

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



World Class Manufacturing: sviluppo di casi applicativi nel
contesto della logistica interna dello stabilimento, attraverso
l'applicazione di soluzioni di Industria 4.0

Relatori:

Prof. Enrico MACII

Prof. Carlo RAFELE

Relatori aziendali:

Dott. Luciano MASSONE

Ing. Francesco CANUTO

Candidato:

Luca GALANTE

Anno Accademico 2017/2018

Sommario

1	Introduzione.....	1
1.1	Introduzione	1
2	World Class Manufacturing	5
2.1	Introduzione al World Class Manufacturing	5
2.2	Il Cost Deployment	9
2.3	Safety.....	16
2.4	Alcuni concetti utili.....	21
3	Industria 4.0.....	28
3.1	Introduzione all’Industria 4.0	28
3.2	Industria 4.0: cos’è e cosa non è	33
3.3	L’approccio alla sfida dell’Industria 4.0.....	57
3.4	Industria 4.0 in FCA.....	64
4	Introduzione ai progetti.....	78
4.1	Introduzione ai progetti	78
5	Progetto nello stabilimento di Jefferson North.....	82
5.1	Introduzione al progetto	82
5.2	Use Case applicativo.....	85
5.3	Introduzione alle tecnologie RTLS.....	87
5.4	Descrizione della tecnologia scelta	91
5.5	Identificazione dell’area modello.....	101
5.6	Proof of concept: test in stabilimento.....	107
5.7	Costruzione del <i>business case</i>	123

5.8	Conclusioni e prospettive	127
6	Progetto nello stabilimento di stampaggio a <i>Sterling Heights</i>	131
6.1	Introduzione al progetto	131
6.2	<i>Use case</i> applicativo	136
6.3	<i>Proof of concept</i> : prove in stabilimento	142
6.4	<i>Business case</i>	150
6.5	Nuove opportunità: da approccio reattivo a proattivo	155
6.6	Conclusioni	166
7	Progetto a Mirafiori Presse	168
7.1	Introduzione al progetto a Mirafiori Presse	168
7.2	Descrizione dell' <i>use case</i> applicativo	171
7.3	<i>Proof of Concept</i> : prove in stabilimento	183
7.4	Conclusioni	186
8	Conclusioni	189
	Acronimi	193
	Bibliografia (Harvard Style Reference)	196
	Testi	196
	Immagini	197

1 Introduzione

1.1 Introduzione

Le aziende, come parte dello sforzo costante per aumentare i propri livelli di competitività, hanno sviluppato nel corso del tempo molti progetti e programmi di miglioramento all'interno dei più svariati settori di business. Le maggiori innovazioni e i maggiori risultati, si sono senza dubbio ottenuti nell'ambito della produzione industriale, dove le metodologie di miglioramento continuo di ispirazione giapponese hanno dato origine a numerosi programmi, filosofie e metodi spesso sfociati in storie di successo.

Una di queste storie di successo si è sviluppata in FCA, con l'adozione del programma *World Class Manufacturing* (WCM) a partire dall'anno 2006. Come dimostrato, infatti, da numerosi studi indipendenti, fra cui quello condotto nel 2014 da *The Harbour Report*, nota associazione internazionale specializzata nel mondo *automotive*, che si riporta in Figura 1.1, il programma WCM risulta essere oggi tra i più competitivi fra i sistemi di produzione applicati dai *car maker* (Wyman, 2014).

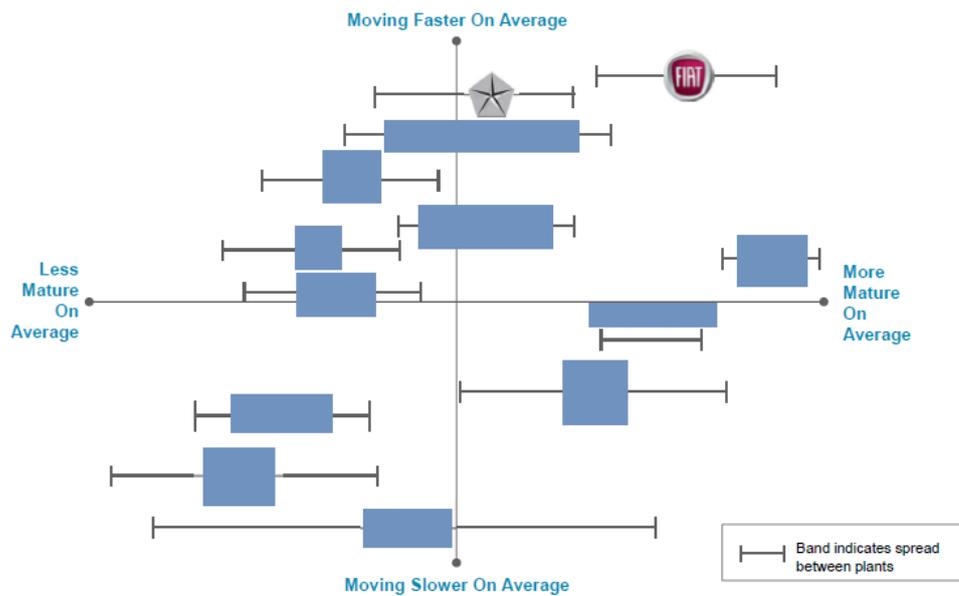


Figura 1.1 Studio comparativo sistemi di produzione *automotive*

Lo studio analizza il livello di applicazione dei concetti del *lean manufacturing* e l'impatto che questi hanno sui risultati operativi. Per farlo utilizza due criteri che identificano 4 quadranti riferiti alla media delle aziende *automotive*: l'efficacia e l'efficienza del processo produttivo e la velocità con cui avviene il miglioramento. Inoltre la lunghezza del segmento rappresenta la variabilità interna all'azienda presente tra i diversi stabilimenti: un segmento più lungo indica una maggiore dispersione che esprime differenze più marcate tra i diversi poli produttivi appartenenti allo stesso *car maker*. I risultati dello studio condotto nel 2014, contenuti in Figura 1.1, sanciscono dunque due diversi e importanti risultati di FCA. Innanzitutto la posizione relativa all'efficienza operativa è molto buona, a riconferma del fatto che il *Manufacturing* di FCA è ben posizionato rispetto alla concorrenza. In seconda battuta si osserva come anche la velocità di miglioramento sia tra le più alte, il che significa che si sta procedendo rapidamente a colmare il *gap* presente con i *best competitors*. Questo dato nasconde un'altra considerazione contenuta nello studio, che sottolinea come

dall'adozione del WCM nel 2006 ad oggi, questa elevata velocità abbia permesso a FCA di cambiare drasticamente la sua posizione rispetto ai concorrenti.

Un'altra fonte primaria di aumento della competitività delle aziende è poi sempre provenuta dall'innovazione tecnologica. In quest'ambito, negli ultimi anni ha cominciato ad affermarsi il concetto di *Industria 4.0* : un termine molto particolare, che fa riferimento ad un nuovo modello di produzione e gestione e a nuovi *tools* che conducono ad una importante trasformazione del mondo industriale, talmente rilevante e dirimpante da giustificare l'allusione, contenuta nel nome, ad una quarta rivoluzione industriale.

Per dare un'anticipazione di quanto siano significative le opportunità fornite dall'Industria 4.0, si cita una valutazione effettuata da *Roland Berger*: "*Industry 4.0 will require ≈60 Billion € extra investment per year in Europe until 2030 and can generate 500 Billion € of value added and 6 Million jobs*" (Roland Berger, 2015).

Nonostante il programma di miglioramento continuo del WCM si basi fondamentalmente su principi, standard, metodi e strumenti sviluppati diversi anni fa e ormai ben consolidati in ambito industriale, nel mondo FCA la sua applicazione è stata capace di adattarsi e di sfruttare appieno le opportunità offerte nel tempo dall'innovazione tecnologica, e quindi anche dalle nuove applicazioni in ambito Industria 4.0. In quest'ottica, la tecnologia non è stata considerata mai come un fine, bensì come un mezzo per sostenere ed accelerare ulteriormente il processo di miglioramento continuo aziendale.

Essendo un'azienda multinazionale, FCA è stata in grado di far leva sulle competenze di diversi paesi per migliorare costantemente il proprio sistema produttivo. Uno dei fattori determinanti del successo del WCM è stata infatti la sua capacità di promuovere la condivisione di *best practices* a livello mondiale, accelerando il processo di miglioramento. Questa struttura di condivisione si è rivelata indispensabile anche per sviluppare e promuovere nuove soluzioni in

ambito Industria 4.0. Il *benchmark* interno fra le diverse regioni operative di FCA e tra i diversi stabilimenti diventa quindi un passaggio fondamentale per poter conoscere al meglio lo stato dell'arte metodologico e tecnologico, con Europa (regione EMEA) e Stati Uniti (regione NAFTA) che per volumi, fatturato e, specialmente, livello di *knowledge* rappresentano le due aree geografiche più significative in quest'ambito.

Questo è quindi il contesto in cui è stato svolto questo lavoro di tesi, il cui obiettivo è stato quello di sviluppare soluzioni innovative, sfruttando le nuove opportunità offerte dall'Industria 4.0, capaci di massimizzare l'aumento di competitività grazie alla guida metodologica del WCM. Caratteristica di fondamentale rilevanza di questo lavoro risiede inoltre nel fatto che non ci si è limitati ad un semplice sforzo di analisi di un problema e di concezione di una sua possibile soluzione, ma si è svolto uno studio sul campo, a stretto contatto con la realtà di fabbrica e i suoi attori, con lo scopo di ricevere continui e diretti *feedback* dell'azienda. La tesi propone quindi una serie di casi studio che coinvolgono tutte le fasi, *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), del *problem solving*: dall'analisi del problema allo sviluppo, fisico, di una soluzione; dall'effettiva implementazione sul campo, all'analisi dei risultati da un punto di vista tecnico ed economico, alla possibilità di prevedere un'espansione a livello aziendale non solo fra stabilimenti della stessa area geografica, ma anche appartenenti a diverse *region*. Particolare attenzione è stata infatti posta, durante lo sviluppo delle soluzioni, non solo ad aspetti di innovazione, ma anche e specialmente alla loro robustezza e scalabilità.

L'approccio con cui si è affrontata questa sfida è stato quindi quello di consegnare all'azienda casi di utilizzo applicativo, non lasciandosi influenzare dalla moda o dalla ricerca della novità a prescindere, ma dall'effettiva validità delle soluzioni ipotizzate e dalla loro capacità di generare in maniera innovativa benefici quantizzabili.

2 World Class Manufacturing

Come anticipato nel capitolo introduttivo, questo lavoro di tesi è volto a sviluppare *use cases* applicativi nell'ambito dell'industria 4.0, di cui si parlerà ampiamente nei capitoli successivi, e a ricavarne i relativi insegnamenti per capire come affrontare al meglio questa sfida. Per fare ciò è necessario, in un'azienda manifatturiera globale come FCA, partire dagli standard di cui si è dotata e, nello specifico, dal sistema di *lean manufacturing* che ha contribuito fortemente a sviluppare: il *World Class Manufacturing* (WCM).

Il WCM, tuttavia, non è un sistema "nuovo" ed è stato già oggetto di numerosi lavori di tesi, in questo ateneo come in altri atenei, italiani e non, per la sua natura innovativa e per i suoi contenuti estremamente validi; pertanto si decide di trattare comunque il tema, per motivi di completezza, ma di farlo in maniera sintetica, limitandosi a richiamare brevemente gli strumenti che sono intervenuti nello sviluppo dei progetti e i concetti utili a consegnare una visione completa.

2.1 Introduzione al World Class Manufacturing

Il WCM non è solo un sistema di produzione, ma un insieme di concetti, standard, metodi e strumenti che compongono una vera e propria filosofia, il cui compito è incidere significativamente sulla modalità con cui i diversi operatori vivono e gestiscono la fabbrica. Alcuni di questi concetti, come ad esempio il *Just In Time* (JIT), provengono da sistemi precedenti, uno fra tutti il *Toyota Production System* (TPS), sviluppato nel secondo dopoguerra dall'industria *automotive* giapponese. Altri contributi importanti vengono dal *Total Productive Maintenance* (TPM), sviluppato sempre nel contesto dell'industria giapponese, che per la prima volta guarda alla manutenzione non solo come un'attività funzionale, ma come un'attività strategica per la competitività industriale e in

questa ottica si adopera per gestirla in maniera più sistematica. Il *Total Industrial Engineering* (TIE), poi, aggiunge l'attenzione sull'organizzazione delle postazioni di lavoro, con particolare attenzione all'ergonomia, ma anche alla standardizzazione delle operazioni per diminuire le inefficienze e gli sprechi. Ultimo contributo degno di nota, infine, è quello relativo al *Total Quality Management* (TQM), che oltre a porre l'attenzione sulla qualità come strumento competitivo, propone un modello organizzativo in cui tutti sono coinvolti nella sua realizzazione.

Si parla per la prima volta di WCM all'inizio degli anni ottanta quando viene pubblicato il volume "*Japanese manufacturing techniques. Nine hidden lessons, in simplicity*" (Schonberger, 1982), che raccoglie casi di aziende, prevalentemente statunitensi, che hanno implementato con successo l'approccio giapponese alla produzione, adattandolo al contesto culturale occidentale. L'appellativo *World Class* testimonia quanto centrale sia la ricerca dello stato dell'arte a livello globale, anche attraverso un'intensa attività di *benchmarking* utile a discernere quali siano le pratiche di maggior successo per avvicinarsi ai best performer mondiali.

Il WCM recupera tutti gli aspetti più competitivi dei sistemi di produzione precedenti, applicando concetti come JIT, TPM, TIE e TQM a tutti i processi allo scopo di aumentare le performance industriali, ma senza limitarsi ad incidere sugli indicatori tipici di un'azienda manifatturiera come efficienza, riduzione degli sprechi o livello di servizio al cliente finale, bensì ponendo la dovuta attenzione al modo di lavorare in fabbrica, occupandosi ad esempio anche dell'ergonomia delle postazioni di lavoro e della sicurezza. La fabbrica "moderna" che ne scaturisce è un ambiente molto diverso dal passato e la visita di numerosi stabilimenti FCA testimonia come la situazione sia del tutto differente da quella immaginata dai non addetti ai lavori, con una realtà di fabbrica non solo più efficiente, ma anche più pulita e illuminata, ricca di elementi di *visual management* e, in definitiva, molto più ergonomica per gli operatori che vi

lavorano. L'elemento distintivo che caratterizza la vera novità del WCM, tuttavia, è da identificarsi nell'approccio sistematico all'aggressione di perdite e sprechi, ricercandone le cause radice e agendo quindi sulle loro fonti, con il coinvolgimento di tutti e attraverso l'impiego di metodi e standard ben codificati. Tutto questo è portato avanti con la mentalità del *miglioramento continuo*, *Kaizen* in giapponese, e con la ferma volontà di tendere alla situazione ideale di zero sprechi, zero perdite, zero incidenti, zero scorte, zero fermi macchina e così via. Il cosiddetto *zero concept* è un principio fondamentale del WCM che risulta molto sfidante, perché la situazione "zero" è del tutto ideale, ma esprime un approccio che non accetta nessun compromesso e che mira sempre al meglio.



Figura 2.1 Zero concept

La struttura del WCM, esemplificata in Figura 2.2, è costituita da 10 pilastri tecnici e 10 pilastri manageriali. Ogni *pillar* (pilastro) è suddiviso in 7 *steps* che ne delineano le attività e le diverse fasi, di solito espressione di un approccio prima reattivo, poi preventivo e infine proattivo al miglioramento.

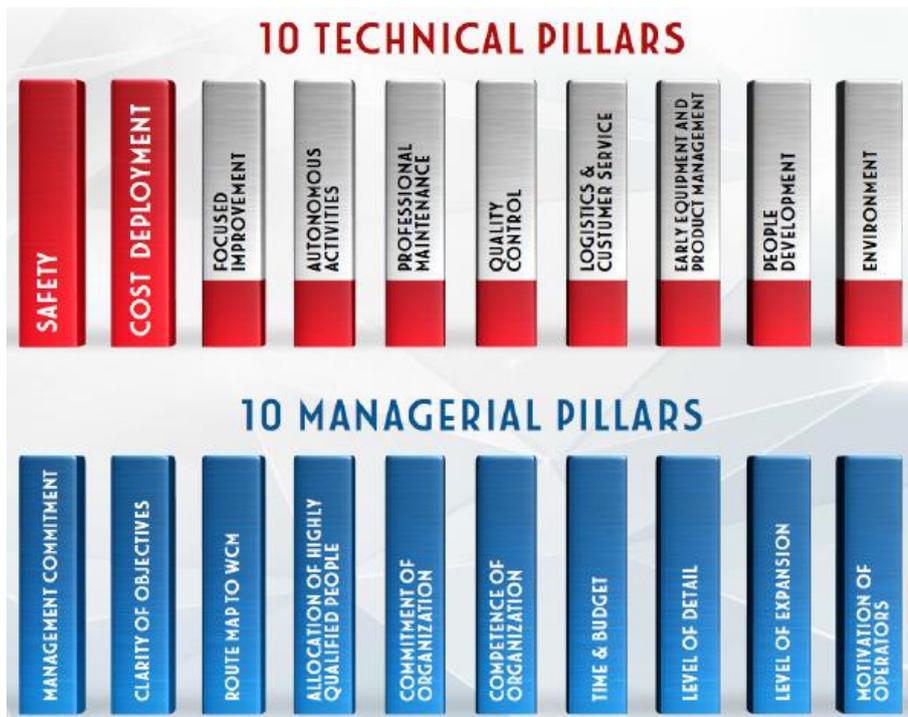


Figura 2.2 Struttura del WCM: i pilastri

Ogni *pillar* ha indicatori specifici detti *Key Performance Indicators* (KPI) e *Key Activity Indicators* (KAI) che caratterizzano l'ambito oggetto dell'analisi e aiutano a misurare e valutare opportunamente l'effettiva efficacia dell'opera di miglioramento delle attività svolte. Complessivamente è proprio nel suo schema semplice e nella struttura e logica ricorrenti, opportunamente declinate in base al campo di utilizzo, che risiede la facilità di diffusione del metodo, che ad un primo approccio può essere descritto come una "standardizzazione del buon senso". Questo aspetto è estremamente importante in quanto, sebbene un saldo *commitment* del *management* sia fondamentale, una delle leve maggiori per l'attuazione efficace del miglioramento è il coinvolgimento di tutti. Valorizzare l'esperienza presente attingendo alle competenze di tutti permette infatti di individuare i problemi tempestivamente laddove accadono, cioè sul campo, e di

risolverli con un apporto impareggiabile di creatività. Il coinvolgimento di tutti al miglioramento costituisce quindi un punto chiave del successo del WCM che diventa una mentalità diffusa che permea tutti gli attori del *manufacturing*, donando un *background* tecnico-culturale e un linguaggio comuni, capaci di diffondere le operazioni di miglioramento non solo all'interno dello stabilimento, ma anche tra i diversi stabilimenti.

Ultimo, ma importantissimo, tassello è la presenza di audit periodici con personale sia interno che esterno, per valutare e attestare i progressi fatti e dare un *feedback* sulle direzioni intraprese dallo stabilimento.

2.2 Il Cost Deployment

Il *cost deployment* è un elemento fondamentale del WCM il cui fine è identificare ed attaccare gli sprechi e le perdite. Questo fine è perseguito con un approccio sistematico e in maniera fortemente strutturata attraverso un set di matrici successive che supportano i diversi passaggi necessari ad implementare il metodo. Ciò che rende questo metodo, e quindi l'omonimo *pillar*, fondamentale è la robustezza con cui guida l'opera di miglioramento continuo attraverso un processo ben definito, atto a identificare le perdite, a prioritizzare quelle di maggiore entità e infine a delinearne in maniera chiara il corretto programma per la loro eliminazione, mettendo in campo tutte le risorse necessarie. Questo approccio costituisce un elemento di novità rispetto ai sistemi di manufacturing precedenti, poiché mette in relazione diretta le attività di miglioramento con i loro benefici in termini di riduzione dei costi e questo permette non solo di essere efficaci nella riduzione di sprechi e perdite, ma anche di ricercare la miglior efficienza attraverso la corretta prioritizzazione degli interventi, la scelta delle più idonee metodologie per attaccare le cause radice da cui le perdite

hanno origine e l'attivazione di tutti gli *asset* necessari, tutto questo tenendo sempre a mente i costi e i benefici delle azioni intraprese.

Prima di passare alla descrizione dei diversi passaggi che costituiscono il metodo è utile definire alcuni concetti di base. Innanzitutto si è parlato fin qui di perdite e di sprechi ed è opportuno definirne la differenza poiché spesso nel linguaggio comune i due termini sono utilizzati come sinonimi. Quando si parla di perdita si intende il non utilizzo efficace di una risorsa, mentre quando si parla di spreco si allude all'utilizzo di una risorsa in quantità eccessiva. In una realtà produttiva una perdita potrebbe essere, ad esempio, un fermo macchina, mentre come spreco si può immaginare un eccessivo consumo di energia. Un esempio più universale, legato all'ambito alimentare, potrebbe essere invece quello del cibo scaduto, che rappresenta una perdita, mentre il cibo avanzato rappresenta uno spreco.

Altro concetto importante è la diversa tipologia delle perdite. Si è detto che il *cost deployment* ha il compito di aggredire le perdite e gli sprechi al fine di migliorare l'efficienza, con conseguente aumento dei margini operativi che conducono ad una situazione di maggior redditività e quindi maggior competitività. In questa ottica il *cost deployment* non solo indica la strada da percorrere, ma suddivide le perdite in tre tipologie. La perdita di tipo A identifica la differenza tra il costo attuale e il costo standard, ovvero quello iscritto a budget secondo lo standard aziendale. Di solito questo tipo di perdita rappresenta tra il 10% e il 20% delle perdite totali e si affronta con un approccio reattivo che individua cosa non sta funzionando e si occupa di correggere la situazione. La perdita di tipo B è definita come la differenza tra il costo standard e il target di costo ipotizzato. Questa perdita identifica quindi una distanza tra gli attuali processi e la situazione ideale di progetto che si è concepita attraverso le tecnologie disponibili. Il peso di questa seconda categoria di perdita è di solito tra il 20% e il 40% del totale e l'approccio per attaccarla è di solito focalizzato ad un'attenta ottimizzazione dei processi. La perdita di tipo C è caratterizzata dalla differenza tra il costo target e il costo ideale, ovvero quello di una situazione

teorica ideale, immaginata, ad esempio, a partire da un benchmark esterno o tramite la valutazione di soluzioni innovative prima non disponibili. Quest'ultima tipologia di perdita, di natura differente rispetto alle altre, può incidere tra il 40% e il 60% sulle perdite totali, anche se la sua effettiva attaccabilità è meno scontata rispetto alle altre e impone interventi più ampi e strutturati come ad esempio un re-design degli impianti o una re-ingegnerizzazione dei processi. Riuscire ad identificare questo tipo di perdita può sembrare poco significativo dato che si tratta di una dimensione di limite difficilmente raggiungibile, ma invece risulta estremamente importante per delineare nuovi orizzonti e permettere di compiere veri e propri salti in avanti nello sviluppo di nuovi processi o prodotti.

