cartacea della manutenzione.*

Ciascuna quota di risparmio è stata calcolata, su base annuale e in rapporto al numero di matricole considerate per ciascun modello, grazie al supporto dell'ente di Manutenzione dello Stabilimento Produttivo. Inoltre sono state considerati solo i costi derivanti da guasti, scarti e fermi produttivi legati al malfunzionamento dei cilindri ad azoto.

Particolare attenzione è stata rivolta all'analisi dei benefici derivanti da una gestione non più cartacea della manutenzione. L'interfaccia del sistema WPM con il sistema MES di stabilimento e, l'utilizzo di quest'ultimo a supporto di una manutenzione ordinaria degli stampi gestita in maniera digitale, determinano un azzeramento del tempo necessario a:

- compilare il cartellino stampo;
- calcolo progressivo e controllo del superamento delle soglie;
- verificare che eventuali interventi manutentivi siano in tempo.

Ne risulta una riduzione del tempo adibito, da parte degli operatori di linea, alla gestione della manutenzione degli stampi per singola matricola del 50%. Noto il costo orario del personale e note le ore totali spese per eseguire tali operazioni sulla singola matricola, è stato facile quantificare questa voce di risparmio.

Dall'analisi è stato dedotto che solo implementando il sistema su almeno due modelli di vettura si riesce a raggiungere un rapporto Benefici/Costi, nell'anno, maggiore di uno. I risultati di tale analisi sono riportati in *Tabella 12*.

**Tabella 11:** Risultati analisi costi-benefici

	Primo modello	Primo e secondo modello
B/C	0,64	1,10

### 5.4.4 Possibili implementazioni del sistema

Nel corso della fase di analisi e studio del sistema, nonché durante lo sviluppo del progetto, diverse sono le possibili implementazioni e ottimizzazioni per esso individuate.

Bisogna considerare in primo luogo che, come visto precedentemente, all'interno dello stabilimento produttivo, la gestione degli intervalli di manutenzione degli stampi si basa sul numero di colpi totali eseguiti degli. Per cui, interessante sarebbe introdurre all'interno del Software Base del sistema il conteggio dei colpi,

non ancora presente. Questo problema sembra facilmente risolvibile dato che ad ogni colpo il sistema rileva un picco sia nell'andamento della pressione che della temperatura.

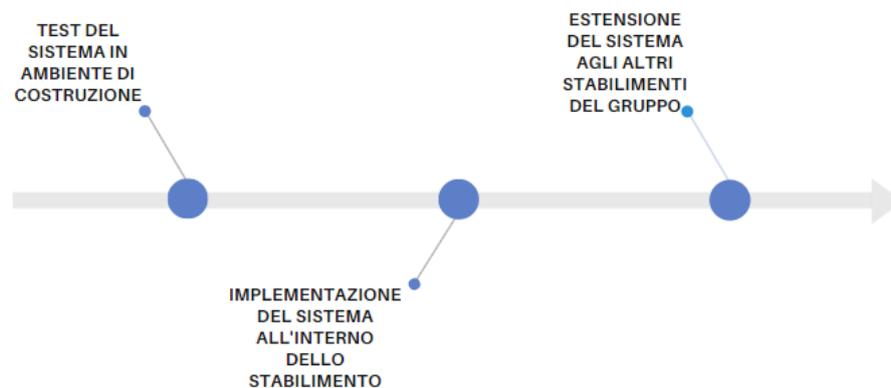
Come anticipato, un limite riscontrato è che il Software Base fornito dalla casa produttrice non prevede il calcolo del valore della forza esercitata dal cilindro in funzione della corsa, rilevando unicamente i valori di pressione e di temperatura in funzione del tempo. Sarebbe utile implementare la visualizzazione dei valori in forza dal momento che, sin dalla fase di simulazione, si ragiona con questa tipologia di grandezza.

Un altro svantaggio individuato nell'utilizzo del sistema è che, per ciascuna grandezza, è possibile definire un'unica soglia di avvertimento e di allarme, risultando quindi in un controllo solo dei valori massimi o solo dei valori minimi raggiungibili. Importante sarebbe introdurre la possibilità di verificare che le grandezze monitorate siano all'interno di un determinato intervallo.