Nello specifico dell'applicazione del CD alla logistica queste perdite vengono chiamate rispettivamente *excess loss*, *efficiency loss* e *net loss*.

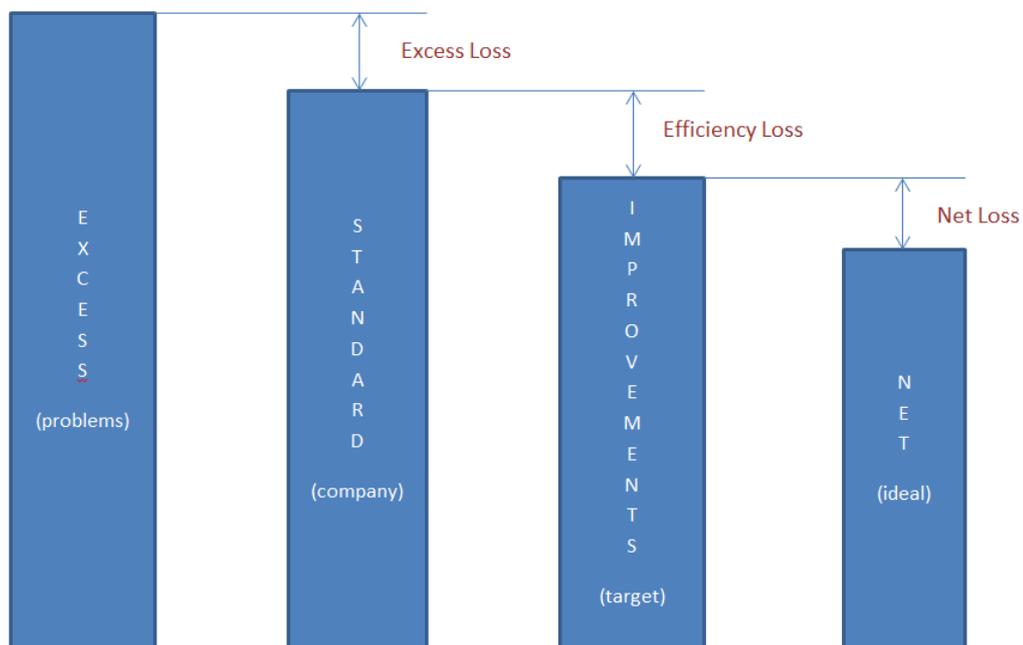


Figura 2.3 Tipi di perdite

Si passa ora ad una descrizione dei diversi passaggi che costituiscono il procedimento del *cost deployment*. Il primo passo è partire dal processo, a livello di una singola macchina o postazione, e compilare una matrice che elenchi le diverse perdite ad essa associate. Per fare questo ci si avvale di ambiti predeterminati che identificano le principali aree in cui ricercare le perdite e che a loro volta presentano sottogruppi utili a condurre un'analisi il più possibile completa, per assicurarsi di non tralasciare nessun aspetto. I principali ambiti valutati sono le perdite derivanti da impianti, manodopera, materiale ed energia. Si compila dunque la matrice A che ha il compito di mettere in relazione le perdite osservate con ogni singolo processo di stabilimento che le ha generate, esprimendo anche un'indicazione qualitativa dell'impatto che hanno. Tale valutazione viene fatta sulla base dell'esperienza e sulla matrice vengono assegnati colori diversi alle singole perdite per permettere a chiunque osservi la matrice di visualizzare facilmente i diversi livelli di impatto, indipendentemente dal suo grado di conoscenza del processo in esame.

Questa prima fase è essenziale, non solo perché caratterizza l'input di dati che proseguiranno nell'applicazione del metodo, ma perché costituisce la base fertile su cui lavorare. Maggiori saranno le perdite identificate, maggiori saranno quelle che possono essere affrontate e risolte. Una migliore capacità di vedere le perdite è generalmente associata a risultati operativi migliori e quindi, citando una frase attribuita al Prof. Yamashina, guru giapponese del *lean manufacturing*, "occorre migliorare la capacità di vedere", superando la tendenza a nascondere o ignorare le perdite, mettendo ogni volta in discussione le proprie sicurezze e accogliendo la sfida della ricerca continua, individuando nuove perdite ad ogni ciclo di *cost deployment*.

Il passaggio successivo è quello di separare le perdite causali da quelle risultanti. È evidente, infatti, che nel caso ci siano perdite che generano altre perdite, occorre agire sulle cause e non sugli effetti. Questo è il compito della matrice B che, partendo dalle perdite identificate dalla matrice A, le divide, presentando

sulle righe quelle causali e sulle colonne quelle risultanti.

È importante a tal proposito sottolineare che non necessariamente una perdita che ne causa un'altra si trova nella stessa porzione di processo, perciò questa valutazione va fatta includendo tutti i processi collegati.

Ottenuta una visione chiara su quali perdite sono presenti, a quali processi o sotto-processi sono associate e in che relazione di causa-effetto sono tra loro si procede con uno dei passaggi chiave del metodo: valorizzare le perdite. In un primo momento si utilizzano tutti i dati di natura tecnica a disposizione, facendo riferimento ai diversi sistemi di gestione della produzione. Tali dati permettono di quantificare le perdite che sono però misurate nelle loro unità di misura fisiche, ovvero, ad esempio, ore, kWh, unità. Il passaggio necessario è dunque trasformare le perdite in costi, la cui unità di misura è il denaro, per poterle confrontare tra loro. Si costruisce a tal proposito la matrice C, nella quale si inseriscono le perdite causali più rilevanti e si incrociano con le voci di costo dello stabilimento. Successivamente, per rendere più visibili i risultati ottenuti e, soprattutto, affrontare un'analisi efficace per prioritizzare le perdite, si passa dalla forma matriciale di presentazione dei dati al Diagramma di Pareto. Il diagramma viene stratificato e proposto a partire dal livello macchina, per poi mostrare i dati aggregati per la linea o UTE associata, per l'unità operativa di appartenenza e infine presentando il diagramma di Pareto delle perdite dell'intero stabilimento.

Terminata la fase analitica del metodo si passa alla fase attiva nella quale, partendo dai risultati ottenuti, si cerca di individuare i metodi migliori per ridurre le perdite principali. La matrice che mette in relazione le perdite con le azioni più appropriate per ridurle è la matrice D. La costruzione di questa matrice prevede in primo luogo l'identificazione del metodo per ridurre le perdite nonché dei vari pillar chiamati in causa a tale scopo. In questa fase il *Cost Deployment* lavora in integrazione con altri pillar e più precisamente con il pillar *Focus Improvement* (FI) per definire gli strumenti più idonei e il pillar *People Development* (PD) che si

occupa di fornire le risorse con le adeguate competenze. Si valuta inoltre in maniera qualitativa quali KPI beneficiranno dell'intervento. Definite queste informazioni diventa necessario stabilire una priorità tra i diversi interventi e per farlo si ricorre ad un indice di priorità denominato ICE, che esprime il grado di attaccabilità di ogni perdita attraverso una valutazione, su una scala da 1 a 5, di *Impact* (impatto), *Cost* (costo) e *Easiness* (facilità), da cui il nome. Per valutare l'*impact* si stima un coefficiente del valore economico della perdita in esame, dove 1 definisce una perdita a basso impatto economico e 5 una a forte impatto. Per quanto riguarda il *cost*, invece, si valutano i costi da sostenere per implementare l'attività di miglioramento, dove un valore basso implica che attaccare la perdita abbia un costo elevato, mentre un valore alto implica un costo ridotto. Infine per quanto concerne l'*Easiness*, si stima la facilità dell'intervento associando valori minori quando è necessario l'utilizzo di tempi e risorse elevati e valori maggiori quando sono sufficienti tempi e risorse più ridotti. Stimati in maniera qualitativa i tre coefficienti si calcola l'indice secondo la formula:

$$ICE = I \times C \times E$$

Ottenuti i valori ICE di tutti i progetti si crea un diagramma di Pareto dell'attaccabilità che mostra chiaramente quali siano le perdite con valore di ICE maggiore. Risulta evidente quanto, poiché le stime qualitative dei singoli coefficienti sono in parte soggette a valutazioni personali, questo strumento poggia le sue basi sull'esperienza nella gestione operativa dei processi che costituisce sempre un bagaglio fondamentale di un'azienda manifatturiera.

Dopo queste valutazioni di massima si passa ad una fase organizzativa maggiormente dettagliata che corrisponde alla creazione della matrice E. Si crea una lista dei progetti inserendo tutti i dati utili, comprese informazioni sul team di persone coinvolto e sui tempi di attuazione. Contestualmente si effettua un'altra valutazione che costituisce un ulteriore punto chiave del metodo e il cui

scopo è valutare la bontà del progetto e la sua effettiva attuabilità sul piano economico: l'analisi dei costi e dei benefici. Con il progetto ormai ben definito si può eseguire una precisa valutazione dei costi, distinguendo i costi iniziali, da sostenere *una tantum* in fase di realizzazione, da quelli che sono i costi a regime. In questa valutazione si tiene conto di tutte le possibili fonti di spesa, compresi il costo del lavoro di tutte le persone coinvolte nell'implementazione e nella messa a regime del progetto nonché eventuali costi di attività di formazione dei lavoratori coinvolti. Allo stesso modo si definiscono con attenzione i benefici attesi e si cerca di stimarli, a partire dal valore delle perdite identificate, in termini economici per poterli confrontare con i costi. Ovviamente non tutti i benefici sono monetizzabili e non per tutti è possibile fare una stima accurata delle cifre coinvolte; si cerca tuttavia di essere il più possibile accurati poiché il valore identificato è molto importante per la valutazione del progetto. Ottenuti questi due dati si procede con il calcolo del rapporto tra i benefici e i costi, valutato su un arco temporale di 12 mesi, per verificare che sia maggiore di 1, ovvero che l'investimento si ripaghi in almeno un anno. Il calcolo nel dettaglio viene fatto a partire dai benefici netti, ovvero sottraendo ai benefici quantificati i costi a regime e utilizzando questo valore per confrontarlo con il costo atteso del progetto. L'analisi del rapporto tra i benefici e i costi è estremamente importante per due motivi: in primis restituisce una gerarchia tra le diverse attività di miglioramento che permette di dare la giusta priorità agli interventi in una situazione di budget non illimitato; in secondo luogo, attua un filtro ai progetti, mettendo in evidenza le loro effettive potenzialità in termini concreti e oggettivi. Non è inusuale, infatti, che in questa fase arrivino progetti che, seppur partiti da una chiara e valida idea di miglioramento, risultano ridimensionati dalla loro reale capacità di aumentare l'efficienza operativa.

L'ultimo passo del metodo, contenuto nella matrice F, consiste nella gestione dei progetti di miglioramento in concreto e in un attento *follow up* che restituisca valori aggiornati in itinere. Ad esempio per quanto riguarda l'analisi

benefici/costi è possibile che si verifichino costi imprevisti in fase di attuazione del progetto o che i benefici attesi non si riescano a raggiungere pienamente. Si prevede dunque un resoconto mensile per assicurarsi che il progetto stia andando avanti nei tempi e con i risultati preventivati, non al solo scopo di controllo, ma anche per valutare se necessario supportare le attività o ri-allocare risorse in corso d'opera.

Tutti i passaggi del *cost deployment* fin qui descritti vengono ripetuti con una cadenza prefissata con frequenza crescente, sia per avere informazioni aggiornate sia perché ad ogni successivo ciclo l'analisi scende più in profondità in seguito alla maggior competenza e consapevolezza guadagnati. Negli ultimi tempi si stanno implementando soluzioni che compilino le matrici iniziali automaticamente, per quanto possibile, e rendano il lavoro più preciso e meno oneroso.

2.3 Safety

Poiché l'input che ha suggerito uno dei progetti di cui si parlerà nei capitoli successivi viene non solo dal CD, ma anche da una questione relativa alla sicurezza, si decide di trattare questo argomento in maniera esaustiva, per esporre la filosofia del relativo *pillar*, ritenuto prioritario nelle gerarchie tra i vari pilastri, come mostrato precedentemente nella Figura 2.2.

Il *pillar Safety* si propone il miglioramento continuo dell'ambiente di lavoro e l'eliminazione di tutte le condizioni che potrebbero generare infortuni. L'obiettivo principale a cui tendere è quindi quello di arrivare ad avere zero incidenti, ma anche di collaborare con il *pillar Workplace Organization* per migliorare l'ergonomia delle postazioni di lavoro, nel tentativo di contrastare anche l'insorgere di eventuali malattie professionali o altre patologie non necessariamente derivanti da incidenti.

La ricerca della sicurezza dei lavoratori parte ovviamente dagli aspetti normativi, con la necessità di adeguarsi alle normative vigenti in materia nei vari paesi in cui si opera, ma è spinta anche da aspetti etici che lo stesso gruppo FCA ha deciso di perseguire con convinzione e con il fondamentale impegno di tutti i livelli del management. Come per altri ambiti del WCM l'attenzione alla sicurezza non è quindi solo funzionale allo svolgimento delle attività senza intoppi o ad evitare problemi legali, ma è anche declinazione della filosofia del miglioramento continuo che tutto pervade e in cui tutti sono coinvolti, che non può prescindere da un ambiente di lavoro sicuro.

Le distrazioni generano incidenti solo qualora avvengano in ambienti pericolosi. Poiché è impensabile che i lavoratori mantengano sempre un grado di attenzione tale da non commettere mai errori, non è sufficiente occuparsi di rimuovere le possibili fonti di pericolo o di renderle il più possibile innocue, ma occorre addestrare le persone ad essere coscienti dei pericoli che li circondano e sensibili rispetto alle situazioni che si possono verificare intorno a loro. La continua diffusione di una cultura della sicurezza e la creazione di competenze adeguate a riguardo sono quindi attività fondamentali se si vuole tendere all'obiettivo zero incidenti.

L'azzeramento degli incidenti passa poi attraverso la misura e l'analisi degli eventi che si verificano. Uno degli strumenti utilizzati per la catalogazione degli incidenti è la piramide di Heinrich di cui è possibile vedere un esempio in Figura 2.4.

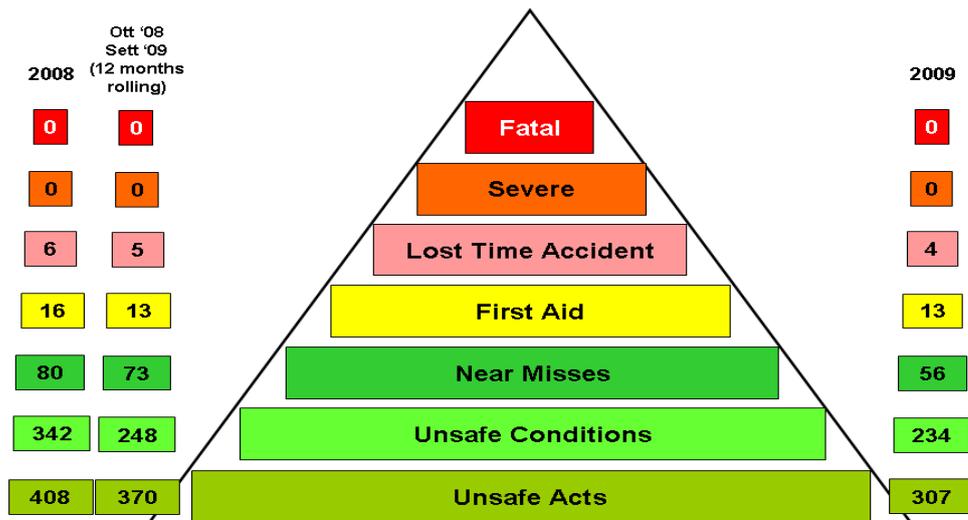


Figura 2.4: Esempio di Piramide di Heinrich

Dopo aver raccolto i dati relativi a numerosi eventi, Heinrich ha dimostrato che per ogni incidente grave avvengono circa 30 incidenti di entità minore e circa 300 eventi catalogabili come mancati infortuni, che non hanno avuto conseguenze in termini di lesioni, ma che di per sé hanno le stesse potenzialità di nuocere degli eventi più gravi. La piramide di Heinrich raggruppa questi eventi in sette differenti livelli di gravità crescente e propone di affrontarli parallelamente, al fine di procedere alla progressiva riduzione degli eventi che si verificano. Questa scelta di orientare le attività di prevenzione in maniera trasversale rispetto ai piani della piramide è fondamentale poiché non sussiste una relazione diretta tra la causa dell'incidente e la sua gravità, essendo le conseguenze spesso casuali e quindi di entità differente a parità di condizioni. Il principio dell'iceberg, poi, evidenzia come le cause che possono generare infortuni sono molteplici e spesso sommerse e difficili da identificare, perciò occorre non trascurare i livelli inferiori della piramide, costituiti dai cosiddetti *unsafe acts* e *unsafe conditions* se si vuole davvero raggiungere l'obiettivo di azzerare gli infortuni.

Non si può pensare tuttavia di eliminare gli incidenti solo attraverso misure reattive poste in essere dopo che gli eventi si sono verificati o attraverso

l'adeguato addestramento del personale in tema di sicurezza, dunque a tale scopo risulta ineludibile una seria e attenta analisi dei rischi. La valutazione dei rischi è condotta in tutte le postazioni di lavoro nonché in tutte le aree dello stabilimento e prevede lo studio delle condizioni di lavoro, senza tralasciare le attività lavorative non di routine, e la valutazione di tutti i comportamenti potenzialmente insicuri che si possono verificare. La stima del livello di rischio è effettuata incrociando due fattori chiave: la gravità (G) del danno nel caso in cui si verifichi l'incidente e la probabilità (P) che esso accada. Per ciascuno di questi fattori è previsto un valore da 1 a 4 con il significato mostrato nella tabella in Figura 2.5.

<u>Gravity:</u>	<u>Probability:</u>
✓ G1 – First Aid	✓ P1 – Very Low Probability to Occur
✓ G2 – Minor Accident (>1 day <3 days)	✓ P2 – Lower Probability to Occur
✓ G3 – Major Accident (>3 days < 30 days)	✓ P3 – Probable to Occur
✓ G4 – Serious Injury, Fatal, Occupational Illness	✓ P4 – Highly Probably to Occur

Figura 2.5: Livelli di G e P

I valori selezionati possono tuttavia essere soggetti alla discrezionalità di chi conduce l'analisi, soprattutto se si tratta di rischi non misurabili, che non si possono ricondurre ad uno standard normativo o tecnico di riferimento. In particolare l'abitudine a considerare certi comportamenti privi di rischio o a sottovalutare alcune fonti di rischio in virtù delle mancate conseguenze verificatesi in passato, contribuisce a diffondere credenze che influenzano la valutazione e che vanno contrastate con l'inserimento di figure professionali adeguate, dotate di formazione specifica in tema di sicurezza, nel team di rilevazione. Stimati opportunamente i valori di gravità e probabilità si procede al calcolo del livello di rischio attraverso l'equazione

$$R = P \times G$$

La situazione risultante, relativa al valore calcolato, è visibile nella matrice di rischio riportata in Figura 2.6, dove vengono evidenziate aree differenti, contrassegnate da diversi colori, per indicare quanto il rischio è accettabile. Questa valutazione viene fatta per ogni possibile mansione, scomponendola nelle attività che la compongono e individuando per ognuna il valore di rischio associato. I valori appartenenti alla zona rossa o arancione non sono accettabili, perciò vanno prese immediate contromisure. Per quanto riguarda la zona gialla, invece, il rischio è tollerabile, ma comunque è opportuno intervenire per ridurre il rischio residuo, dando priorità alle operazioni con livello di rischio maggiore. Nel caso in cui si siano ottenuti due valori uguali si dà priorità all'attività con associato il valore maggiore di probabilità P. I valori che corrispondono all'area verde, infine, vengono ritenuti accettabili, ma è comunque consigliabile monitorare costantemente la situazione.

R	G = 1	G = 2	G = 3	G = 4
P = 1	1	2	3	4
P = 2	2	4	6	8
P = 3	3	6	9	12
P = 4	4	8	12	16

Figura 2.6: Matrice di Rischio

2.4 Alcuni concetti utili

Mentre nei paragrafi precedenti si è scelto di spiegare, seppure in maniera sintetica, alcuni *pillar* tecnici, per consegnare una visuale completa sulla filosofia che li contraddistingue, si inseriscono ora alcuni concetti utili, che verranno utilizzati nello sviluppo dei progetti. Questi concetti sono contenuti nei rispettivi *pillar* di riferimento, ma risultano trasversali, perciò si decide di trattarli singolarmente. Il motivo di questa scelta risiede anche nel fatto che si tratta di contenuti conosciuti e utilizzati largamente nella realtà industriale, anche al di fuori delle aziende che applicano il WCM, e che non si fa riferimento a nessuno dei *tool* specifici del relativo *pillar*. In questo modo si tiene fede alla premessa fatta all'inizio del capitolo di richiamare solo gli strumenti coinvolti nello sviluppo dei progetti, tralasciando contenuti molto validi, ma che non sono intervenuti direttamente nel lavoro svolto ed evitando così di appesantire la trattazione.

Il primo concetto è quello di *Takt Time* (TT) definito come il ritmo della produzione necessario per soddisfare la domanda proveniente dal mercato. Il suo valore è ottenuto mediante la formula

$$TT = \frac{\text{Tempo Totale Disponibile (al giorno)}}{\text{Numero di Pezzi Richiesti dal Cliente (al giorno)}}$$

L'adeguata stima di questo tempo è un importante passo per gestire al meglio le attività di fabbrica in accordo con l'effettiva capacità di assorbimento del mercato, evitando di far perdere soldi all'azienda. A questo concetto si aggiunge quello di Tempo Ciclo Totale (TCT), ovvero il numero di ore di lavoro necessarie al completamento del prodotto, fattore strettamente legato al processo. Confrontando i due tempi si possono fare alcune valutazioni interessanti. Ad

esempio, utilizzando il tempo ciclo manuale totale, è possibile calcolare il numero di operatori necessari, ottenuto secondo la relazione

$$\text{Numero di Operatori} = \frac{\text{Tempo Ciclo Manuale Totale}}{TT}$$

Con riferimento alla Figura 2.7, che mostra un esempio di sequenza di operazioni di linea con i relativi tempi ciclo, si aggiungono poi altri due concetti chiave. Si osserva innanzitutto, in colore grigio, una zona dei tempi disponibili non interessata da alcuna attività. Questa area rappresenta la dissaturazione, ovvero la differenza tra il *takt time* ed il tempo di ciclo di linea, determinato dal tempo di ciclo dell'operazione "collo di bottiglia", cioè quella caratterizzata dal tempo ciclo maggiore. Altro concetto chiave osservabile è quello dello sbilanciamento, evidenziato in viola in figura, che identifica la differenza tra il tempo ciclo dell'operazione *bottleneck* e il tempo ciclo della singola operazione in esame. Dall'analisi della dissaturazione e dello sbilanciamento si possono trarre preziose conclusioni al fine di ottimizzare i processi di produzione.



Figura 2.7 Esempio di saturazione di linea

Analizzando le singole operazioni, si osserva poi (Figura 2.7) che le azioni contenute nel processo non sono tutte uguali. Il processo produttivo prevede infatti tre differenti tipologie di attività che vanno a comporre il tempo ciclo della singola operazione:

- Attività a Valore Aggiunto (VAA): sono le attività che realmente trasformano e aggiungono valore al prodotto; ad esempio operazioni di assemblaggio, avvitare, spalmare il sigillante.
- Attività a Semi Valore Aggiunto (SVAA): sono attività necessarie allo svolgimento delle VAA, che però di per sé non aggiungono valore al prodotto; ad esempio prelevare il componente dal contenitore, prendere un utensile, posizionare il componente nella giusta posizione prima di procedere al fissaggio.
- Attività a Non Valore Aggiunto (NVAA): attività inutili e non necessarie allo svolgimento delle VAA, che non aggiungono alcun valore al prodotto;

ad esempio camminare per raggiungere il contenitore con il componente, cercare un attrezzo, girare il pezzo per orientarlo correttamente.

Il problema con le NVAA è che sono attività che fanno parte del processo, per come esso è concepito, ma impegnano risorse produttive per il quale utilizzo il cliente finale non è disposto a pagare, poiché non portano alcun beneficio sul prodotto. Il soggetto che paga il costo di queste attività è l'azienda, senza potersi rivalere sul consumatore in termini di prezzo, perciò si tratta di un vero e proprio spreco sul quale intervenire.

A tale proposito il *pillar* WO prevede un'operazione di bilanciamento della linea, con il preciso scopo di eliminare le perdite per dissaturazione e sbilanciamento. Il primo passo è attaccare le NVAA rielaborando il processo. A seguito di questa operazione i tempi ciclo delle singole operazioni interessate sono necessariamente diminuiti e si crea la possibilità di spostare alcune attività da un'operazione all'altro. Per chiarire meglio i risultati ottenuti si mostrano in

Figura 2.8 i tempi ciclo prima dell'intervento, da confrontare con i tempi ciclo dopo l'eliminazione delle NVAA rappresentati in Figura 2.9.

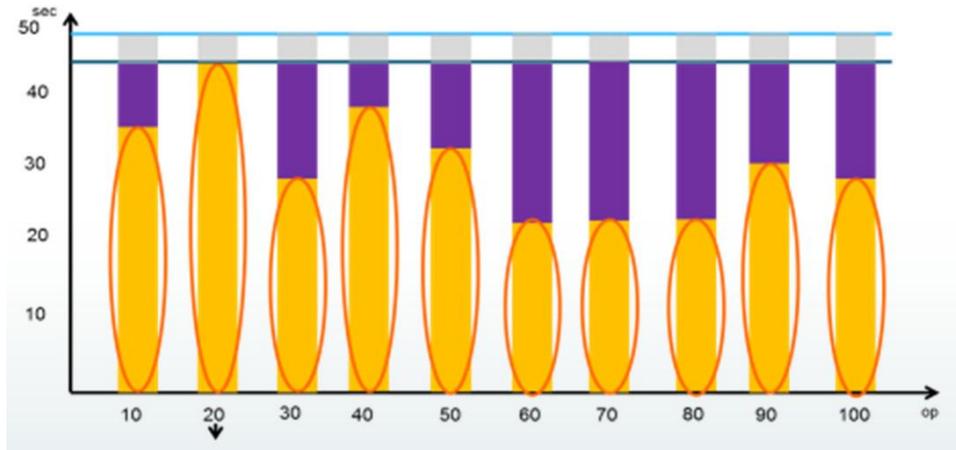


Figura 2.8 Tempi ciclo prima dell'intervento di riduzione delle NVAA

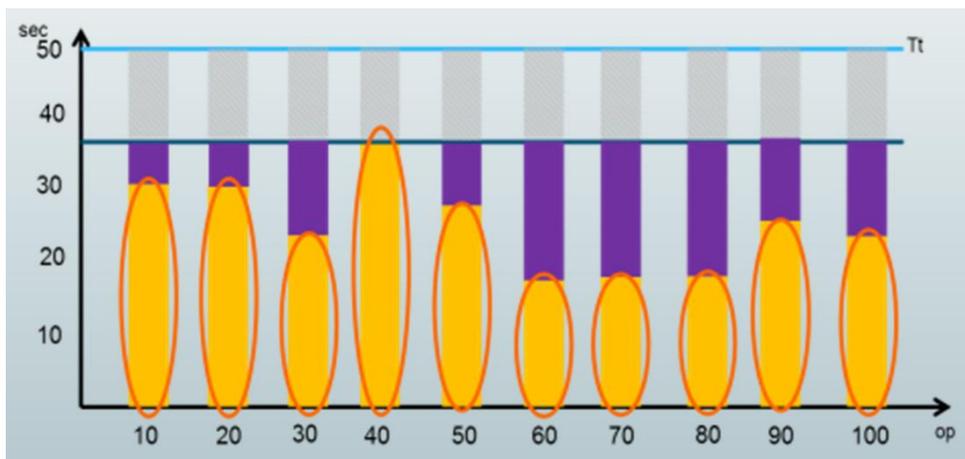


Figura 2.9 Tempi ciclo dopo l'intervento di riduzione delle NVAA

A questo punto è possibile lavorare al bilanciamento delle operazioni, trasferendo le attività tra gli operatori. Il risultato permette non solo di ridurre le perdite per dissaturazione e bilanciamento, ma è anche possibile porti a dissaturare completamente alcuni operatori, liberando risorse produttive da impegnare in altre attività. Gli effetti di questa iniziativa sono bene evidenziati in Figura 2.10 dove si vede chiaramente come i cicli di lavoro siano stati completamente rielaborati e come le perdite siano state sensibilmente ridotte.

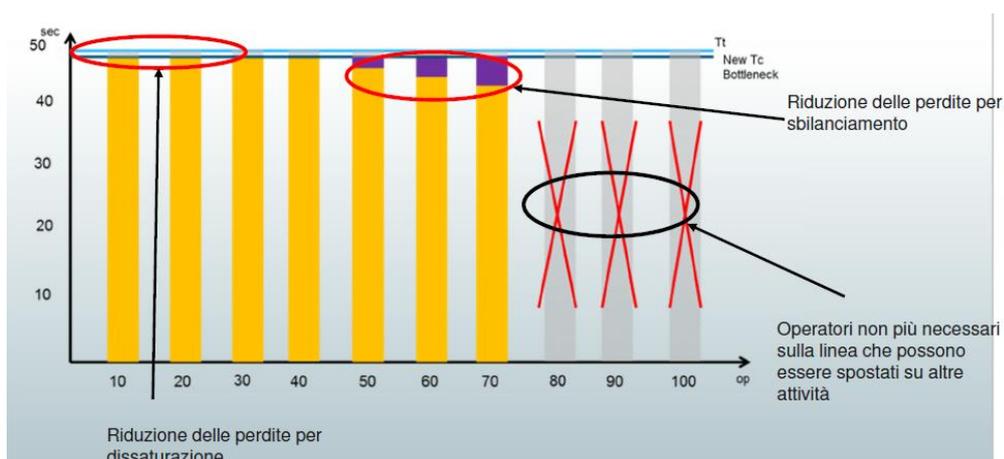


Figura 2.10 Ri-bilanciamento ed eliminazione operatori non più necessari

I concetti appena descritti sono stati applicati alla realtà di linea, attinente principalmente al *pillar Workplace Organization (WO)*, ma possono essere usati in qualsiasi ambiente *labour intensive*, cioè ad alto contenuto di manodopera, per cui sono utilizzati anche in logistica, ambito in cui si sviluppa questo lavoro di tesi, ed interverranno direttamente in uno dei progetti contenuti nei capitoli successivi.

Un'ultima considerazione riguarda alcuni concetti contenuti nel *pillar Quality Control (QC)* che riguardano la classificazione delle contromisure da applicare per evitare difetti sui prodotti finiti. L'obiettivo principale del *pillar QC* è infatti quello di tendere alla situazione di zero difetti. Uno dei concetti fondamentali è la cosiddetta *first time quality*, cioè la qualità al primo colpo, che prevede di intervenire sui processi produttivi per ridurre o se possibile eliminare l'eventualità che il difetto sia generato. La lotta ai difetti si porta avanti con diversi strumenti agendo sul processo e tenendo in considerazione le 4M (*Man, Machine, Material, Method*) per lavorare in maniera adeguata sui diversi elementi da cui il difetto può provenire. Rispetto all'elemento umano, la causa dell'errore può derivare dalle capacità professionali, da cattive abitudini dei singoli operatori, da mancanza di attenzione dovuta a fattori personali come sovraffaticamento, problemi di salute, preoccupazioni, stress o essere il risultato di un'incomprensione o di un errore di giudizio. Per far fronte a queste cause, oltre ad una corretta e costante formazione e al miglioramento delle operazioni, si agisce di solito in due fasi diverse. Si divide quindi il problema in due parti: si parla di *occurrence*, cioè della possibilità che il difetto sia generato, e di *release*, cioè della possibilità che il difetto non sia identificato e quindi corretto. Le implementazioni che reagiscono all'*occurrence* eliminando le cause che generano il difetto sono definite *fool proof* secondo lo standard utilizzato in EMEA e *mistake proof* secondo lo standard di controllo utilizzato in NAFTA, che fa riferimento alle indicazioni fornite dall'*Automotive Industry Action Group (AIAG)*. Le azioni che invece intervengono per evitare che il difetto generato non

sia identificato e che quindi rimanga presente sul prodotto definite *error proof*. Come già visto in altri casi nel corso di questo capitolo, i concetti relativi alla qualità qui definiti possono essere generalizzati e risultare utili nello sviluppo dei progetti per descrivere l'impatto che hanno i sistemi studiati sul problema identificato che genera la perdita che si è deciso di attaccare.

3 Industria 4.0

3.1 Introduzione all'Industria 4.0

Il termine Industria 4.0 è stato utilizzato per la prima volta nel 2011 in Germania all'*Hannover Messe*, fiera di rilevanza mondiale in cui vengono presentate nuove tecnologie e visioni sul futuro della realtà industriale, fa riferimento ad un nuovo modello di produzione e gestione che promette di condurre ad una importante trasformazione del mondo industriale, con significative ripercussioni di carattere economico, ma anche sociale, che giustificano l'allusione, contenuta nel nome, ad una quarta rivoluzione industriale.

Tutte le precedenti rivoluzioni industriali sono state caratterizzate dall'incontro tra condizioni particolarmente favorevoli, nate dai mutati scenari socioeconomici, e l'avvento di tecnologie in grado di rispondere alle nuove esigenze con conseguente rapida evoluzione della realtà non solo industriale, ma anche economica e soprattutto sociale.

La prima rivoluzione industriale ha avuto inizio alla fine del XVIII secolo, in un contesto di forte crescita demografica che ha da un lato aumentato la richiesta di beni e dall'altro messo a disposizione una quantità ingente di manodopera. È stata resa possibile dall'avvento del motore a vapore che ha fornito alle fabbriche una fonte di energia abbondante e flessibile, che ne ha sostenuto la meccanizzazione e permesso la diffusione, eliminando i vincoli legati alla disponibilità nelle vicinanze di fonti naturali di energia come corsi d'acqua e vento. Il motore a vapore ha inoltre rivoluzionato il mondo dei trasporti con l'avvento del treno, permettendo di spostare con relativa facilità le materie prime necessarie per la produzione.

La seconda rivoluzione industriale ha avuto luogo a cavallo tra il XIX e il XX secolo ed è stata caratterizzata dalla definitiva incoronazione dell'industria come realtà

principale nello sviluppo delle economie avanzate, portando ad un significativo aumento dei capitali investiti in questo settore. Si tratta di un periodo di grandi scoperte scientifiche che si traducono in una forte innovazione tecnologica la cui spinta porta alla diffusione dell'elettricità e della chimica industriale e al conseguente utilizzo di nuove materie prime come il petrolio e l'acciaio. La trasformazione è completata nei primi decenni del '900 con la razionalizzazione produttiva che coinvolge risorse e lavoratori, culminata con l'avvento della catena di montaggio, che permette il passaggio alla produzione di massa, aumentando la produttività e riducendo tempi di produzione e costi unitari.

La terza rivoluzione industriale inizia poco più tardi, in piena guerra fredda, e uno dei fattori trainanti è la contrapposizione tra blocchi di paesi che si fronteggiano per affermare la loro supremazia dopo le due guerre mondiali, dando vita ad un periodo di violenta competizione a distanza. Di conseguenza il settore in cui inizialmente sono investite le maggiori risorse e da cui partono moltissime innovazioni tecnologiche è proprio quello militare, ma le ricadute sono numerose in tutti gli altri ambiti. I nuovi campi di sviluppo sono l'elettronica, le telecomunicazioni e l'informatica. L'invenzione del transistor (1947) permette la miniaturizzazione delle unità logiche necessarie al funzionamento dei calcolatori e la successiva diffusione dei primi personal computer (1975) offre una miriade di nuove opportunità di gestione, di calcolo e di comunicazione. L'elettronica permette anche lo sviluppo dell'automazione con la nascita delle macchine a controllo numerico e successivamente dei robot industriali. La corsa allo spazio culminata nell'iconico sbarco dell'uomo sulla luna (1969) porta in dote nuove conoscenze che permettono la diffusione dei satelliti; questi ultimi insieme alla nascita del web (1991) cambiano radicalmente le telecomunicazioni abbattendo quasi del tutto le distanze globali, già precedentemente ridotte dall'evoluzione dei mezzi di trasporto nella prima metà del secolo. Infine dagli ordigni nucleari, che avevano pesantemente modificato la percezione dell'uomo circa le sue potenzialità di incidere sulla salute del pianeta, si passa allo sviluppo dell'energia nucleare e si ricercano anche nuove fonti di energia alternative, denominate

rinnovabili, poiché prende via via piede il dibattito sul problema dell'inquinamento e della sostenibilità.

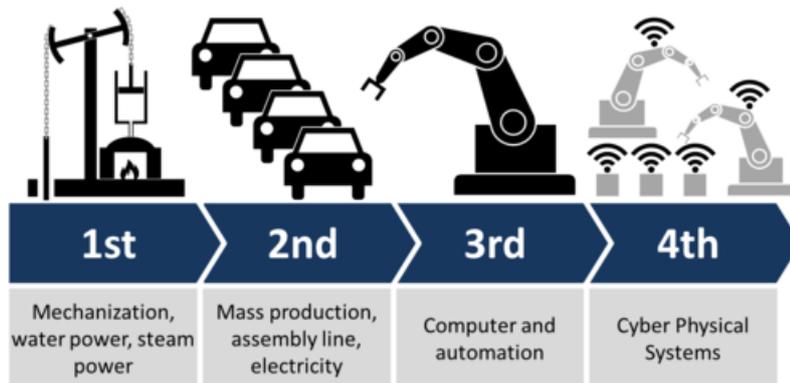


Figura 3.1 Le 4 rivoluzioni industriali

Lo sviluppo di automazione e computer nel corso degli anni ha generato una mole via via più importante di dati mentre lo sviluppo di sistemi di programmazione esperti, sin dagli anni '70, hanno reso disponibili nuove potenzialità di calcolo. Questi ingredienti hanno trovato un catalizzatore comune nei sistemi di connettività estesa che vedono nel sistema militare statunitense ARPANET del 1969 il progenitore del sistema Internet degli anni 80. Ecco quindi che il primo ecosistema cibernetico è venuto a crearsi in maniera evolutiva incontrando le necessità del mondo industriale e creando tutti i presupposti di quella che oggi chiamiamo quarta rivoluzione industriale. Parlarne in maniera esaustiva è ancora complicato poiché, sebbene largamente teorizzato e ampiamente discusso, si tratta di un tema contemporaneo, di una trasformazione attualmente in atto che è ancora nelle sue prime fasi; ha ancora i caratteri tipici di una tendenza, di una prospettiva futura che ancora deve mostrare il suo potenziale, di un'attitudine dell'industria, piuttosto che di una strada chiara e definita il cui solco è ormai tracciato. Questa condizione porta

molta confusione sui confini di ciò che è rappresentativo della quarta rivoluzione industriale, anche negli stessi addetti ai lavori.

Innanzitutto parlare di Industria 4.0 significa focalizzarsi sul concetto di *smart factory* che si basa a sua volta su tre aspetti fondamentali.

Il primo è costituito dalla *smart production* alla cui base c'è la collaborazione incrociata tra equipaggiamenti, macchinari ed operatori. Un'idea di fabbrica interconnessa nella quale vengono raccolte informazioni sul campo, che sono rese accessibili a tutti i sistemi e sottosistemi e che vengono selezionate e lavorate secondo logiche e algoritmi per supportare il processo decisionale fino ad arrivare a scelte autonome.

Il secondo è rappresentato dagli *smart services* cioè da tutte le strutture e tecniche informatiche che garantiscono l'integrazione e la collaborazione, estesa a tutta la catena del valore in un'ottica di fornitore e cliente.

Il terzo e ultimo è ricoperto dalla *smart sustainability* in cui l'attenzione è volta agli aspetti legati al consumo dell'energia e alla sostenibilità nell'utilizzo di tutte le risorse in termini di completo ecosistema.

La chiave di volta dell'Industria 4.0 per supportare la nuova realtà di fabbrica che si viene così a configurare è il *cyber-physical system* (CPS) cioè un sistema interconnesso e distribuito che interagisce in modo diretto e dinamico con il mondo reale. A questo tipo di sistema si richiede di affiancare agli oggetti fisici delle rappresentazioni digitali gemelle (*digital twin*) che possano eventualmente evolvere, se necessario con diversa scala temporale e spaziale, secondo modelli appropriati, e che possano quindi affrontare scenari differenti fornendo in tempo utile valutazioni difficilmente ottenibili per altra via.

L'architettura di tali sistemi è pertanto basata sulle tre diverse fasi operative richieste: acquisizione dei dati attraverso opportuni sensori o punti di immissione dati, selezione, computazione e aggregazione dei dati attraverso il largo utilizzo di sistemi decentralizzati di tipo *embedded*, cioè destinati a specifiche funzioni, e comunicazione su un *network* stabile e sicuro attraverso il quale questi sistemi

possono interagire condividendo dati tra loro e, qualora fosse necessario, con centri decisionali centralizzati.

L'industria 4.0, tuttavia, va oltre i confini della sola realtà di fabbrica e non si limita a teorizzare uno *smart manufacturing*, ma anche altri concetti come *smart products* e *smart services*, nonché a stimolare la nascita di nuovi modelli di business, evitando di approcciarsi a questi nuovi strumenti come un mero aggiornamento del *toolkit* operativo, ma ricercando nelle nuove opportunità a disposizione un modo nuovo di pensare e gestire la realtà aziendale.

Provando a generalizzare i concetti fin qui descritti per delineare i diversi ambiti di evoluzione caratterizzanti la quarta rivoluzione industriale, come fatto per le precedenti, si osservano quattro macro aree di sviluppo. La prima è quella legata all'acquisizione degli input che vengono dal dominio del reale. Raccogliere informazioni attraverso sensori, ma anche attraverso dispositivi del cosiddetto *Internet of Things* (IoT), di per sè già in grado di elaborare i dati, piuttosto che attraverso feedback provenienti dal mercato genera un'ingente mole di dati a cui spesso ci si riferisce col termine di *big data*. Indubbiamente in questo "oceano" di dati sono nascoste informazioni molto preziose che vanno però "pescate", attraverso un'opera di organizzazione e selezione, alla ricerca dei dati utili e significativi per l'analisi in atto. Questa operazione, che richiede risorse di memorizzazione e computazionali, nonché criteri specifici ben congeniati, viene spesso definita *data analytics*. Una volta raccolti i dati occorre utilizzarli in maniera corretta e l'Industria 4.0 si concentra molto sul concetto di intelligenze decentrate e interconnesse per svolgere questo compito. In questo ambito si trovano lo sviluppo dei sistemi *embedded* già citati, progettati appositamente per svolgere funzioni specifiche, ma anche il *machine learning*, ovvero l'attitudine delle macchine, dotate di opportuni algoritmi, ad auto-apprendere empiricamente utilizzando i dati disponibili per implementare autonomamente logiche di gestione più efficienti. Il terzo orizzonte evolutivo è invece incentrato sull'interazione tra l'uomo e la macchina e al suo interno si trovano lo sviluppo di robot collaborativi che lavorino in sicurezza a fianco degli operatori, la

progettazione di esoscheletri che potenzino, laddove necessario, le capacità umane e l'implementazione di sistemi di realtà aumentata che assistano il lavoratore nello svolgimento delle sue mansioni. Infine l'ultima macro area di sviluppo riguarda l'*additive manufacturing*, ovvero un insieme di tecnologie in grado di produrre particolari non in maniera sottrattiva, come le tecnologie di lavorazione classiche, ma attraverso l'aggiunta di materiale, con riduzione dei costi e dei tempi di produzione.

3.2 Industria 4.0: cos'è e cosa non è

Nel precedente paragrafo si è tentato di offrire una visione generale della quarta rivoluzione industriale, provando a delinearne i confini e elencando i diversi ambiti in cui sono focalizzati gli sforzi che ne caratterizzano l'innovazione. In questo paragrafo si cerca di raggiungere una maggiore chiarezza entrando nel merito e descrivendo alcuni contenuti fondamentali.

Prima di fare ciò si ritiene però necessario correggere alcuni errori comuni che riguardano il tema Industria 4.0 e che generano confusione e fraintendimenti anche e soprattutto tra gli addetti ai lavori.

Innanzitutto ricorrere all'Industria 4.0 non significa necessariamente muoversi verso crescenti livelli di automazione. È innegabile che l'automazione sia una tendenza dell'industria nella misura in cui sostituisce l'uomo per compiti gravosi o pericolosi, o permette un talvolta irrinunciabile innalzamento della qualità dei processi o della quantità delle merci producibili, ma questo non rientra nel perimetro dell'Industria 4.0. Quest'ultima in parte guarda all'automazione come mezzo per raggiungere i suoi scopi, ma non ne fa una bandiera né la identifica tra le sue finalità. In questo senso il ricorso anche a tecnologie che assistono e non sostituiscono il lavoro dell'operatore come robot collaborativi, esoscheletri e dispositivi di realtà aumentata esprime questo concetto. Questo non significa che la realtà industriale non ricorrerà ad una sempre maggiore automazione, ma

semplicemente rende in parte indipendenti due percorsi sostanzialmente paralleli.