Un'ultima implementazione possibile, già prevista dalla casa produttrice, è l'integrazione in sistemi di livello superiore, ovvero si vuole introdurre la possibilità, da parte del Gateway-IoT, di rendere disponibili le informazioni raccolte sul campo direttamente su Cloud, inviando i dati tramite protocollo MQTT o OPC-UA. Il Cloud è accessibile in qualsiasi momento ed in ogni luogo, consentendo l'accesso ai dati anche al di fuori del perimetro aziendale e rendendo possibile in questo modo anche l'integrazione tra i diversi stabilimenti del Gruppo.

#### 5.4.5 Sviluppi futuri

Una delle principali attività del Pilastro Innovation è quella di creare una roadmap di 3 anni con priorità per innovazioni mirate e rivoluzionarie, collegate agli obiettivi organizzativi. Per cui nel definire gli sviluppi futuri di questa attività è stato necessario porsi degli obiettivi sia nel breve che nel lungo termine.



*Figura 5.43: Sviluppi futuri*

Nel breve termine si prevede di testare il sistema anche in ambiente di costruzione stampi, in fase di Try-Out, utilizzando lo stampo precedentemente indicato per tale applicazione. Il fine è quello di verificare il conseguimento, grazie all'utilizzo del Sistema, di un miglioramento nella gestione della fase di Messa a Punto attraverso un confronto tra i dati di processo e i dati di progetto. Sarà pertanto necessario smontare i componenti dallo stampo in produzione, montarli sullo stampo in prova e analizzare i risultati, aggiornando di conseguenza anche l'analisi costi-benefici.

Nel caso in cui tale verifica dovesse dare esito positivo, il prossimo passo è quello di implementare il sistema prima ad un singolo modello di vettura poi a più modelli di vetture all'interno dello stabilimento produttivo Press Shop & Die di Mirafiori, in accordo con quanto definito durante lo svolgimento dello Step 6 di sviluppo del progetto. Si procederà poi allo sviluppo di un database di gestione per l'interfaccia con il sistema MES, al fine di avere una gestione del processo di stampaggio più integrata e digitale.

Sviluppi futuri della ricerca potrebbero essere indirizzati anche al miglioramento dell'interfaccia tra i diversi stabilimenti del Gruppo. Una volta standardizzata l'architettura utilizzata nell'ambito dello stabilimento di Mirafiori, si potrebbe ipotizzare di estendere il sistema anche agli altri Plant, in modo che i vari stabilimenti

possano comunicare tramite lo stesso database. Questo proposito è supportato dalla possibilità, prevista dalla casa produttrice, di trasmettere le informazioni raccolte dal Gateway su Cloud, agevolandone l'accesso anche al di fuori del singolo stabilimento produttivo. Questa rete di collaborazione tra le imprese consentirà un'unione delle risorse e una condivisione della conoscenza in modo da adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato, cogliendo nuove opportunità.

## Conclusioni

L'elaborato di tesi ha affrontato lo sviluppo di un progetto di innovazione che, prevede l'implementazione su linea di un sistema per il monitoraggio e controllo wireless del processo di Stampaggio. Ciò è realizzato attraverso l'osservazione costante dello stato dell'impianto ad azoto presente nello stampo, con controllo, registrazione e visualizzazione in tempo reale del livello di pressione e temperatura di tutti i cilindri.

La proposta è nata a partire da un'analisi dello stato dell'arte e, da un'attenta valutazione dei bisogni aziendali relativi all'area Press Shop & Die che, hanno rilevato la presenza di diverse problematiche all'interno dello stabilimento produttivo. Tra di esse, le più importanti, sono sicuramente la mancanza di un sistema per il monitoraggio di ciò che accade all'interno dello stampo durante il processo di produzione e, una gestione ancora molto cartacea e manuale degli interventi manutentivi. La scelta è pertanto ricaduta su un sistema per il monitoraggio e controllo wireless dell'impianto ad azoto, sistema che non solo è in grado di monitorare lo stato dei cilindri ad azoto, componenti che svolgono un ruolo critico nel funzionamento dello stampo ma, offre anche la possibilità di interfacciarsi con una manutenzione ordinaria gestita in modo digitale.