Parlare di Industria 4.0 non significa poi inserire nuove tecnologie allo stato dell'arte, né necessariamente attuare un *pushing* tecnologico che porti sul mercato tecnologie avveniristiche. La novità sta nel modo di utilizzare e di gestire la tecnologia presente e se da un lato sono coinvolte innovazioni recentissime è anche previsto l'impiego di soluzioni che hanno ormai decenni e che presentano un elevato livello di maturità. Alcuni esempi notevoli possono essere gli *Automated Guided Vehicle (AGV)*, i sistemi basati sulla *Radio-Frequency Identification (RFID)* o le stesse tecnologie di *additive manufacturing* già precedentemente citate. Ovviamente affermare che tali tecnologie abbiano raggiunto un elevato livello di maturità non significa dire che la loro evoluzione sia ferma, ma al contempo non ci si può riferire a queste ultime come tecnologie innovative in quanto presenti sulla scena oramai da lungo tempo.

Ulteriore inesattezza riguardo l'Industria 4.0 è ridurla ad un ricorso massiccio a software di simulazione virtuale supportati da adeguate infrastrutture. Come spiegato nel paragrafo precedente a proposito dei *cyber-physical systems*, sebbene sia innegabile l'intenzione di ricorrere ad una *virtual factory*, che costituisce un gemello digitale della fabbrica vera e propria, il suo utilizzo è diretto e dinamico ed è caratterizzato da continui *feedback* scambiati con il mondo fisico; non si può quindi parlare di simulazione in senso tradizionale, poiché tutte le valutazioni avvengono in *real time* e in costante contatto con cosa accade nel dominio del reale. Inoltre, per quanto scritto fin qui, sarebbe comunque inesatto ridurre il complesso insieme di novità proposte ad un mero ricorso al mondo del virtuale, dimenticando il vero cuore di questa rivoluzione, caratterizzato, in estrema sintesi, da connettività e interazione, come si vedrà in diverse direzioni che vanno oltre la sola dimensione di fabbrica.

Entrare nel merito dell'Industria 4.0 passa necessariamente attraverso la descrizione delle cosiddette *Key Enabling Technologies (KET)*, ovvero l'insieme

delle tecnologie abilitanti che rendono possibile il cambiamento. Nonostante i diversi orientamenti delle diverse realtà nazionali, che danno vita a diversi accenti nell'implementazione dell'Industria 4.0, come il *manufacturing approach* europeo e il *customer related approach* americano, sono universalmente riconosciuti 9 ambiti di sviluppo fondamentali (Figura 3.2). Si preferisce parlare di ambiti di sviluppo piuttosto che di tecnologie, poiché si tratta di un insieme di cose tra loro molto eterogenee, che comprende oggetti fisici o architetture di sistema ben definite, ma anche concetti più generici e non ancora ben definiti.

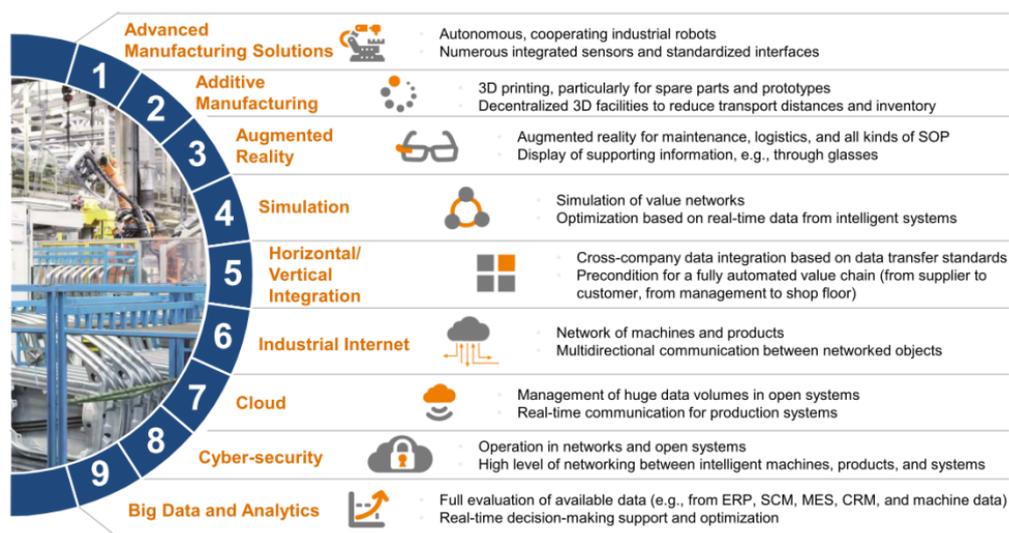


Figura 3.2 Le 9 Key Enabling Technology

Inizialmente 5 KET sono state selezionate e codificate in Germania, paese con una forte vocazione manifatturiera, e pertanto risultano particolarmente interessanti per l'Italia, secondo paese manifatturiero europeo, che le ha recepite nella versione ampliata a 9 proposta da *Boston Consulting Group* (BCG) e inserite *tout court* nel Piano Industria 4.0 presentato dal Ministero per lo Sviluppo Economico (MISE). Sono presenti, inoltre, in forme opportunamente

adattate ai diversi contesti, in molti dei piani industriali nazionali come l'*Industrie du futur* francese, il *Catapult* inglese o altri piani europei e non.

Di seguito si approfondisce il contenuto dei 9 driver tecnologici, fornendo anche alcuni esempi.

1. *Advanced Manufacturing Solutions*: con questo termine ci si riferisce all'utilizzo dei robot industriali, già largamente impiegati da moltissime industrie manifatturiere, ma per cui ora si intravedono nuovi interessanti orizzonti.

La loro evoluzione non riguarda solo il naturale miglioramento delle prestazioni e la riduzione dei costi, ma nuove opportunità di sviluppo in una direzione di maggiore autonomia, flessibilità e capacità di cooperare, tra di loro e con gli operatori umani. Il paradigma dell'Industria 4.0 basato sull'interconnettività trova un valido alleato in robot che possono lavorare insieme, condividendo informazioni tra loro e interagendo con i sistemi di controllo della produzione, permettendo dinamiche adattive che ricercano il miglior approccio in ogni situazione e garantiscono elevata flessibilità. Un enorme campo di sviluppo è quello dei cosiddetti robot collaborativi. Negli stabilimenti i robot attualmente utilizzati sono confinati in aree apposite e lavorano in opportune celle per evitare interferenze e garantire la sicurezza. Nell'industria dell'*automotive*, oggetto di questo lavoro di tesi, ad esempio, sono utilizzati in zone specifiche e si occupano prevalentemente di lastratura e verniciatura, con l'interazione umana limitata al caricamento/scaricamento del materiale e alla gestione da terminale.

Prevedere robot che possono invece superare questo isolamento e lavorare efficacemente a fianco degli operatori umani porta ad una radicale trasformazione della fabbrica in un ambiente più fluido e dinamico, aprendo la strada a livelli di flessibilità finora impensabili. Le tecnologie di cooperazione per ora si sono concentrate sugli aspetti relativi alla sicurezza e sul rendere l'interazione uomo-macchina il più possibile naturale, lavorando anche sulla percezione di fiducia nelle funzionalità della macchina. Per far questo i *co-workers* robotici, chiamati *cobot*, ricercano comportamenti caratterizzati da

velocità compatibili con la presenza umana, traiettorie morbide e prevedibili, movimenti e forme non ostili e contatti con cedevolezza che aiutano l'operatore a percepire l'agente robotico come un valido aiutante con cui collaborare e non come un'entità da guardare con sospetto e timore.

Il tema dell'interazione sicura e intuitiva è fondamentale per rendere i robot una risorsa attivamente partecipe di processi in ambienti condivisi, superando le resistenze e le paure degli attori umani con cui si trovano a operare. L'interazione uomo-robot va perciò studiata con la dovuta attenzione e avviene a vari livelli: in primis quello fisico, in cui c'è contatto o scambio di forze tra i due partner. A questo proposito si può citare la manipolazione congiunta in cui il robot può ad esempio essere "addestrato", guidando fisicamente il movimento che poi la macchina può ripetere in autonomia, ma anche occasioni di manipolazione concorrente delle stesse parti, per grossi carichi o posizionamenti che agevolino il montaggio. In questo tipo di operazioni il manipolatore deve assicurare la totale incolumità dell'operatore e sono previsti sistemi con *skin* sensibili o controllo corrente sugli assi, per rallentare o fermare il movimento, qualora si ritenga necessario per interventi discrezionali di processo o d'emergenza, semplicemente ostruendo la traiettoria del robot.

Il secondo livello di interazione è quello funzionale, in cui è coinvolta una diversa organizzazione degli spazi produttivi che prevede una concorrenza di attività tra uomo e macchina. Questo può avvenire in modalità in serie, con operazioni produttive in cui i due attori si alternano, o in parallelo, con operazioni indipendenti, ma congiunte.

Infine l'ultimo livello è di tipo cognitivo, laddove sia previsto un certo grado di interpretazione del contesto e di discrezionalità. Fondamentale a questo proposito la mutua trasparenza di intenti tra i due diversi agenti, ottenibile solo con un corretto trasferimento di attività e informazioni a favore della macchina, che permette una migliore esperienza d'uso, maggiore flessibilità e riduzione dei tempi di esecuzione e riorganizzazione dei compiti. Quest'ultima caratteristica risulta particolarmente interessante visto il contesto di lavoro mutevole, nel

quale il *machine learning* può rispondere in maniera significativa al cambiamento, permettendo di raggiungere in tempi modesti una valida ottimizzazione del nuovo processo. Tuttavia l'intervento per ottenere una buona interazione in tal senso non è solo legato al singolo robot destinato alla specifica attività, ma va ricercato anche a livello di sistema, lavorando sulla corretta architettura che permetta l'accesso a tutte le singole informazioni generate localmente, in maniera distribuita e condivisa e in contatto diretto e costante con tutto il complesso di gestione della produzione.

La robotica così concepita può generare un impatto molto positivo sugli stabilimenti portando, oltre all'inseguito aumento di efficienza e di flessibilità del sistema produttivo, anche ad una valorizzazione del capitale umano impegnato nelle fabbriche. I robot collaborativi potranno infatti migliorare l'ergonomia delle postazioni di lavoro liberando gli operatori dai compiti eccessivamente gravosi, ma anche consentire l'esecuzione di operazioni ad alto valore aggiunto combinando le performance dei robot con le capacità di azioni complesse e di adattamento al contesto tipiche della natura umana.

Un esempio di robot collaborativi già presenti sul mercato sono lo YuMi dell'ABB, dotato di due braccia e specificatamente concepito per operazioni di assemblaggio, l'Aura della Comau, dotato di polso cavo in cui inserire diversi strumenti e di una significativa capacità di carico e elevato sbraccio, oppure, parlando di robot di taglia più contenuta, il LBR iiwa della Kuka, ma è ormai possibile trovare esempi nei portafogli prodotto di tutte le grandi case di robot industriali.

Sebbene i robot collaborativi siano i principali attori di questo *cluster* tecnologico, non sono tuttavia gli unici e un altro elemento da non trascurare relativo alle *advanced manufacturing solutions* è rappresentato da AGV di nuova concezione che non solo non utilizzano più tracce a pavimento o riferimenti ottici appositi, ma sono in grado di ottimizzare i percorsi dinamicamente per raggiungere la migliore efficienza adeguandosi alla situazione.

Infine è molto valido il giudizio espresso nel documento "Approfondimento sulle

tecnologie abilitanti Industria 4.0” (Assolombarda, 2016) riguardo l’utilizzo di tali strumenti nell’ambito del contesto industriale italiano:

“I vantaggi offerti dai sistemi robotici collaborativi sono particolarmente rilevanti per l’industria italiana. Essa infatti è costituita per la maggior parte da piccole e medie imprese la cui capacità competitiva è basata sulla flessibilità e capacità di customizzazione, che consente loro di fornire soluzioni personalizzate sulla base delle esigenze dei clienti. Tali imprese necessitano di sistemi in grado di supportare in maniera efficiente produzioni su commessa, ad altro valore aggiunto e caratterizzate da notevole variabilità.” (Assolombarda, 2016)

2. Additive Manufacturing: le tecnologie meccaniche tradizionali prevedono la produzione di pezzi finiti mediante processi sottrattivi, cioè attraverso la rimozione di materiale da un prodotto grezzo ottenuto per fusione o da un semi-lavorato . Un nuovo stimolo alla produzione è dato da tecnologie che invertono l’approccio avvalendosi di metodi di produzione basati su processi additivi, cioè con apporto di materiale. Il concetto di base è quello di aggiungere *layer* successivi in maniera opportuna fino al raggiungimento del pezzo finito.

L’idea non è particolarmente recente e alcune di queste tecnologie risalgono agli anni ’80-’90, nei quali sono nate per esigenze di prototipizzazione rapida, cioè per ridurre tempi e costi dei prototipi costruiti in fase di progettazione, ai quali però era raramente richiesto di raggiungere le prestazioni meccaniche e termiche dei futuri pezzi in stato d’opera. Tra le altre, esempi notevoli di queste tecnologie sono la Stereolitografia (SLA), dove una resina liquida viene solidificata in forma polimerica attraverso luce ultravioletta, e la Sinterizzazione Laser Selettiva (SLS), anche detta *Selective Laser Melting* (SLM) , dove la base di partenza è una polvere, spesso di materiale plastico o cera, ma disponibile anche in metallo, che viene riscaldata da un laser fondendosi con lo strato precedentemente depositato. Il passaggio successivo è l’avvento di tecnologie che non si limitino a creare prototipi, ma permettano di ottenere pezzi, metallici e non, perfettamente funzionanti.

La maggior parte di queste tecnologie utilizzano il principio delle stampanti 3D, in cui, partendo da un disegno CAD del pezzo, si costruisce il prodotto finito depositando il materiale contenuto in un serbatoio attraverso un ugello. Ci sono diverse tecnologie che fanno riferimento a questo nome in base al moto con cui l'ugello viene posizionato e alla tecnica di composizione del pezzo. In genere la procedura prevede o che si lavori per strati successivi o che si parta dal perimetro esterno, si costruisca un opportuno reticolato interno per impedire deformazioni in fase di lavorazione e infine si riempiano gli spazi interni restanti, tuttavia sono presenti diverse metodologie legate alla diversa natura del materiale utilizzato, con evidenti differenze tra plastiche e metalli.

L'impiego di tali tecnologie all'interno del contesto dell'Industria 4.0 permette di immaginare un futuro con produzioni decentralizzate vicine alle aree di utilizzo, con conseguente forte riduzione dei costi di trasporto e delle dimensioni degli *stock*. Si garantiscono inoltre elevatissimi livelli di flessibilità attraverso la drastica riduzione delle dimensioni dei lotti e la possibilità di personalizzare maggiormente i prodotti, raggiungendo anche alti livelli di complessità delle forme, difficilmente ottenibili con i metodi tradizionali. Infine anche i costi relativi al materiale utilizzato tendono a diminuire, poiché in generale si generano pochissimi scarti.

Con il miglioramento della tecnologia e la diminuzione dei costi associati alla produzione e al materiale, *l'additive manufacturing* diventa sempre più competitivo per produzioni di piccole serie. Il numero di pezzi al giorno che è possibile produrre garantendo una convenienza rispetto ai metodi tradizionali, che prevedono ad esempio la costruzione di stampi e l'installazione di linee con macchine utensili specifiche, si alza continuamente e rende l'utilizzo di queste tecnologie sempre più appetibili.

Esempi interessanti di utilizzo si possono ritrovare nella gestione dei ricambi auto, che potrebbero essere prodotti rapidamente su richiesta, anziché ricorrere ad un massiccio immagazzinamento, liberando spazio e riducendo significativamente l'immobilizzazione di capitale, oppure, uscendo dal mondo

dell'*automotive*, nell'industria aerospaziale per applicare nuovi *design* che riducano il peso delle strutture e il costo di materie prime spesso di pregio come il titanio.

3. Augmented Reality: in generale con questo termine si intendono tecnologie che permettono di accostare alla realtà informazioni aggiuntive con lo scopo di potenziare la naturale percezione umana. Alla base di questa tecnologia ci sono dispositivi come i cosiddetti *wearables*, cioè oggetti indossabili come occhiali e *smartwatch*, ma anche dispositivi mobili ormai entrati nell'utilizzo quotidiano, come *smartphone* e *tablet*. Il potenziale di questi strumenti risiede nella loro capacità di fornire informazioni aggiuntive in tempo reale e in base alle necessità del momento, aumentando le possibilità operative del soggetto che li utilizza e supportando le sue attività.

Caso notevole sono senz'altro gli *smart-glasses* che, una volta indossati, propongono, sovrapponendole alla visuale reale, informazioni in forma di testo o di immagine, che sono visualizzate nel campo visivo dell'operatore, mentre quest'ultimo sta effettivamente guardando l'oggetto del suo intervento. Il campo d'utilizzo è vastissimo, possono essere impiegati ad esempio per supportare attività complesse di montaggio o manutenzione, segnalando visivamente la sequenza corretta delle operazioni, per guidare gli addetti all'*handling* dei materiali, evidenziando le aree di prelievo o scarico, o per facilitare alcune operazioni di montaggio, ingrandendo l'area interessata.

Altro caso di utilizzo interessante osservato sulle linee di montaggio di FCA, riguarda gli *smartwatch*, con cui non solo è possibile visualizzare le informazioni necessarie per svolgere un'attività, ma anche interagire inserendo informazioni nel sistema, come la validazione di controlli di qualità o di operazioni specifiche che necessitano di essere confermate dopo l'esecuzione.

4. Simulation: negli ultimi decenni le simulazioni sono diventate uno strumento indispensabile nella progettazione di prodotti, impianti, sistemi e processi o, uscendo dalla realtà della sola produzione, per comprendere e valutare le dinamiche relative a qualsiasi attività legata ai diversi *business*. L'utilizzo delle simulazioni permette non solo di affinare le proprietà dell'oggetto studiato, ma anche di accorciare la fase di sviluppo, riducendo i costi e apportando un significativo miglioramento della qualità dei prodotti, utilizzando al meglio la possibilità di osservare diversi scenari e accorgersi in anticipo di eventuali problematiche, prima incontrabili e affrontabili solo in fase molto più avanzata.

La sfida attuale contenuta nel paradigma Industria 4.0 è il passaggio da una simulazione discreta, che comprende solo le fasi di progettazione o valutazione utilizzando per lo più modelli semplificati e con l'inserimento di dati statici, ad un nuovo genere di simulazione che può essere utilizzata anche per gestire la fase operativa della fabbrica o più in generale alcune attività del *business*, utilizzando dati dinamici che giungono e vengono processati in tempo reale. Inoltre sono concepiti modelli più complessi, con un approccio olistico e multi-livello che include i modelli fisici e richiede un alto livello di dettaglio e un basso livello di astrazione.

Per quanto riguarda la realtà di fabbrica questo significa ricorrere alla già citata *virtual factory* attraverso l'utilizzo di *digital twin*, rappresentazioni virtuali gemelle dell'oggetto fisico, costituite dal complesso di dati ad esso associato e dal modello fisico dell'*asset*. Questo coinvolge e integra i diversi sistemi di gestione come il *Manufacturing Execution Systems (MES)*, per l'acquisizione dei dati di fabbrica, o il *Manufacturing Resource Planning (MRP)*, per la gestione delle risorse d'impresa; nondimeno intende anche superarli, non limitandosi a raccogliere e organizzare le informazioni per supportare i processi decisionali, ma proponendosi di compiere valutazione e scelte in modo autonomo allo scopo di ottimizzare la produzione.

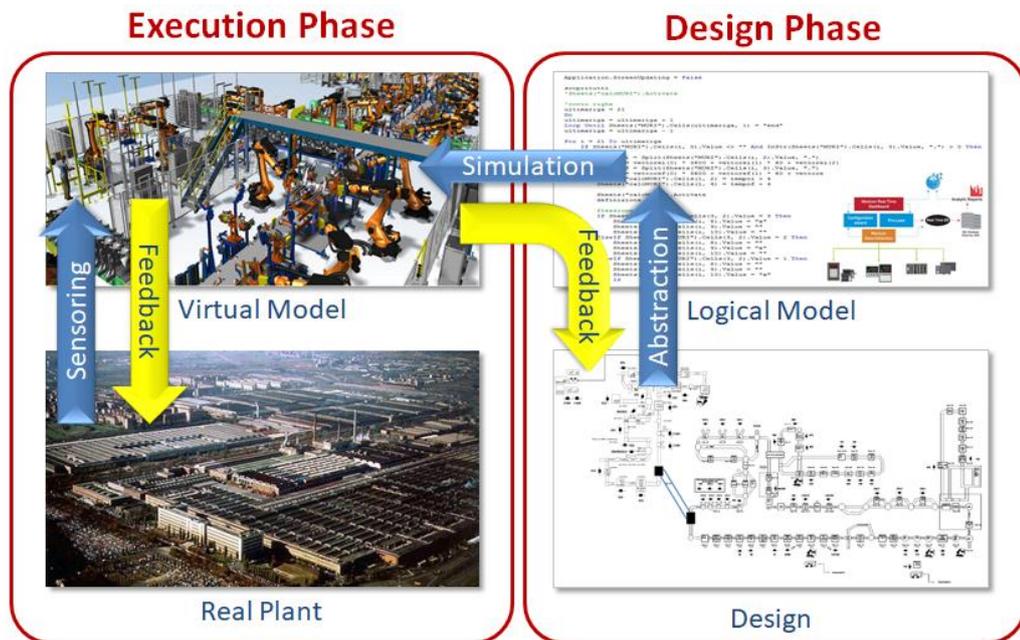


Figura 3.3 Schema Digital Twin

I vantaggi che questo può portare in termini di gestione dello stabilimento sono evidenti e coinvolgono la produzione, la logistica, la gestione del magazzino, aumentando l'efficienza e riducendo costi e sprechi. Tuttavia non si trascurino le attività in cui modelli così concepiti, pensati per evolvere in maniera empirica partendo da i dati reali, possono essere utilizzati per semplificare e migliorare la fase di ottimizzazione dei processi, permettendo ad esempio di ricercare i migliori settaggi di macchina per il prodotto successivo, mentre il precedente è ancora in lavorazione, riducendo i tempi di setup della macchina e migliorando la qualità.

Anche se il ricorso alla *virtual factory* è il tema chiave nell'ambito della simulazione per come è intesa nell'Industria 4.0, ci sono anche altre opportunità interessanti all'interno di questa KET che non vanno tralasciate, una tra tutte la realtà immersiva. Mentre la realtà aumentata, di cui si è parlato in precedenza, prevede che l'utente continui ad essere inserito nella realtà fisica, ad essa semplicemente aggiungendo informazioni, nella realtà immersiva si estranea il

soggetto immergendolo in un ambiente interamente virtuale, dove gli elementi conoscitivi frutto di elaborazione elettronica, risultano preponderanti.

Un uso interessante di questa tecnologia può essere ricercato nelle attività di verifica della fattibilità. Si simula interamente, in ambiente virtuale, l'esecuzione dell'intera operazione, analizzandone la sequenza, valutando gli ingombri e le possibili interferenze in una fase in cui sono disponibili le matematiche del prodotto e dell'ambiente di lavoro, ma questi non sono ancora fisicamente disponibili. Questa simulazione può essere utilizzata anche per un'analisi ergonomica delle singole postazioni, arrivando a definire il carico bio-meccanico sul singolo operatore o per l'addestramento dell'operatore, che può beneficiare di una realtà appositamente concepita per farlo interagire e apprendere, ad esempio, il processo di montaggio di un pezzo o di manutenzione di un macchinario, anche quando questo non è ancora fisicamente disponibile o è impegnato in altro modo.



Figura 3.4 Simulazione operazione di montaggio

5. Horizontal and Vertical Integration: come accennato all'inizio del capitolo, nelle realtà aziendali moderne sono presenti numerosi sistemi IT per la gestione e il controllo della produzione e delle risorse, ma questi sono ancora poco o per nulla integrati tra loro. Esistono delle potenzialità inespresse che si possono liberare ricorrendo ad una maggiore integrazione, che deve però essere

implementata in diverse direzioni per dare luogo a una gestione ottimizzata su più livelli. Si parla di *vertical integration*, *horizontal integration* e *end to end engineering*.

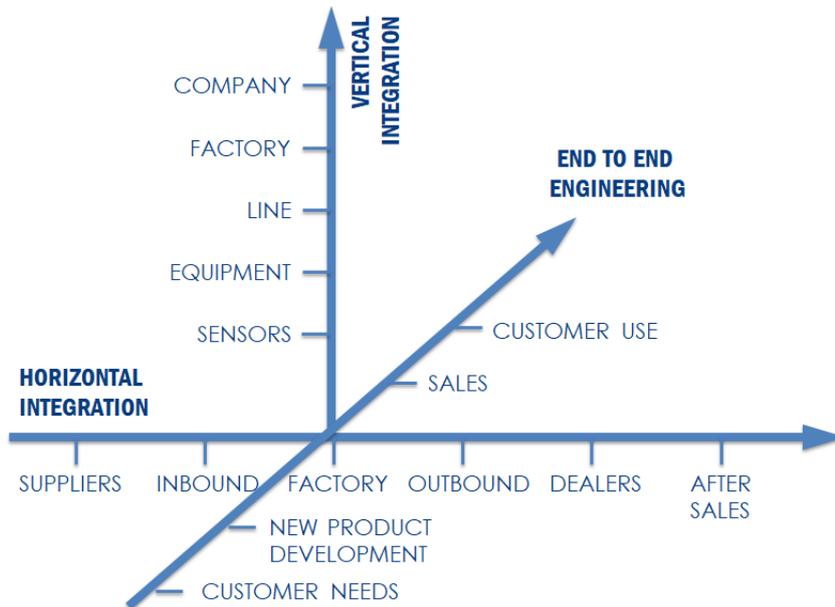


Figura 3.5 Direzioni di integrazione

L'integrazione verticale si riferisce a diversi livelli interni all'azienda ed è soprattutto di natura tecnologica, dal singolo sensore fino ai più alti livelli manageriali che sovrintendono le operazioni. Questo tipo di integrazione permette la condivisione in tempo reale dei dati acquisiti sul campo in direzione del *Manufacturing Execution System (MES)* che coordina e gestisce la produzione, fino a raggiungere gli uffici nelle quali le decisioni strategiche vengono prese. Lo scopo di questa condivisione non è solo di monitorare la situazione produttiva, ma anche di supportare le decisioni in tempo reale, di consentire valutazioni preventive e di ammettere un certo grado di autonomia decisionale a favore degli stessi sistemi IT di gestione.

L'integrazione orizzontale coinvolge invece tutta la catena del valore dei processi affini alla filiera tecnologica e produttiva, uscendo dai confini dell'azienda e coinvolgendo non solo i fornitori, ma anche tutte le attività successive alla

produzione, come la vendita e i servizi post-vendita fino a raggiungere il consumatore finale. Questo tipo di approccio pone alcuni problemi: il primo è senz'altro quello infrastrutturale, che riguarda non solo la necessità di un *network* stabile attraverso il quale scambiare informazioni, ma anche l'adattamento delle architetture già esistenti, spesso molto diverse da azienda ad azienda. Il secondo riguarda la struttura dei dati, che devono essere in forme innanzitutto compatibili, ma anche facilmente comprensibili, per essere utilizzati senza difficoltà da tutti gli attori coinvolti e non solo da chi li ha concepiti. Per far questo occorre individuare e implementare standard non solo efficaci ed efficienti, ma anche la cui diffusione possa essere il più possibile vasta. Il terzo, infine, riguarda la sicurezza dei dati condivisi, che devono essere tenuti adeguatamente al riparo da manomissioni o consultazioni non autorizzate. Quest'ultimo punto è di fondamentale importanza e non coinvolge solo l'integrazione orizzontale, infatti costituisce da solo una delle tecnologie abilitanti che si descriveranno in seguito.

I vantaggi di questo approccio sono ancora una volta evidenti e si esprimono in termini di riduzione del *lead time*, di riduzione di costi e *working capital*, di migliorata capacità di adattarsi alle necessità e alle richieste del mercato e di uso efficiente delle capacità produttive, attraverso un'ottimizzazione di risorse e logistica non indifferente.

Infine, l'ultima direzione, non espressamente citata nel titolo, ma comunque prevista e auspicabile, è la cosiddetta *end to end engineering*. Il concetto è quello di mettere in comunicazione profonda le richieste del mercato con l'azienda, partendo dalle esigenze del cliente finale per comprendere i *requirements* da utilizzare come stimolo alla concezione del prodotto e occupandosi, dall'altro lato, di fornire un'esperienza di supporto e servizio post-vendita al consumatore più avvolgente e su misura. Questo approccio sarebbe ovviamente impensabile senza le rinnovate caratteristiche di efficienza, velocità e flessibilità ottenute con l'ausilio delle varie tecnologie coinvolte nel complesso dell'Industria 4.0 e va nella direzione di proporre al consumatore non solo un prodotto, ma

un'esperienza completa per rispondere al meglio ai suoi bisogni. Si può dunque intravedere la possibilità di co-sviluppare i prodotti con gli stessi utenti, adeguandosi alle reali esigenze del mercato, ma anche di permettere ai consumatori di avere un approccio diretto al prodotto, che inizia prima che questo sia stato realizzato, con la possibilità di personalizzarlo e seguirne la produzione. Inoltre maggiori servizi all'utente che lo accompagnano durante tutta l'esperienza di utilizzo, rispondendo di volta in volta alle sue esigenze, possono creare un legame di fidelizzazione molto forte, che può essere considerato una leva competitiva fondamentale nel successo dell'impresa.

6. Industrial Internet of Things (IIoT): in generale l'*Internet of Things* (IoT) è un nuovo ambito di sviluppo di oggetti connessi alla rete che hanno la caratteristica di rendersi univocamente riconoscibili e posseggono la capacità di raccogliere e comunicare dati sulla propria situazione e al contempo accedere alle informazioni condivise da parte di altri. Sono inoltre dotati di intelligenza propria con cui possono eseguire compiti in autonomia con la necessaria discrezionalità, processando i dati disponibili. Sono dunque oggetti con elettronica fisica, software, *firmware* e connettività che svolgono un ruolo di sensore, trasduttore o attuatore con lo scopo di collezionare e scambiare dati. L'immagine che ne scaturisce è quella di oggetti che "parlano", sia tra loro in un mondo parallelo in cui intessono relazioni per eseguire i loro compiti, sia con l'utilizzatore, che può essere avvisato del cambio delle condizioni operative. Una macchina che lavora in tal senso può ad esempio comunicare di avere un problema autodiagnosticato richiamando l'attenzione dell'operatore.

Le potenzialità di questi strumenti sono immense, così come i campi di applicazione che vanno dal semplice ausilio alla vita quotidiana, alla gestione di settori come il trasporto e l'energia, ad attività che riguardano anche il settore primario e terziario.

Parlare di IIoT richiede necessariamente di focalizzarsi su quei dispositivi che

possono essere coinvolti dall'industria nei processi di gestione, spaziando dai piccoli sensori ai più complessi robot industriali. Immaginare macchinari che programmino autonomamente la manutenzione incrociando i dati sulle proprie condizioni con le necessità produttive, riducendo al minimo o addirittura eliminando i fermi macchina, o sistemi che, valutando le condizioni all'interno dello stabilimento, indichino in tempo reale i percorsi migliori, o ancora strumenti che raccolgano informazioni sulle scorte a magazzino e suggeriscano modifiche allo *scheduling* della produzione, apre il campo ad una trasformazione profonda della fabbrica e di tutta l'attività produttiva. Ancora una volta la parola chiave è efficienza e l'Ilot ha il potenziale di raggiungere livelli fin qui inimmaginabili in termini di riduzione dello spreco di risorse, siano esse materie prime, energia o tempo, con conseguente aumento della competitività e della redditività dell'impresa.

Sebbene più evidenti in altri ambiti, anche in campo industriale questi dispositivi incontrano delle criticità in materia di sicurezza e di privacy, nonché alcune implicazioni etiche sul tipo di scelte che possono essere chiamati a fare e su dove risieda la responsabilità di tali scelte. Alcuni esempi in tal senso potrebbero essere la capacità che acquisirebbe l'azienda di controllare eccessivamente i movimenti e le azioni degli operatori durante tutto il periodo della loro permanenza nello stabilimento o la possibilità che attraverso la rete agenti esterni vengano in contatto con informazioni riservate o addirittura intervengano corrompendo i dati o il comportamento dei dispositivi.

7. Cloud: si è accennato più volte, parlando delle varie tecnologie coinvolte nella cosiddetta quarta rivoluzione industriale, alla centralità dei concetti di connessione e condivisione dei dati. Il *cloud* è lo strumento che rende tutto questo possibile offrendo un ambiente virtuale in cui i dati sono immagazzinati e resi consultabili da tutti gli attori che vi hanno accesso. Con il termine *cloud*, tuttavia, non si intende solo uno spazio di archiviazione (*cloud storage*), ma più in

generale una tecnologia che mette a disposizione risorse software e hardware attraverso server remoti, il cui utilizzo è di solito fornito da provider esterni specializzati (*cloud computing*). Le forme con cui questo servizio è offerto sono molteplici e possono riguardare la sola infrastruttura, un'intera piattaforma o anche l'utilizzo puntuale di software o di capacità di calcolo installata altrove. La tecnologia comprende quindi servizi diversi che si adattano ad applicazioni molto differenti e ad aziende molto diversificate in dimensioni e bisogni. Tra i modelli presenti, i principali sono:

- *Infrastructure as a Service* (IaaS): le risorse messe a disposizione sono costituite da uno spazio virtuale su server remoto, dall'accesso a sistemi di memoria per l'archiviazione e da una certa capacità di rete.

- *Platform as a Service* (PaaS): viene fornita una vera propria piattaforma all'interno della quale è possibile sviluppare applicazioni e servizi, accedendo a librerie e programmi direttamente tramite il *browser*.

- *Software as a Service* (SaaS): è garantito l'accesso tramite internet ad una serie di programmi che sono però installati ed eseguiti su un server remoto e non resi disponibili a livello locale.

Il *cloud*, oltre ad essere una necessità infrastrutturale per permettere il corretto funzionamento di molte delle tecnologie fin qui descritte, risulta fondamentale per completare in tempi rapidi il processo di digitalizzazione delle aziende. L'inserimento di nuovi attori specializzati che in parte assorbono i costi di investimento delle infrastrutture e della loro gestione e manutenzione e contemporaneamente offrono risorse specifiche secondo le esigenze puntuali delle imprese, permette alle aziende di tutte le dimensioni di beneficiare di un effetto volano che accelera notevolmente il tasso di innovazione e ne aumenta la competitività.

Il *Cloud Manufacturing*, che vede il *cloud* come un ambiente di incontro tra IIoT, CPS e i vari sistemi di gestione, potenzia l'integrazione nelle tre direzioni descritte nel punto precedente, ampliando a dismisura i benefici raggiungibili in

termine di razionalizzazione delle risorse, ottimizzazione dei processi e produzione flessibile e rapida ad adattarsi alle esigenze del mercato. In questo senso si immagina, per certi prodotti, un futuro con nuove modalità di produzione, definite *Manufacturing as a Service* (MaaS), che conducono alla metamorfosi della produzione, vista non più solo come un processo, ma anche come un servizio, erogabile su richiesta diretta del mercato; il risultato è una fabbrica situata in posizione strategica rispetto al consumatore, in cui stampanti 3D, insieme a macchinari e robot di nuova concezione, producano su richiesta, in maniera veloce e con un mix di prodotto totalmente flessibile, controllata in parte o del tutto a distanza attraverso il *cloud*.

La visione che ne scaturisce è un futuro in cui chi produce usi internet non solo per condividere semplicemente i dati, ma bensì macchinari ed equipaggiamenti al fine di ottimizzare le saturazioni, ridurre i costi e realizzare prodotti migliori.

8. Cyber-security: sarebbe un errore gravissimo essere così impegnati ad inseguire la miriade di benefici ed opportunità che si possono conseguire attraverso l'Industria 4.0, da dimenticare che costruire un nuovo mondo aziendale pienamente connesso significa anche esporsi ad una nuova serie di problematiche relative alla sicurezza informatica. Questo tema deve figurare nell'agenda di qualsiasi impresa voglia approcciarsi a questa trasformazione come un prerequisito fondamentale e irrinunciabile. Costruire un ambiente complesso ed articolato unendo migliaia di reti dati e software stratificati, e mettendo in connessione uomini e cose, aumenta esponenzialmente i punti di accesso e quindi la dimensione del perimetro da difendere da attacchi malevoli che possono avere conseguenze devastanti. Inoltre questo pericolo, del quale è necessario sviluppare un'adeguata consapevolezza da conseguire attraverso una formazione del personale a tutti i livelli, ha una natura del tutto nuova rispetto a quelli incontrati finora e richiede pertanto di ripensare interamente le contromisure da mettere in campo per contrastarlo. In primis i problemi sono

legati al maggiore ricorso a risorse di tipo software, per loro natura potenzialmente fragili, in quanto la loro sicurezza è legata al duello a distanza tra la creatività del programmatore e quella dell'eventuale *hacker* malintenzionato, con il primo però impegnato su diversi fronti per rendere il programma funzionante ed efficiente, oltre che sicuro. In seconda battuta per i responsabili della sicurezza non si tratta più solo di difendere le aziende dalle violazioni dei sistemi informatici, ma di operare su sistemi che hanno un impatto diretto sul mondo fisico, obbligandoli a sviluppare nuove tecniche e cambiando radicalmente l'analisi dei rischi. Inoltre la minaccia non è solo relativa alla manomissione o compromissione del funzionamento dei sistemi e alla corruzione o furto dei dati sensibili e del *know-how* dell'impresa, ma, attraverso i prodotti intelligenti, si può arrivare al danneggiamento dei clienti, condannando l'azienda a subire severe conseguenze in termini di responsabilità legale, ma anche di immagine e quindi di vendite.

Un caso eclatante, esemplificativo di questo problema, è quello che ha riguardato le vetture di alcune case automobilistiche che è stato dimostrato essere "hackerabili" a distanza, prendendo il controllo di alcune funzioni tra cui l'accelerazione o la frenata con conseguenze potenzialmente drammatiche.

La sfida della *cyber-security* necessita misure di investimento adeguate e, coerentemente alle dimensioni dell'azienda, richiede il potenziamento delle risorse IT interne con l'inserimento di figure professionali adatte. La compresenza di attori trasversali specializzati nel campo della sicurezza e di *provider* di servizi esterni come lo stesso *cloud*, potrà fornire alle imprese un valido aiuto in questo ambito, soprattutto per quanto riguarda il mondo delle piccole e medie imprese (PMI) tutt'altro che esenti da pericoli, anzi potenzialmente bersaglio privilegiato degli attacchi se non adottano adeguate contromisure.

9. Big Data and Analytics: per le imprese è una prassi ormai consolidata quella di raccogliere dati per condurre analisi relative alle diverse attività di *business*. Nel contesto moderno, però, la mole di fonti interne ed esterne all'azienda che rappresentano, consapevolmente o inconsapevolmente, vere e proprie fabbriche di dati, contribuisce a formare un patrimonio di informazioni talmente vasto da rendere necessario l'utilizzo di tecnologie e strumenti innovativi per poterle sfruttare. A questa ingente mole di dati, che tranquillamente raggiunge l'ordine di grandezza dei terabyte, si fa riferimento con il termine di *Big Data* e, utilizzando una metafora molto utilizzata nei paesi anglosassoni, si parla della necessità di "*finding the fish in an ocean of data*", ovvero di sviluppare tecniche opportune per individuare i dati significativi in una moltitudine di dati.

Si può scomporre il lavoro in due operazioni differenti: il *data mining*, che si occupa di rintracciare ed estrarre dati utilizzabili da set di dati grezzi, e il *data analytics*, che si occupa di esaminare i dati selezionati e processarli per delineare delle conclusioni sviscerando le informazioni utili che contengono. Queste operazioni, tutt'altro che banali, sono indispensabili per estrarre il valore contenuto nei *Big Data* e trasformarli in *smart data*, cioè dati con i quali è possibile fare valutazioni significative; l'obiettivo infatti non è tanto quello di generare report attendibili su ciò che è accaduto, ma permettere di comprendere come formulare decisioni migliori. Lo scenario che si prefigura è quello di un *data driven approach* nel quale sono previste prevalentemente quattro tipologie di analisi, legate a quattro diversi livelli di conoscenza desiderata:

- *Analisi descrittiva:* prevede un insieme di strumenti il cui scopo è descrivere la realtà di determinati processi o situazioni, cercando di rappresentarli graficamente in maniera sintetica ed immediata, mettendo in evidenza i principali indicatori di prestazione. Questo tipo di analisi genera i tradizionali "*reporting*", già in uso da diverso tempo.

- *Analisi predittiva*: comprende soluzioni che effettuano l'analisi dei dati sulla base di modelli e tecniche matematiche avanzate al fine di costruire scenari di sviluppo futuro il più possibile solidi e vicini alla realtà. Un'analisi di questo tipo genera risultati di "trending" o "what if".

- *Analisi prescrittiva*: è costituita da logiche avanzate di analisi dei dati capaci di proporre soluzioni operative o indicazioni strategiche per supportare i processi decisionali, spesso basandosi sui risultati delle due tipologie di analisi precedentemente descritte.

- *Analisi automatizzata*: capace, a fronte dei risultati ottenuti dalle precedenti analisi, di implementare autonomamente azioni definite in precedenza tramite precise regole o a loro volta frutto di un processo di analisi.

Per dare un'idea dell'importanza del settore si riportano i dati di uno studio (Vercellis and Piva, 2017) condotto dall'Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence del Politecnico di Milano, che mostrano l'evoluzione del settore in Italia, con una crescita del 22% tra il 2016 e il 2017 e un generale trend di continua accelerazione del mercato negli ultimi anni (Figura 3.6).

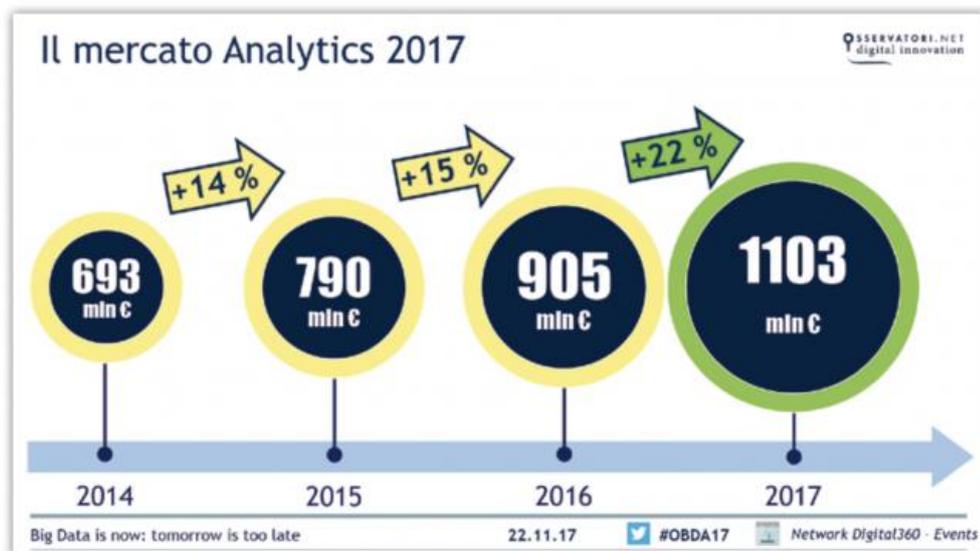


Figura 3.6 Incremento mercato Data Analytics

Per capire a che punto è l'adozione dei vari livelli del *data analytics*, si riporta una tabella proveniente dal medesimo studio, che mostra i gradi di implementazione delle diverse soluzioni (Figura 3.7).

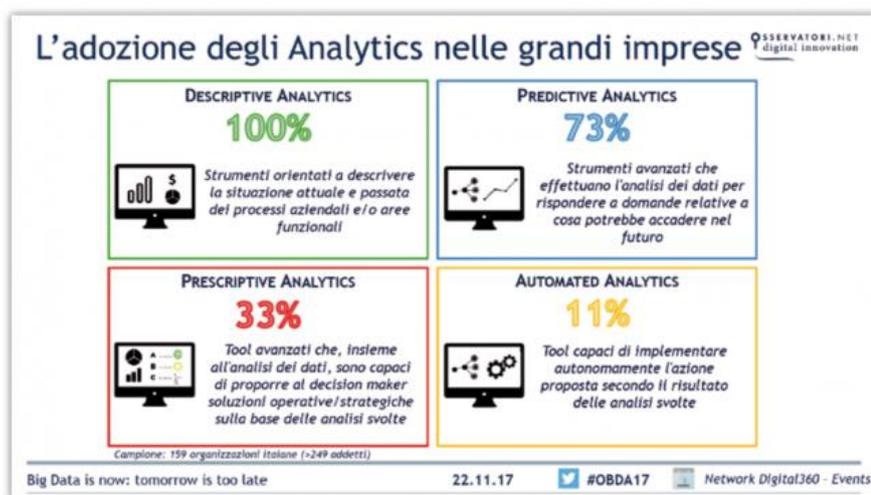


Figura 3.7 Tasso di adozione diverse tipologie di analisi

Sempre dallo stesso studio si riporta un'altra tabella (Figura 3.8) che mostra invece quali settori stiano investendo di più sul tema dei *big data*, con i comparti bancario e manifatturiero in netto vantaggio.