Lo sviluppo del progetto ha visto l'applicazione rigorosa di metodi e strumenti standard e, il passaggio attraverso sette step di lavoro predefiniti, come previsto dalla Metodologia World Class Technology. Ne è conseguita un'iniziale fase di analisi e studio del sistema, che ha permesso di valutarne le potenzialità e, di individuarne l'applicazione più idonea all'interno dello stabilimento; seguita da una fase esecutiva, con test in ambiente di produzione, al fine di verificare il corretto funzionamento del sistema e l'attuabilità dell'implementazione dello stesso, a partire dall'attuale linea presse. La buona riuscita del test, decretata dalla corretta esecuzione di tutte le attività pre-inserite all'interno di una check list, ha portato alla validazione del sistema e alla predisposizione delle prime applicazioni, con conseguente valutazione delle opportunità realizzate e dei possibili sviluppi futuri.

Per le prime applicazioni, si prevede, nel breve termine, di utilizzare il sistema prima, per il monitoraggio della produzione di due soli modelli di vettura e, successivamente, di estenderne l'impiego a tutti i modelli realizzati all'interno dello stabilimento di Mirafiori.

Il Sistema, prima e durante l'utilizzo dello stampo, è in grado di monitorare parametri che determinano se sia necessario o meno un intervento manutentivo e, che consentono di rilevare rapidamente anomalie che potrebbero essere potenziali cause di imminenti guasti. Il gateway può inoltre generare un database storico relativo alle prestazioni ed al comportamento dello stampo che, è possibile sfruttare per aumentare il grado di precisione delle previsioni future, ridefinendo le soglie di avvertimento e di allarme. Ciò porta ad *interventi mirati* e intervallati da periodi di tempo più lunghi e, *specifici*, perché la manutenzione è eseguita soltanto quando i parametri indicano che il tempo residuo reale prima del guasto del componente è quasi terminato, massimizzando così la sua vita utile ed evitando di cambiare una parte prima che sia strettamente necessario.

Si stima, pertanto, con l'applicazione del sistema ai primi due modelli di vettura, di ottenere:

- un azzeramento degli scarti di produzione e fermi produttivi per guasti legati al non corretto funzionamento dei cilindri, grazie alla segnalazione tempestiva delle anomalie da parte del sistema;
- un incremento del 20% della vita dei cilindri;
- un abbattimento dei costi e dei tempi di manutenzione grazie all'identificazione precisa e oggettiva del possibile guasto, alla possibilità di pianificare gli interventi e, di evitare quelli superflui.

Al fine di sfruttare al meglio le potenzialità di questo sistema però, è necessario muovere i primi passi verso una maggiore *digitalizzazione* della gestione della manutenzione. Si prevede, pertanto di realizzare un'interfaccia tra il software base del sistema e il MES di stabilimento e di estendere l'utilizzo di quest'ultimo all'Area Manutenzione. Da tale operazione ci si aspetta di ottenere una riduzione del tempo adibito, da parte degli operatori di linea, alla gestione della manutenzione degli stampi, per singola matricola, del 50%.

Sviluppi futuri della ricerca potrebbero essere indirizzati anche al miglioramento dell'interfaccia tra i diversi stabilimenti del Gruppo, al fine di consentire il raggiungimento di una perfetta integrazione orizzontale. Una volta standardizzata l'architettura utilizzata nell'ambito dello stabilimento di Mirafiori, si potrebbe ipotizzare di estendere il sistema anche agli altri Plant, in modo che i vari stabilimenti possano comunicare tramite lo stesso database. Questo proposito è supportato dalla possibilità, prevista dalla casa produttrice, di trasmettere le informazioni raccolte dal Gateway su Cloud, agevolandone l'accesso anche al di fuori del singolo stabilimento produttivo. Questa rete di collaborazione consentirà un'unione delle risorse e una condivisione della conoscenza in modo da adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato, cogliendo nuove opportunità.