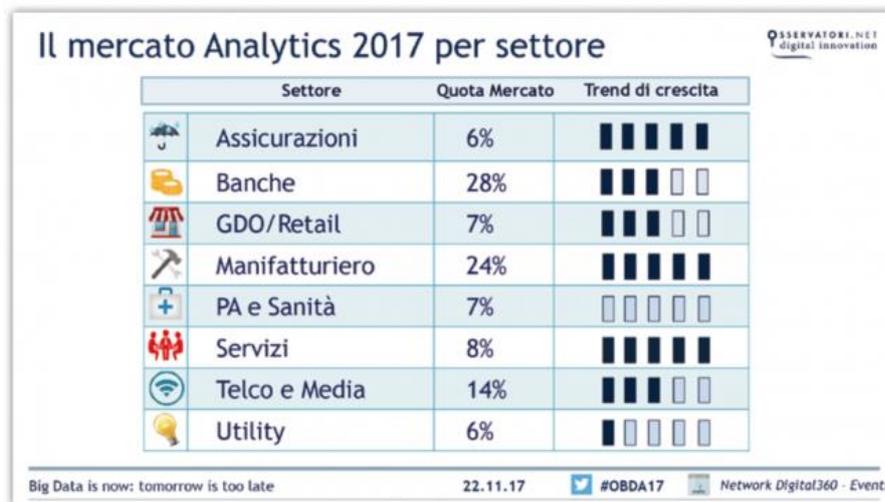


Figura 3.8 Quote di mercato del *data analytics* per settore

L'analisi dei *Big data* consegna una visione più ampia, ma anche più elevata, allargando i confini della conoscenza in ambiti prima inesplorati o impraticabili e aumenta di molto la precisione associata a questa conoscenza e, conseguentemente, la solidità delle decisioni e delle azioni che ne scaturiscono.

Al di là della necessità di implementare logiche sempre più evolute ed efficaci, vi sono alcuni aspetti critici su cui le aziende devono lavorare per cogliere appieno l'opportunità.

Il primo riguarda la forma con cui i dati sono inizialmente disponibili. Poiché le fonti sono estremamente eterogenee e vanno da dati raccolti in fabbrica dai sensori a tendenze di gradimento individuate sui *social networks*, non è scontato che i dati siano in una forma consona e compatibile con le risorse disponibili e la lavorazione dei dati per renderli accettabili in tal senso deve tenere conto di tutti gli attori che vi hanno accesso e che intendono utilizzarli.

Il secondo aspetto riguarda le difficoltà delle risorse attualmente presenti in azienda ad occuparsi di queste analisi, ovvero la necessità di costituire *team*

appositi, dedicati all'analisi dei dati, delineando una figura professionale complessa, ancora in via di definizione: il *data scientist*. Questa figura oltre ad avere le adeguate competenze informatiche, deve avere l'opportuna formazione in ambito statistico e matematico per processarli, nonché avere un'idea chiara dei fenomeni indagati e dei modelli che li regolano. Sono richiesti intuizione, capacità di lettura di fenomeni complessi e al contempo di rappresentazione precisa e semplice del senso dei risultati: insomma si dà valore ad un'ampia conoscenza il cui scopo è generare altra conoscenza.

Infine poiché una buona parte dei dati esterni sono raccolti direttamente presso il consumatore, che diventa così un partner strategico essenziale, si pongono criticità sulla *privacy* e sul tipo di utilizzo che si può fare di questi dati, di cui in qualche misura l'utente è proprietario. In Europa i diritti in materia sono stati formalizzati nel *General Data Protection Regulation (GDPR)*, che sancisce il diritto del consumatore a conoscere le ragioni per la quali i dati sono utilizzati, il modo in cui sono usati e il periodo per il quale sono detenuti. Rende possibile inoltre richiedere la cancellazione dei dati o comunque la cessazione di qualsiasi utilizzo, considerando anche la possibilità di trasferirli interamente ad altre realtà. Questo dà potere al consumatore che può usare i suoi dati in qualche misura come merce di scambio nei confronti delle aziende, decidendo di volta in volta a chi affidare i propri dati e al contempo obbliga le aziende a definire con assoluta chiarezza lo scopo per cui si andrà ad analizzare i dati, poiché non sarà poi possibile sottoporli ad utilizzi diversi da quelli specificati in precedenza.

Un sondaggio svolto negli Stati Uniti e pubblicato su *The Harbour Report 2017* (Wyman, 2017) mostra come il 57% delle persone abbia un alto livello di preoccupazione riguardo la *privacy* online, mentre solo il 13% riporti un livello di preoccupazione basso o nullo. Il sondaggio mostra però come moltissime persone intervistate siano disposte a superare le criticità se hanno la percezione di poter ottenere benefici vantaggiosi.

3.3 L'approccio alla sfida dell'Industria 4.0

Per concludere questo capitolo relativo all'Industria 4.0 si ritiene necessario formulare alcuni concetti relativi all'approccio da avere nei confronti della sua implementazione all'interno delle aziende. Questi concetti rappresentano in buona parte l'atteggiamento iniziale con cui sono stati portati avanti i progetti oggetto della tesi, che verranno descritti nei capitoli seguenti.

Primo concetto chiave è, davanti a tanta nuova tecnologia disponibile, non innamorarsi della novità e inseguirla a tutti i costi, ma ricordare che il vero obiettivo non è diventare più tecnologici, ma diventare più competitivi. A questo proposito occorre fare valutazioni serie sul reale beneficio delle soluzioni studiate, lasciando da parte la meraviglia percepita per soluzioni innovative che magari effettivamente aprono a nuove opportunità, ma non risultano sufficientemente convenienti.

Nel contesto di un'azienda come FCA dotata del sistema WCM, questo discernimento è aiutato dalla procedura di costruzione del *business case* e dalla successiva valutazione dell'indice benefici su costi per comprendere l'effettiva validità dei progetti, come descritto a proposito di *cost deployment* nel capitolo precedente.

In uno studio contenuto nel libro "*Leading Digital*" (Westerman, Bonnet and McAfee, 2014) si analizza la situazione delle aziende per identificare dei *pattern* che permettano di valutare le loro strategie di implementazione del paradigma Industria 4.0. Le aziende studiate sono numerose e provenienti da tutto il mondo. Tra i vari criteri di selezione utilizzati è opportuno sottolineare che nello studio ci si focalizza sulle grandi aziende e si decide di tralasciare i giganti della tecnologia come *Apple*, *Google* e *Amazon*, poiché ritenuto fuorviante. Lo studio tenta di delineare la figura del *Digital Master* e propone due criteri di giudizio,

digital capabilities e *leadership capabilities*, che identificano quattro diversi profili aziendali (Figura 3.9).

Four levels of digital mastery

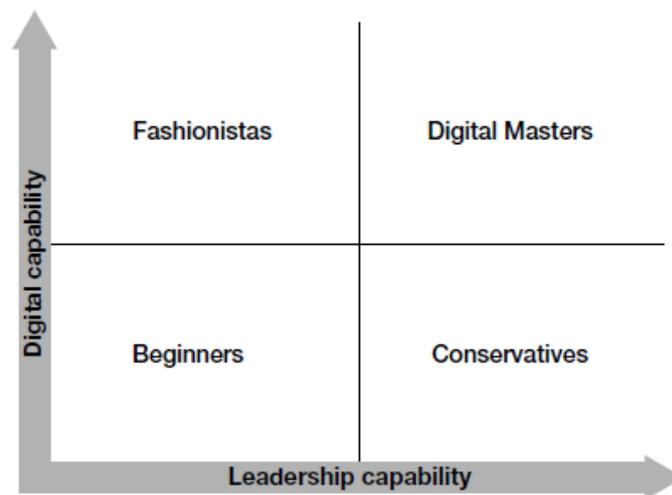


Figura 3.9 Diversi profili aziendali

I *Beginners* sono caratterizzati da un basso livello di implementazione di soluzioni digitali e da poca chiarezza sulla via da percorrere. Molte aziende appartenenti a questa categoria applicano una strategia attendista, cercando di guadagnare le dovute certezze prima di agire. Alcune credono effettivamente che le opportunità digitali siano interessanti, ma non trovano le soluzioni giuste per loro. Altre mancano, totalmente o in parte, di una visione manageriale in grado di smuovere le cose. Sono all'inizio del loro viaggio digitale e non hanno ancora deciso quando e come partire.

I *Fashionistas* invece si sono buttati nel mondo digitale, investendo in tecnologia e cercando di implementare tutte le soluzioni possibili. A causa della mancanza di visione, tuttavia, il loro forte investimento viene in gran parte sprecato, creando processi e sistemi incompatibili, che necessitano di essere ripensati, o a volte duplicando gli sforzi nelle diverse funzioni, anziché operare sinergie. Non c'è

niente di male nel fare esperimenti per cercare le soluzioni migliori, ma senza un'organizzazione forte la maggior parte degli sforzi risulta inefficace.

I *Conservatives* sono in qualche modo l'opposto del precedente profilo. Spesso sono caratterizzati da grande esperienza e solidità aziendale e il loro *business* è gestito con elevate capacità manageriali. Risultano poco interessati alle mode riguardo l'innovazione e ogni investimento nel campo digitale è valutato con attenzione e coordinato attentamente. I manager di questo tipo di aziende non vogliono fare errori che sprechino le risorse a loro disposizione. Questa attenzione può essere utile, ma può anche creare una trappola in grado di decretarne la disfatta, basata sul troppo controllo e la necessità di avere eccessive certezze rimanendo indietro rispetto ai *competitor*.

I *Digital Master* infine hanno superato le difficoltà iniziali e sono caratterizzati da una chiara idea di dove e come investire e da *leader* in grado di supportare il cambiamento, impegnati a coordinare gli sforzi dell'organizzazione per guidarla con forza nel futuro digitale.

La ricerca, condotta su 391 aziende residenti in 30 nazioni, limita il campo alle aziende con un fatturato superiore ai 500 milioni di dollari, e media i risultati tenendo conto del settore di appartenenza.

Digital Masters outperform their peers

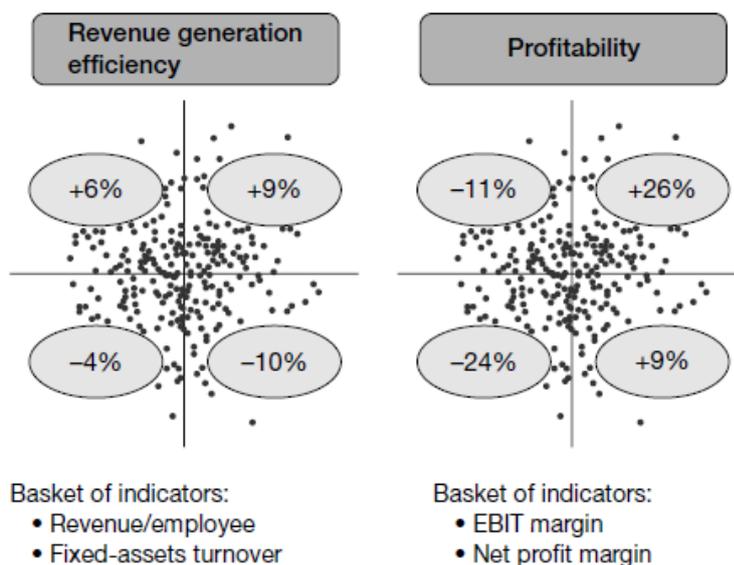


Figura 3.10 Risultati dei quattro profili aziendali

I risultati ottenuti sono estremamente significativi (Figura 3.10). Da un punto di vista della profittabilità, si osserva come, a parte l'*overperform* dei *Digital Masters*, le capacità gestionali dei *Conservatives* garantiscano comunque migliori risultati rispetto ai *Beginners* e soprattutto segnino un +20% rispetto ai *Fashionistas*. Se si osserva invece il fatturato generato in relazione agli *asset* posseduti, la situazione è ben diversa, con i *Fashionistas* in grado di spuntare un'efficienza di utilizzo superiore rispetto ai *Conservatives* di un solido +16%. Al di là di altre conclusioni che si possono trarre da questa analisi, questa differenza tra *Fashionistas* e *Conservatives* risulta importante per confermare quanto detto in precedenza. Spingere in maniera disordinata sulla digitalizzazione, inseguendo la novità a tutti i costi in assenza di un piano strutturato e consapevole, non garantisce buoni profitti. D'altro canto aziende solide e capaci, gestite da *leader* con le giuste doti manageriali, possono perdere grandi opportunità di crescita e di competitività futura se restano indietro rispetto alla rivoluzione digitale.

L'evoluzione, nell'era digitale, ha assunto ormai un andamento esponenziale, e questo può creare problemi nella gestione del cambiamento, poiché in conflitto con la capacità di adattarsi degli esseri umani. Per quanto riguarda i consumatori questo conflitto è mitigato dai vantaggi percepiti e dalla libertà con cui ci si può accostare alla novità, ma nelle aziende il *change management* risulta essere una sfida molto complicata, da gestire nel migliore dei modi. Molte risorse, magari dotate di grandi competenze ed esperienza, potrebbero resistere al cambiamento, asserendo che i metodi di gestione già utilizzati sono robusti ed efficienti, assumendo talvolta una posizione ideologica di difesa del "vecchio" contro il "nuovo". Questi meccanismi, seppur comprensibili, vanno gestiti con attenzione per guidare l'azienda nel cambiamento evitando di fare impantanare un'organizzazione prima solida. A tal proposito può aiutare l'inserimento di risorse giovani in azienda, meno culturalmente rigide e più abituate al mondo moderno, che portino il giusto contenuto di novità e aiutino nell'evoluzione. Fondamentali inoltre tutta una serie di nuove figure professionali da inserire nell'azienda, dotate di competenze interdisciplinari adeguate per un apporto di competenze in grado di dare i giusti contenuti.

Altro concetto chiave riguarda la modalità con cui ricercare le soluzioni di Industria 4.0 più adatte. Molti studi condotti negli ultimi anni dimostrano come approcci di tipo *bottom-up* portino raramente a risultati positivi. Sebbene coinvolgere risorse a vari livelli per immaginare soluzioni sia molto importante per generare un portafoglio di progetti efficaci, attingendo al patrimonio di competenze e di creatività presenti, il *commitment* dei più alti livelli manageriali è la leva fondamentale per rendere effettivo il cambiamento. Serve un approccio *top-down* in cui la *leadership* indichi una chiara visione del futuro, tenendo in mente gli obiettivi, le priorità e le risorse disponibili, e la diffonda con continuità, coinvolgendo tutti i dipendenti. Avere un approccio *top-down* non significa pianificare a priori e nel dettaglio la trasformazione dall'inizio, ma guidare con costanza il cambiamento nella giusta direzione, permettendo a tutte le funzioni

dell'organizzazione di muoversi in sinergia. Ovviamente in questa opera il manager deve tenere conto delle istanze che arrivano dalla base ed essere pronto a far evolvere le proprie idee dimostrando flessibilità e lungimiranza.

La sfida è lanciata e questa rivoluzione digitale è una realtà con cui tutte le aziende devono fare i conti. Rimanere indietro significa perdere competitività e rischiare in tempi medio lunghi di uscire dal *business*. La strada da seguire è ancora incerta e le strategie efficaci sono diverse e non del tutto chiare, ma il cambiamento è inarrestabile.

Si mostra a tal proposito (Figura 3.11) il risultato di uno studio condotto da *Infosys* (Infosys, 2015) che fa una previsione sul futuro livello di implementazione dei concetti dell'Industria 4.0, evidenziando l'evoluzione della situazione in diverse nazioni dal 2015 al 2020.

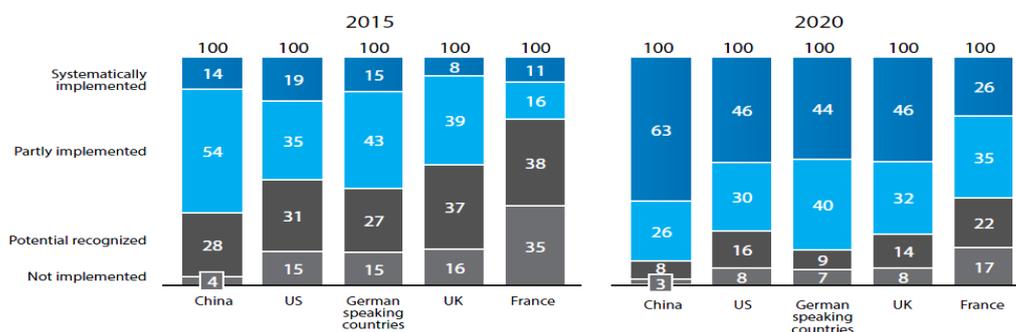


Figura 3.11 Confronto tra il grado di implementazione dell'Industria 4.0 in diversi paesi

Dello stesso studio si propone anche un grafico (Figura 3.12) che mostra come tutti i settori si stiano muovendo per imbrigliare le potenzialità di questa rivoluzione.

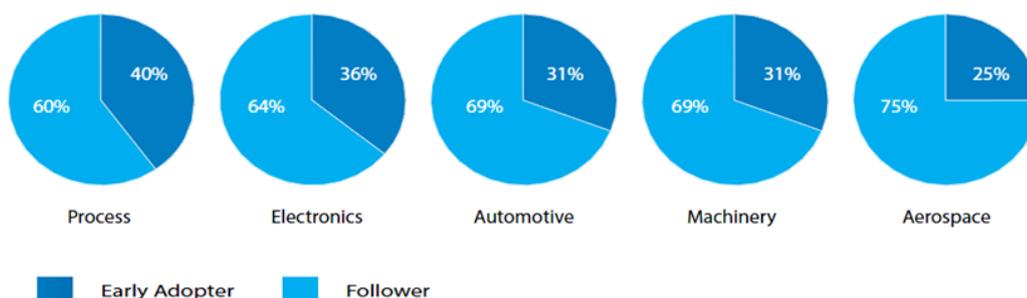


Figura 3.12 Adozione concetti di Industria 4.0 nei principali settori industriali

Le prospettive di crescita sono enormi e si creeranno nuovi vincitori e nuovi vinti, per cui occorre farsi trovare pronti ed evitare l'eccessivo attendismo. Bisogna che le aziende generino le opportune competenze per personalizzare il percorso, adattandolo alle loro realtà senza perdere preziose opportunità. In alcuni contesti queste competenze saranno generate all'interno dell'impresa, con l'aiuto di partner esterni specializzati, ma in realtà come quella italiana, caratterizzate da poche grosse aziende e un grande numero di PMI, questo lavoro non potrà essere fatto internamente e necessiterà lo sviluppo di centri di competenza sul territorio che supportino la crescita. Questi centri saranno fondamentali per diffondere la giusta cultura e al contempo aiutare le aziende a selezionare le soluzioni adatte alla loro situazione. L'esigenza è molto chiara e le università, le associazioni e le aziende si stanno muovendo. Un buon esempio è l'iniziativa del *Competence Center* portata avanti dal Politecnico di Torino e dall'Unione Industriale Torino insieme a 27 aziende del territorio, tra cui FCA, *General Motors* e *Italdesign* (gruppo Volkswagen).

3.4 Industria 4.0 in FCA

Come anticipato nel capitolo introduttivo, l'applicazione del WCM nel mondo FCA è stata capace di evolvere e di sfruttare appieno le opportunità offerte nel tempo dall'innovazione tecnologica e quindi anche dalle nuove applicazioni in ambito Industria 4.0. In quest'ottica, la tecnologia non è stata considerata un fine, ma un mezzo per sostenere ed accelerare ulteriormente il processo di miglioramento continuo aziendale.

Durante gli oltre 10 anni di applicazione del WCM, l'azienda è innanzitutto stata in grado di "aprire gli occhi per vedere di più", trovando sprechi e perdite in modo sempre più accurato, con in mente l'obiettivo di raggiungere lo "zero". Attraverso l'applicazione rigorosa di standard, metodologie e strumenti, sono stati raggiunti risultati importanti che hanno contribuito significativamente a migliorare la competitività del sistema industriale. I risultati del WCM hanno quindi stabilito una linea di base da cui partire per individuare nuove opportunità.

La prima grande sfida si presenta oggi sotto forma di proattività, ovvero l'applicazione dei principi *World Class* durante lo sviluppo di nuovi prodotti e processi, il cosiddetto "*Design for WCM*", un allargamento del principio "*Design for Manufacturing*", che punta ad ottenere prodotti e processi subito in linea con le migliori *best practices* interne e della concorrenza.

La seconda grande sfida invece viene dalla digitalizzazione. Il WCM ha preparato il terreno per un'applicazione efficace delle soluzioni digitali e la digitalizzazione può creare una nuova frontiera verso il costo ideale. Citando un guru dell'innovazione tecnologica come Bill Gates: "La prima regola di qualsiasi tecnologia utilizzata in un'azienda è che l'automazione applicata a un'operazione efficiente amplierà l'efficienza. La seconda è che l'automazione applicata a un'operazione inefficiente amplifica l'inefficienza. "

In altre parole, in FCA si è da subito sottolineata l'importanza di raggiungere l'efficienza prima di poter digitalizzare, altrimenti il rischio è quello di "digitalizzare gli sprechi e le perdite". In generale in FCA si investe in tecnologia non perché è "di moda". Gli investimenti sono mirati per ottenere benefici importanti in termini di efficienza, qualità e livello di servizio e per trasferire tutto ciò sui prodotti e ai clienti. Questo è l'approccio che ormai da qualche anno l'azienda sta seguendo sull'Industria 4.0. In particolare, i *driver* rimangono sempre i "needs" degli stabilimenti, identificati attraverso le perdite del CD e affrontati attraverso gli strumenti tradizionali del WCM. Il vero valore aggiunto delle applicazioni di Industria 4.0 si esprime quando vengono sviluppate soluzioni che sarebbero state impossibili da ottenere attraverso l'utilizzo di metodi e strumenti tradizionali, oppure quando vengono identificate nuove fonti di perdita che sarebbero risultate impossibili da identificare in maniera tradizionale. Se le applicazioni di Industria 4.0 soddisfano uno o entrambi di questi requisiti, allora si possono definire a valore aggiunto; in caso contrario, rappresentano un investimento quasi inutile in quanto porterebbero risultati raggiungibili con soluzioni più semplici e a più basso costo.

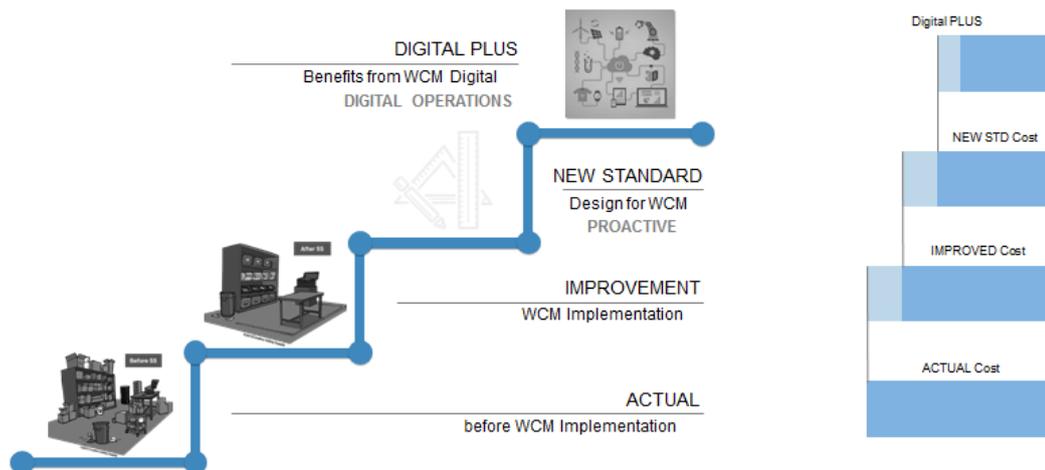


Figura 3.13 Dal WCM alla digitalizzazione

In FCA, l'Industria 4.0 è l'architettura che connette in un'unica "rete" le persone, i servizi e gli oggetti, all'interno e all'esterno dell'azienda. È una rete che collega tutti i *plant* e gli enti centrali e include i fornitori, i *dealer* e arriva fino ai clienti finali. Questa rete di persone, cose e servizi consente di trasformare i dati in informazioni e quindi in interazioni "smart" tra tutti gli elementi della catena di creazione del valore. Dunque, la *smart factory* è il "social network" non virtuale, ma fisico, nel quale le persone, le macchine e i prodotti comunicano e interagiscono.

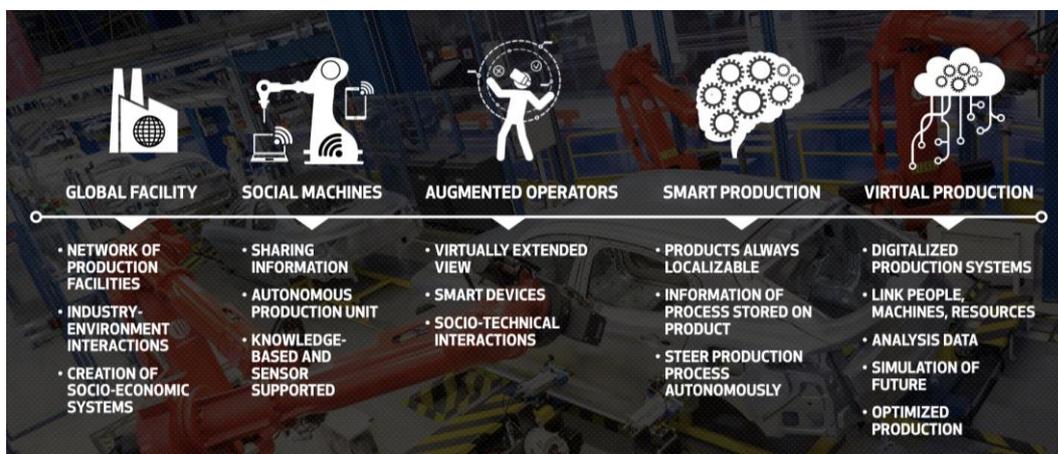


Figura 3.14 Industria 4.0 e Smart Factory in FCA

Entrando maggiormente nel merito FCA suddivide le attività e i progetti in corso in quattro macro aree:

- L'ingegneria di processo.
- La manutenzione e il monitoraggio degli impianti.
- La gestione della produzione e della qualità del prodotto.
- La gestione dei magazzini e dei flussi logistici.



Figura 3.15 Dai 9 Cluster di I4.0 alle 4 aree di FCA

Dal punto di vista dell'ingegneria di processo il tema fondamentale è la già citata *Virtual Factory*. Nella fabbrica virtuale, prodotto e processo produttivo sono progettati e sviluppati in modo integrato. Il prodotto è disegnato e sviluppato con strumenti digitali, fin dalla sua prima concezione di stile e il progetto delle diverse componenti del veicolo viene condiviso con chi si occupa in parallelo della fase di ingegnerizzazione del processo. Gli ingegneri del *Product Development* e quelli del *Process Engineering* lavorano quindi sulla stessa piattaforma digitale. Questa piattaforma costituisce di fatto un *tool* di simulazione che consente agli ingegneri che sviluppano il processo di testare, in un ambiente virtuale, le varie fasi del processo produttivo, verificando:

- la fattibilità tecnica e la fabbricabilità
- la sequenza delle fasi
- la sicurezza e l'ergonomia delle varie operazioni e delle postazioni di lavoro
- i flussi logistici
- i tempi di esecuzione di ogni *step* produttivo.



Figura 3.16 La digitalizzazione nel processo di sviluppo in FCA

La possibilità di avere un modello digitale e virtuale delle linee produttive consente di simulare e quindi ottimizzare i cicli produttivi. Tutto ciò si traduce in maggiore efficienza e migliore qualità. Il processo di digitalizzazione svolge da anni un ruolo centrale in FCA e ha trasformato progressivamente l'azienda, legando processi diversi, dallo sviluppo prodotto, alla produzione, alla *supply chain*, e costruendo il tessuto digitale sul quale si evolve il *business*.

L'ambiente digitale consente agli ingegneri di lavorare in una fabbrica virtuale e applicare i principi WCM fin dalle fasi iniziali del progetto usando strumenti come la realtà immersiva. Così è possibile coinvolgere con largo anticipo le persone, fattore chiave del successo. Ad esempio gli strumenti digitali permettono di effettuare verifiche di fattibilità tecnologica più di un anno prima di avere il primo prototipo fisico di verifica del processo.



Figura 3.17 Esempio di realtà immersiva in FCA

Questo ambiente di sviluppo e simulazione viene chiamato *Digital Manufacturing*: un ambiente digitale che collega anche i fornitori e i *line builders*, per avere a disposizione l'immagine digitale di ogni componente delle linee di produzione.

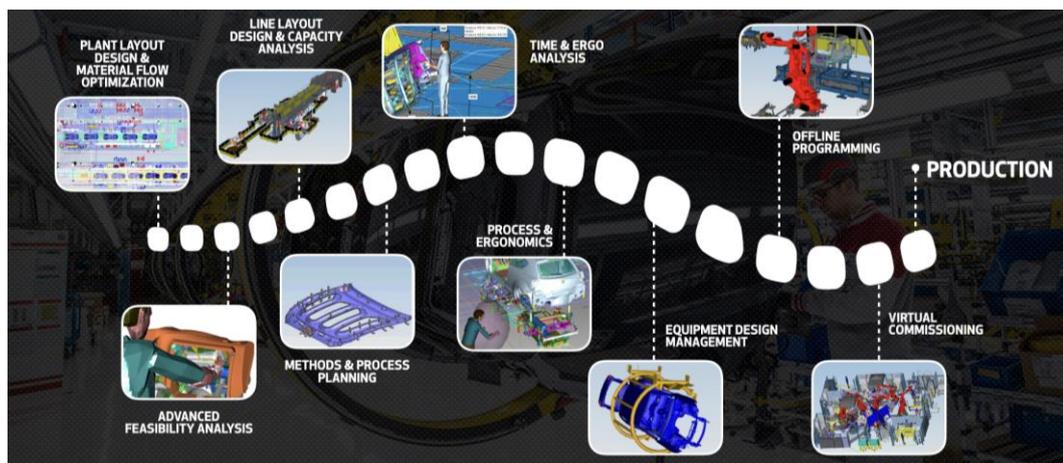


Figura 3.18 Il Digital Manufacturing in FCA

In questo ambiente viene sviluppato quello che viene chiamato *digital twin*, il gemello digitale del processo produttivo.

Lavorare in una *virtual factory* e utilizzare un *digital twin* porta numerosi benefici. Innanzitutto, come detto, consente di “giocare d’anticipo”, di individuare i problemi e le necessarie ottimizzazioni prima di costruire fisicamente l’impianto.

In particolare, permette di:

- ottimizzare i layout delle linee
- anticipare i problemi di sicurezza e ergonomia
- simulare e migliorare i flussi logistici dei materiali e le operazioni dei robot

Inoltre, l’ambiente virtuale permette di standardizzare i processi e poi di utilizzarli in tutti gli stabilimenti FCA nel mondo. In pratica si crea un vero e proprio catalogo di processi “*off the shelf*”, riducendo quindi i tempi e i costi di sviluppo. In più, con il virtuale si migliora significativamente il livello di integrazione con i fornitori di linee di produzione condividendo il modello 3D degli impianti e definendo processi standard di scambio dei dati. Anche qui, si gioca d’anticipo, individuando gli eventuali problemi di integrazione e le loro soluzioni.

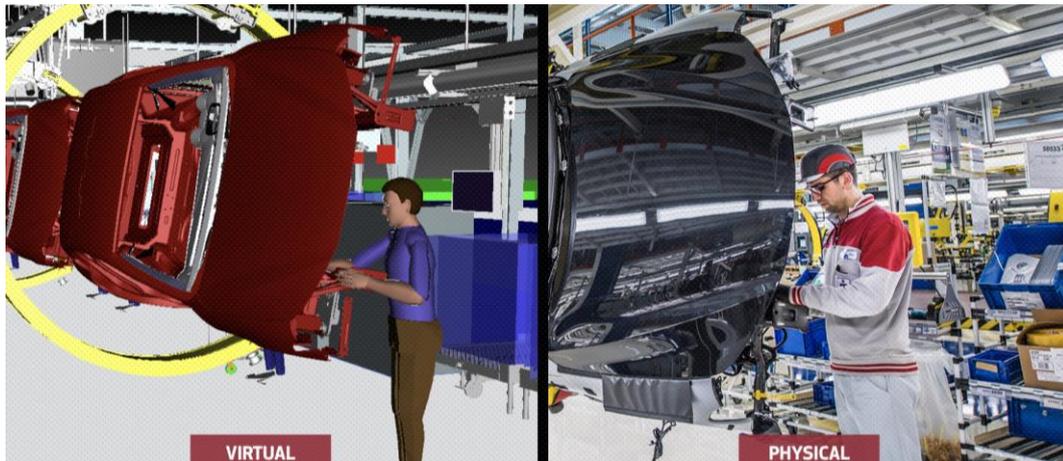


Figura 3.19 Esempio di “Digital Twin” in FCA

Nel grafico in Figura 3.20 questi vantaggi vengono rappresentati in maniera visiva. Sull’asse delle ordinate è riportato il numero di modifiche al processo e di problemi risolti e sull’asse delle ascisse il tempo. La curva verde mostra l’andamento tipico che si aveva in presenza del modo tradizionale di realizzare processo e impianti, quando i problemi venivano scoperti una volta che le linee produttive erano installate fisicamente nel *plant*. La linea blu mostra invece lo stato attuale, dove nella fase “fisica”, sull’impianto reale, si eseguono solo più eventuali ottimizzazioni e *tuning*. Questo consente una riduzione dei costi di realizzazione di nuovi prodotti, o di modifiche ai prodotti già in essere e soprattutto un’ottimizzazione del *time to market*, giungendo ad un prodotto e ad un processo maturo in tempi significativamente più brevi. Tutto questo è anche un grande valore aggiunto per il cliente finale, perché garantisce sin dalle prime vetture prodotte un livello qualitativo ottimale, eliminando di fatto l’impatto di problemi indotti da imperfezioni del processo produttivo.

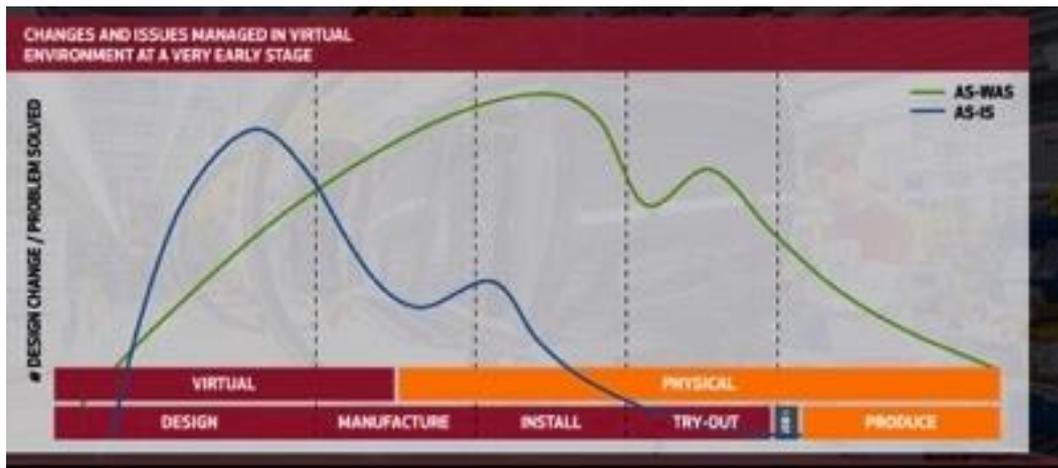


Figura 3.20 *Frontloading in FCA*

Le soluzioni in ambito gestione della produzione trovano invece le loro principali applicazioni direttamente in fabbrica.

La disponibilità di un'enorme quantità di dati, provenienti da diverse aree aziendali e la capacità di connetterli e quindi analizzarli offrono nuove opportunità estremamente interessanti dal punto di vista della gestione della produzione. In FCA, questo si traduce nel *Manufacturing Execution System* (MES), che riveste un ruolo chiave a livello di stabilimento. Il MES è il sistema che costituisce il cervello della fabbrica: raccoglie richieste e dati all'esterno, come gli ordini cliente, le consegne dei materiali, e dall'interno e li traduce in comandi per i macchinari e informazioni per le persone che assemblano il prodotto. In più colleziona continui *feedback* sullo stato di avanzamento del veicolo in linea, in modo da permettere interventi in tempo reale. È un percorso iniziato anni fa con l'automazione di fabbrica, con l'uso di linee robotiche automatizzate e dei PLC, ed è proseguito con la digitalizzazione dell'informazione, prima gestita solamente in maniera cartacea.



Figura 3.21 MES in FCA

Questo processo ha portato l'azienda a rivedere completamente il rapporto tra informazioni e operatori. Da alcuni anni l'operatore ha iniziato a dialogare direttamente con il sistema che gli fornisce puntualmente l'informazione, portandola "fisicamente" nelle linee di produzione attraverso una fitta rete di terminali *touch* interattivi che hanno sostituito quasi ovunque la carta. Nell'ultimo anno, sempre alla ricerca di miglioramenti, l'azienda ha poi realizzato un'ulteriore evoluzione: la disponibilità delle informazioni anche in mobilità nella fabbrica e lungo la linea. Partendo dalle informazioni presenti nel MES, si è lavorato per renderle ancora più accessibili e capaci di interagire con le persone in linea. Sfruttando i *trend* tecnologici e i dispositivi del mondo *consumer*, si sono quindi sviluppati nuovi terminali di interfaccia con gli operatori, come gli *smartphone* e gli *smartwatch*. Quest'ultimo è diventato un terminale mobile del MES rendendo ancora più agevole il flusso delle informazioni da e verso gli operatori.

Le persone in fabbrica sono quindi collegate alla rete con dispositivi *smart* mobili e in alcuni casi indossabili. I dispositivi consentono agli operatori di ricevere, in tempo reale, informazioni sul prodotto e sul ciclo produttivo e di interagire con il MES certificando ad esempio l'esecuzione di una operazione critica o di una

riparazione e di fatto creando le condizioni per migliorare in modo significativo la qualità del prodotto finale. Si tratta di un insieme di soluzioni che, in linea con la filosofia dell'Industria 4.0, contribuiscono a migliorare il flusso delle informazioni tra l'impianto e l'uomo, consentendo di mantenere i *team leader* costantemente informati e connessi al sistema, svincolandoli dalla necessità di restare in una posizione fissa e dandogli la possibilità di reagire velocemente a situazione anomala. Sui loro *device* vengono inviati messaggi di *alert* e tutte le informazioni per una rapida analisi dello stato della produzione. Inoltre è prevista la possibilità tramite i monitor ad alta luminosità denominati *Andon*, di monitorare in ogni istante il funzionamento dell'impianto e di analizzare l'andamento della produzione. Analogamente dei monitor *touchscreen* chiamati *eBoard* consentono un'analisi continua ed immediata della situazione del processo produttivo e della qualità del prodotto. Infine, i dispositivi indossabili consentono agli operatori di inviare una richiesta di aiuto al *team leader* qualora riscontrino una criticità, direttamente dal punto in cui stanno eseguendo un'operazione su vettura, quindi anche a bordo veicolo, e questo riduce sensibilmente i tempi di risposta, migliora l'ergonomia di alcune operazioni e in definitiva riduce il rischio di commettere errori, con evidenti benefici in termini di qualità.

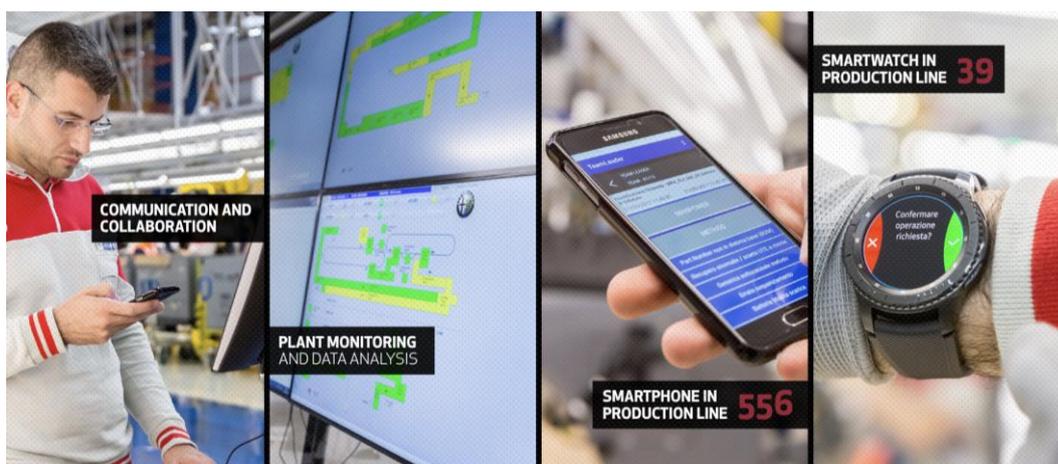


Figura 3.22 Diversi tools di interfaccia utente in FCA

Naturalmente, maggiore è il tasso di automazione di una fabbrica, maggiore è la necessità di avere sistemi di monitoraggio e di manutenzione efficaci. I robot e le macchine sono dotati di sensori con i quali si sta iniziando a gestire in modo predittivo la manutenzione, incrementando l'efficienza e l'utilizzo delle risorse stesse. Diventa quindi fondamentale dotarsi di strumenti che permettano di avere una visione immediata ed efficace dello stato degli impianti e dei macchinari, attraverso schermate sinottiche. Ma un intervento tempestivo è pur sempre un intervento a posteriori. L'ideale diventa invece la capacità di prevedere i malfunzionamenti, così da poter intervenire in anticipo ed evitare i fermi linea (*Predictive Maintenance*). In FCA sono presenti diverse aree modello in cui, usando i sensori presenti o aggiunti sui robot e sulle macchine ed elaborando i dati con unità centrali, è possibile tenere sotto controllo una serie di parametri dando allarmi, non solo per il superamento di limiti, ma anche in presenza di trend di deriva; anche in questo vengono in aiuto i dispositivi mobili, che consentono di creare un filo diretto fra chi lavora sul campo e chi fornisce assistenza in remoto.



Figura 3.23 Robot collaborativi in FCA

Infine, dal punto di vista logistico sono state fatte diverse implementazioni nel sistema di gestione dei materiali e del magazzino. Si è di fronte ad una realtà in continua evoluzione. Partendo dai primi lettori *barcode* che hanno permesso di digitalizzare le informazioni e i processi di gestione del materiale si è arrivati a terminali nelle aree di preparazione dei materiali per agevolare la fase di creazione dei *kit*, a sistemi “*pick to light*” per individuare i giusti materiali da prelevare, alle tecnologie RFID per poter tracciare in una visione complessiva e dinamica il flusso dei materiali, a dotare gli operatori di strumenti indossabili, *smartwatch* ma anche *smartgloves* dotati di lettore *barcode* incorporato, per renderli meno vincolati a postazioni fisse.

Il passo successivo porterà invece alla gestione “*smart*” di informazioni, che prevede anche l’utilizzo di strumenti di *advanced analytics* e di *machine learning* per elaborare i dati anche nel *cloud*.

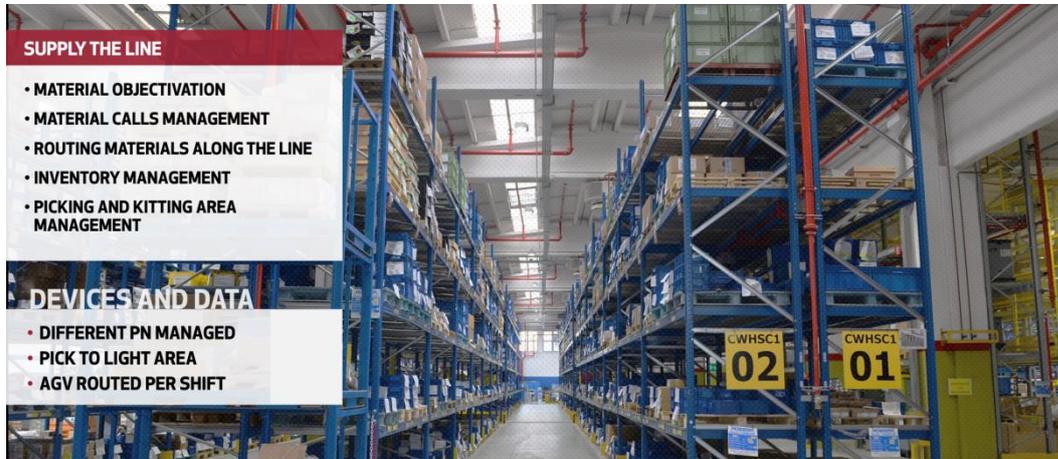


Figura 3.24 Gestione integrata dei magazzini in FCA

In generale, il processo di digitalizzazione del manufacturing in FCA può quindi venir considerato in stato avanzato. Ci sono stabilimenti, come ad esempio Cassino e Mirafiori, che possono già esser considerate delle “*smart factory*”, con

un percorso ben avviato verso l'Industria 4.0. In questo percorso, naturalmente, l'azienda collabora con i migliori partner tecnologici, siano essi aziende multinazionali o startup, che portano il loro contributo di idee e conoscenza.

4 Introduzione ai progetti

4.1 Introduzione ai progetti

Nei capitoli precedenti sono stati riportati alcuni concetti fondamentali riguardanti il WCM, e quindi l'approccio metodologico attraverso il quale FCA identifica, prioritizza e attacca le proprie perdite, e l'Industria 4.0, con le sue opportunità e il modo in cui queste vengono interpretate a livello aziendale.

In particolare, è stato approfondito il sistema degli "use cases": il massiccio coinvolgimento di tutte le principali figure di stabilimento, a livello globale, per identificare potenziali applicazioni di Industria 4.0, sempre facendo attenzione ad assicurarsi che fossero "giustificate", ovvero necessarie per sviluppare soluzioni onerose o addirittura impossibili da ottenere attraverso l'utilizzo di metodi e strumenti tradizionali, oppure per identificare nuove perdite che sarebbero risultate difficili da identificare in maniera tradizionale.

Nel capitolo introduttivo, infine, è stata evidenziata l'importanza di esplorare il contributo che possono dare le diverse regioni operative aziendali, in particolare EMEA e NAFTA, dove risiede il *knowledge* maggiore.