## Bibliografia

- [1] C. Amerio, R. De Ruvo, S. Simonetti, 2008, Lavorazioni della lamiera, in "Tecnologia & Disegno - Elementi di Tecnologia", Unità 6, SEI Editrice, pp. 1–24.
- [2] Fiat Chrysler Automobiles, WCM at FCA, 2014, [https://www.wcm.fcagroup.com/it-it/wcm\\_at\\_fca/Pages/default.aspx](https://www.wcm.fcagroup.com/it-it/wcm_at_fca/Pages/default.aspx).
- [3] A. Garg and S. G. Deshmukh, 2006, Maintenance management: Literature review and directions, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 205–238 [DOI: 10.1108/13552510610685075].
- [4] R. Keith Mobley, 2002, *An introduction to predictive maintenance*, 2nd ed., Elsevier Science, USA, vol. 42, no. 6.
- [5] C. J. Bartodziej, 2017, *The Concept Industry 4.0 - An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*, Springer Gabler, Germany [ISBN 978-3-658-16501-7]
- [6] Qin J., Liu Y., and Grosvenor R., 2016, A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond, Elsevier B.V
- [7] G. Cervelli, S. Pira, and L. Trivelli, 2017, *Industria 4.0 senza Slogan*, I edizione, Towel Publishing S.r.l., Pisa [ISBN: 9788894901061]
- [8] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, and N. F. Ayala, 2019, Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies, *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, pp. 15–26, [DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004]
- [9] A. Rojko, Industry 4.0 concept: Background and overview, 2017, *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 77–90 [DOI: 10.3991/ijim.v11i5.7072].
- [10] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite, 2017, The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0, *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 11, no. 1, pp. 17–27 [DOI: 10.1109]
- [11] Wikipedia. "Sensore di prossimità", [https://it.wikipedia.org/wiki/Sensore\\_di\\_prossimità](https://it.wikipedia.org/wiki/Sensore_di_prossimità) (accessed October 2020)
- [12] J. Cecilio and P. Furtado, 2013, Wireless Sensors in Industrial Time-Critical Environments, *Springer International Publishing* [ISBN 978-3-319-02888-0]
- [13] E. MacKensen, M. Lai, and T. M. Wendt, Bluetooth Low Energy (BLE) based wireless sensors, 2012, *Proc. IEEE Sensors*, pp. 3–6 [DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411303].
- [14] L. Ruiz-Garcia, L. Lunadei, P. Barreiro, and J. I. Robla, A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: State of the art and current trends, 2009, *Sensors (Switzerland)*, vol. 9, no. 6, pp. 4728–4750, 2009 [DOI: 10.3390/s90604728].
- [15] D. Eddine-Boubiche, J. A. Trejo-Sánchez, H. Toral-Cruz, J. L. López-Martínez, and F. Hidoussi, 2018, "Wireless sensor technology for intelligent data sensing: Research trends and challenges," *Intell. Data Sens. Process. Heal. Well-being Appl.*, pp. 41–58 [doi: 10.1016/B978-0-12-812130-6.00003-2.]
- [16] G. Patti, L. Leonardi, and L. Lo Bello, A Bluetooth Low Energy real-time protocol for Industrial Wireless mesh Networks, *IECON Proc. Industrial Electron. Conf.*, no. October 2017, pp. 4627–4632, 2016, doi: 10.1109/IECON.2016.7793093.
- [17] W. E. L. Technology, "Monitoraggio wireless delle molle a gas nello stampo wireless pressure monitoring."
- [18] C. Gomez, J. Oller, and J. Paradells, 2012, Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology, *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, pp. 11734–11753 [DOI: 10.3390/s120911734].
- [19] Wikipedia, Bluetooth Low Energy, [https://it.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_Low\\_Energy](https://it.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy) (Accessed November 2020)
- [20] R. Rondón, M. Gidlund, and K. Landernäs, Evaluating Bluetooth Low Energy Suitability for Time-Critical Industrial IoT Applications, *Int. J. Wirel. Inf. Networks*, vol. 24, no. 3, pp. 278–290, 2017, [doi:

10.1007/s10776-017-0357-0].

## **Ringraziamenti**

Vorrei dedicare questo spazio del mio elaborato alle persone che hanno contribuito, con il loro supporto, alla realizzazione dello stesso.

Desidero innanzitutto ringraziare il mio relatore, il Prof. Ing. Terenziano Raparelli, per la disponibilità e cortesia dimostratemi.

Ringrazio l'Azienda FCA Italy S.p.A. per avermi dato la possibilità di svolgere il mio lavoro di tesi in un ambiente dinamico e stimolante, che mi ha permesso di mettermi in gioco e fare un'esperienza che sarà preziosa per il mio futuro. In particolare un ringraziamento va ai miei correlatori Irene Casto e Corrado Forestieri del Press Shop & Die, per i preziosi consigli e per avermi guidato nella stesura dell'elaborato.