Queste logiche hanno guidato lo sviluppo di questo lavoro di tesi, che dopo un periodo di formazione iniziale presso il WCM Development Center e l'opportunità di seguire da vicino alcuni progetti di Industria 4.0 a Mirafiori e a Cassino, è stato elaborato negli Stati Uniti, per poi ritornare in Italia per le applicazioni di espansione.

A questo proposito si sottolinea come sia stato concesso ampio spazio di manovra per osservare, proporre e sviluppare i progetti in tutte le loro fasi, seppur con un costante supporto e la possibilità di confrontarsi con le varie risorse aziendali coinvolte. Questa libertà di azione ha caratterizzato molto i progetti, dalla fase concettuale a quella di implementazione, permettendo di

imparare moltissimo e di mettere a frutto il bagaglio di competenze pregresso insieme ad una buona dose di creatività, *problem solving* e delle cosiddette *soft skills*.

Dal punto di vista metodologico, un'analisi degli *use cases* già presenti in azienda ha evidenziato l'opportunità di focalizzare l'attenzione su progetti di miglioramento in ambito logistico. Stratificando per argomento, infatti, il numero di *use cases* emersi e valutati, la categoria più numerosa risulta essere quella dei progetti di "produzione", che però comprende un'area molto vasta che mette insieme temi tra loro molto diversi. La seconda categoria, più specifica ed omogenea, risulta essere invece quella della "logistica" e si è quindi deciso di seguire l'indicazione indiretta fornita dal numero di *use cases* proposti dagli stabilimenti e occuparsi di questo ambito, dimostratosi uno dei più fertili dal punto di vista delle potenziali applicazioni in ottica Industria 4.0.

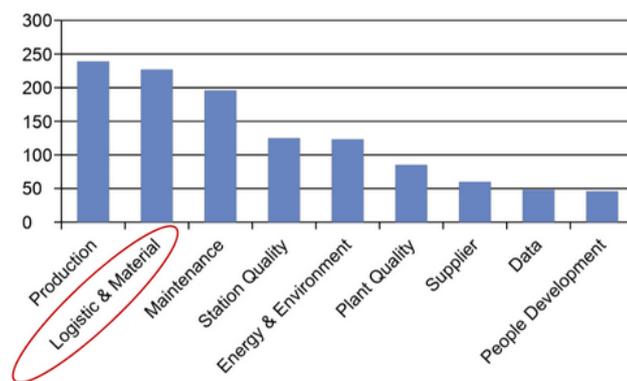


Figura 4.1: Numero di use-case per argomento

L'analisi delle opportunità si è quindi svolta negli Stati Uniti, dove si è avuta la possibilità di visitare tutti gli stabilimenti produttivi presenti nell'area di Detroit, siano essi di stampaggio, di meccanica o di carrozzeria. Durante queste visite ci si

è focalizzati ad osservare principalmente le problematiche riguardanti la logistica.

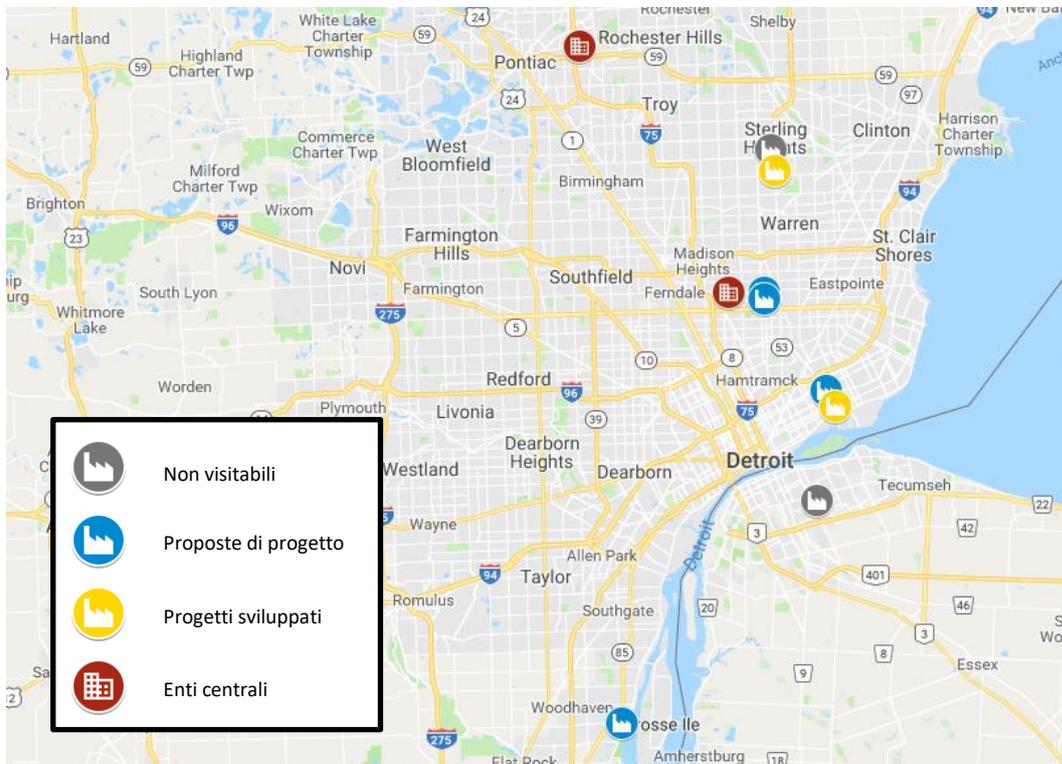


Figura 4.2 Stabilimenti FCA visitati nell'area di Detroit

Sulla base di queste visite e con il supporto dei *Cost Deployment* di stabilimento specifici per la logistica si sono identificate 10 problematiche presenti, potenzialmente risolvibili con soluzioni di Industria 4.0. Questi 10 potenziali progetti sono quindi stati valutati attraverso lo strumento dell'ICE precedentemente descritto, per identificare i 2 progetti più promettenti da portare avanti come lavoro di tesi. Sulla base di questa valutazione riportata in (Figura 4.3) si sono selezionati i seguenti progetti da sviluppare:

- uno strumento operativo di *"temporary real time location"* per ottimizzare i flussi dei materiali nello stabilimento di *Jefferson North*;

- un sistema di tracciabilità dei contenitori nello stabilimento di stampaggio di *Sterling Heights*.

Quest'ultimo progetto, in particolare, viste le caratteristiche del problema e la similarità fra lo stabilimento americano e il suo omologo italiano, si è prestato anche alla possibilità di espansione internazionale a Torino presso lo stabilimento di Mirafiori Presse.

Plant	Project	Impact	Cost	Easyness	I.C.E
MEP	Wip reduction	4	3	2	24
MEP	Finish goods warehouse management	4	3	4	48
TEC	Finish goods warehouse management	4	3	4	48
JNAP	Inefficient route design management	5	5	4	100
JNAP	Tire & Wheel sequencing issue	3	3	3	27
WSP	Inefficient route design management	4	5	3	60
WTAP	I-status vehicle tracking	3	3	4	36
SSP	Real time MdR inventory	4	4	5	80
SSP	Inefficient route design management	4	5	3	60
SSP	Damaged container analysis	4	3	2	24

Figura 4.3 Lista progetti identificati e valutazione ICE

5 Progetto nello stabilimento di Jefferson North

5.1 Introduzione al progetto

Il seguente progetto è stato sviluppato all'interno dello stabilimento *Jefferson North Assembly Plant* (JNAP), situato nella periferia est della città di Detroit. Lo stabilimento risulta caratterizzato da una certa complessità, dovuta a diversi fattori tra cui il difficile contesto sociale nel quale è inserito e i volumi produttivi elevati. A JNAP si producono infatti due modelli di SUV appartenenti al segmento E, il *Jeep Grand Cherokee* e il *Dodge Durango*, per un numero complessivo di circa 1300 unità al giorno. Questi modelli sono in produzione dal 2010, a valle del percorso di integrazione tra Fiat e Chrysler iniziato nella seconda metà del 2009, pertanto lo stabilimento non ha ricevuto aggiornamenti particolarmente recenti e risulta di non ultimissima concezione. Per questo motivo, fino all'avvento della successiva generazione di vetture con conseguente aggiornamento di impianti e piattaforme, la maggior parte degli interventi di miglioramento, soprattutto in ambiti in continua evoluzione come la logistica, ricadono nella tipologia dell'approccio reattivo.

Durante la visita dello stabilimento è stato possibile notare alcune criticità riguardo i trasporti interni. Si è evidenziata una situazione di traffico intenso in alcune aree, con conseguenti possibili inefficienze e potenziali rischi per la sicurezza, nonostante le rotte siano determinate e nonostante gli sforzi profusi dal team di logistica interna nella continua ottimizzazione delle rotte. Seguendo la procedura si è cercata conferma di quanto osservato nel documento di *Logistic Cost Deployment* (LCD) dello stabilimento, per capire se i dati confermino la presenza di effettive fonti di perdite. In Figura 5.1 sono presentati i risultati dell'analisi, ottenuti valutando il LCD e mettendo in evidenza le dieci principali cause radice fonti di perdite.

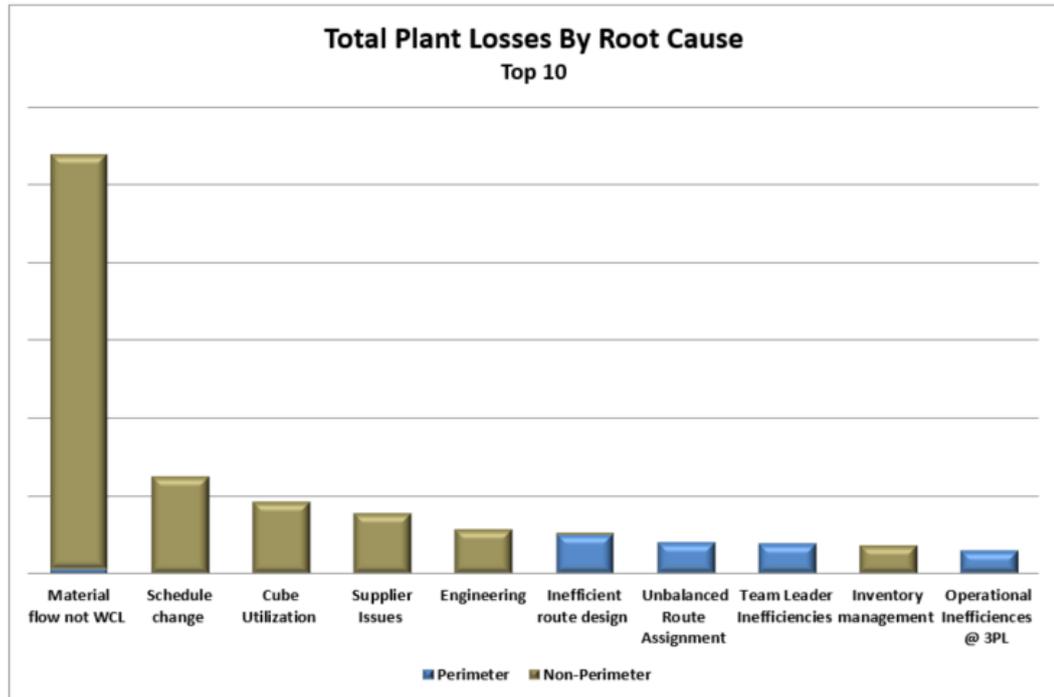


Figura 5.1 LCD di stabilimento: 10 principali cause radice di perdita

Nello sviluppo dei progetti si è scelto, su indicazione dell'azienda, di concentrarsi sulle perdite perimetrali, ovvero quelle che coinvolgono le perdite influenzate unicamente da cause interne allo stabilimento. Questa scelta è stata fatta utilizzando un criterio di opportunità rispetto agli interventi attualmente in atto e alle limitazioni di tempo imposte dalla breve permanenza negli Stati Uniti. Pertanto si costruisce il diagramma di Pareto delle dieci maggiori cause radice di perdite perimetrali (Figura 5.2).

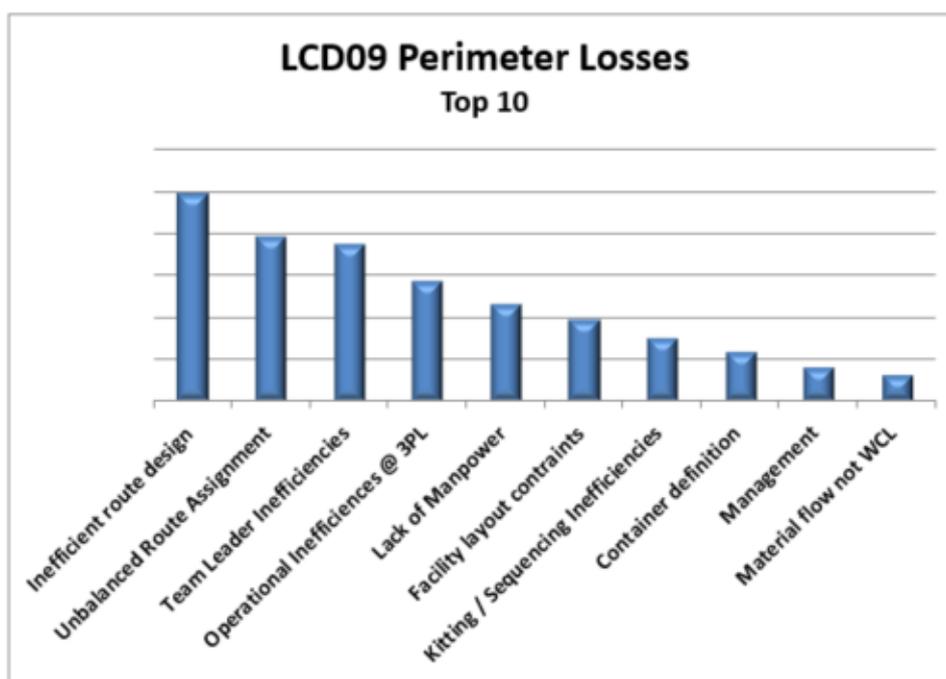


Figura 5.2 LCD di stabilimento: 10 principali cause radici di perdita perimetrali

Si osserva che le prime due cause radice che generano perdite sono *Inefficient Route Design* (IRD) e *Unbalanced Route Assignment* (URA); la prima voce si riferisce alle NVAA contenute nei cicli di lavoro dei carrellisti, mentre la seconda si riferisce allo sbilanciamento e alla dissaturazione dei carichi di lavoro degli operatori addetti all'*handling*. Il valore complessivo delle due perdite si aggira intorno al 37% del totale, e più precisamente risulta essere il 20,7% per IRD e il 16,4% per URA, confermando che in fase di osservazione è stato individuato un problema reale. Dall'estensione dell'analisi ai documenti LCD di altri stabilimenti presenti nell'area si è potuto osservare inoltre come le due voci compaiano tra le principali fonti di perdite perimetrali anche in altri stabilimenti e questo pone le basi per lo sviluppo di un progetto che sia concepito nello stabilimento di JNAP, ma che risulti utile e trasferibile anche in altre realtà. L'obiettivo è quindi quello di progettare una soluzione che sia qualificabile come *best practice* e possa diventare uno *standard* da diffondere. Come dichiarato nell'introduzione a

proposito dell'approccio generale alla sfida oggetto della tesi, infatti, la possibilità di progettare soluzioni digitali scalabili e diffondibili per cogliere tutte le opportunità di efficienza negli stabilimenti è di primaria importanza. Nello sviluppo di *use case* applicativi non avrebbe molto senso dare priorità a soluzioni puntuali, che rispondano in maniera eccessivamente personalizzata ai problemi di un singolo stabilimento, rinunciando alla possibilità di generare un beneficio trasmissibile anche ad altre realtà.

5.2 Use Case applicativo

La descrizione della soluzione immaginata per attaccare le perdite dovute all'inefficienza delle rotte dei trasporti interni parte dalla comprensione del metodo attualmente utilizzato per l'ottimizzazione dei percorsi. Le rotte vengono stabilite inizialmente utilizzando il layout dello stabilimento, valutando i punti di prelievo e consegna e incrociando le necessità di movimentazione dei materiali, costituite principalmente da quantità e frequenze, con eventuali vincoli derivanti da altre attività. Queste rotte vengono continuamente aggiornate e migliorate secondo le necessità e le criticità che vengono via via evidenziate. In questo il team di logistica svolge infatti un compito in continua evoluzione, perché deve far fronte al cambiamento delle condizioni interne allo stabilimento e alle variazioni dei livelli produttivi e del mix delle vetture, ri-ottimizzando i trasporti interni ogni qual volta si ritiene necessario. Semplificando di molto la procedura, per fare ciò si utilizzano i disegni CAD con il layout dello stabilimento, sui quali vengono tracciate le rotte *as is* e si provvede a ipotizzare modifiche e a valutare il loro impatto potenziale. Questa operazione in parte attinge dall'esperienza degli operatori logistici, che non devono solo tenere conto dei percorsi ottimali ma anche dell'effettiva esecuzione degli operatori che guidano i mezzi. In tal senso pare evidente che la componente discrezionale degli operatori che sono sul

campo farà in modo che non sempre il percorso effettivo sia uguale a quello di progetto. Concepire rotte che siano il più possibile seguibili senza variazioni nella realtà significa mettere in campo una profonda conoscenza delle dinamiche di stabilimento e un atteggiamento proattivo per immaginare le motivazioni di possibili deviazioni e adottare le opportune contromisure. Questo processo risulta tuttavia macchinoso e non sempre efficiente.

La proposta sviluppata all'interno di questo progetto è ideare uno strumento di analisi innovativo che preveda un'acquisizione diretta e digitale delle rotte reali da usare come base di partenza del processo di ottimizzazione. L'idea è quella di progettare un *Real Time Location System* (RTLS) che permetta di acquisire in tempo reale e registrare i dati provenienti dai mezzi movimentati. Questo RTLS è però pensato come uno strumento analitico temporaneo, in accordo con i principi dell'attacco agli sprechi contenuti nella filosofia del WCM. Una volta aumentata la risoluzione su ciò che accade realmente sul campo si deve infatti procedere a risolvere il problema eliminando definitivamente la perdita. Non avrebbe senso, al fine di ottimizzare le rotte, creare un RTLS, con la relativa infrastruttura, che funzioni in pianta stabile e acquisisca continuamente dati. Si ricerca una soluzione in cui lo strumento sia utilizzabile per un'opportuna finestra di tempo, ad esempio alcuni giorni o una settimana, sufficiente ad acquisire dati consistenti e successivamente sia possibile rimuoverlo ed utilizzarlo per analisi che coinvolgono altre aree dello stabilimento.

Prima di entrare maggiormente nel merito della tecnologia che si intende utilizzare, e più in generale della soluzione studiata, si ragiona sulle due principali criticità con cui si dovrà fare i conti:

- 1) Indagare a fondo i reali limiti tecnologici del sistema di RTLS scelto all'interno di un ambiente complesso come uno stabilimento che produce autovetture. La presenza di molto metallo e di diversi sistemi che possono causare interferenze richiede un'analisi del reale

comportamento della soluzione scelta, che deve non solo risultare in grado di assolvere al compito che le è affidato, ma essere anche sufficientemente robusta.

- 2) Indagare i percorsi eseguiti dai trasportatori interni, tracciando le rotte reali dei mezzi di movimentazione, significa anche tracciare i carrellisti che guidano i mezzi. Questo, seppure si tratti di una condizione temporanea e non stabile, pone questioni etiche e sindacali, al quale in parte si è accennato nel capitolo generale sull'Industria 4.0, e possibili problemi di natura legale. Entrambi andranno indagati nelle opportune sedi con tutti i soggetti coinvolti, azienda e sindacati.

5.3 Introduzione alle tecnologie RTLS

Nel paragrafo precedente si è accennato all'idea di ricorrere ad un sistema RTLS. Una descrizione accurata delle diverse soluzioni tecnologiche disponibili e del loro funzionamento non rientra nello scopo di questa tesi, tuttavia alcune considerazioni generali possono aiutare a comprendere le caratteristiche della soluzione selezionata introducendo dei criteri per valutarla.

I *Real Time Location System* (RTLS) sono sistemi in grado di definire la posizione di un dato oggetto, fermo o in movimento, tipicamente valutando la distanza dell'oggetto osservato da elementi di rilevazione fissi, spesso chiamati "ancore" o "boe", la cui posizione è nota. I sistemi RTLS sono prevalentemente utilizzati per l'individuazione, ed eventualmente il tracciamento, in ambienti *indoor*, dove soluzioni basate sul GPS risultano imprecise o in alcuni casi addirittura inefficaci. Le tecnologie che permettono di effettuare la valutazione della distanza rispetto agli elementi fissi sono diverse, ma la maggior parte si possono iscrivere in tre categorie principali: a radiofrequenza, ottiche o a ultrasuoni. La tecnologia più

interessante se si pensa ad un'applicazione in un ambiente industriale, caratterizzato da alta densità ed elevata presenza di metallo, è sicuramente quella basata sulla radiofrequenza, poiché, a differenza delle altre, il segnale può penetrare gli ostacoli che inevitabilmente incontra e permettere così la misura. Altra classificazione tra le diverse tecnologie è quella relativa alla grandezza misurata e successivamente utilizzata per stimare la distanza. Esistono principalmente quattro modi di valutare la posizione:

- *Time of Arrival (ToA)*: la stima della posizione avviene calcolando il tempo di propagazione del segnale, di cui è nota la natura e quindi la velocità. Ovviamente tale approccio basato sul tempo prevede che le misure siano adeguatamente sincronizzate tra i nodi coinvolti.
- *Angle of Arrival (AoA)*: la posizione viene individuata attraverso la misura dell'angolo di incidenza dei segnali in entrata, inviati da trasmettitori la cui posizione è nota e le cui antenne emettono un segnale direzionale con angolazione nota.
- *Time Difference of Arrival (TDoA)*: si valuta la differenza in tempo nell'arrivo dei segnali emessi da più trasmettitori. Nel caso si sia interessati alla posizione relativa degli oggetti da tracciare si può applicare lo stesso principio emettendo un singolo segnale e valutando il ritardo di ricezione presente tra i diversi ricevitori.
- *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*: viene misurata l'intensità del segnale considerato il fenomeno di attenuazione che ha luogo durante la propagazione. In generale questo metodo può risultare più debole di altri in ambienti *indoor* con elevata densità, caratterizzati da fenomeni di assorbimento, diffrazione e riflessione, tuttavia un adeguato numero di elementi di rilevazione fissi può permettere il suo funzionamento senza

difficoltà anche in questo tipo di ambienti.

Per quanto riguarda i criteri per valutare i diversi sistemi RTLS si possono identificare diversi parametri che ne descrivono le funzionalità come accuratezza, precisione, robustezza e scalabilità oltre ai parametri legati al costo e alla semplicità di implementazione ed impiego.

Per quanto riguarda accuratezza e precisione si deve innanzitutto sottolineare quanto, nonostante nel linguaggio comune a volte i due termini siano usati come sinonimi, si tratti di due concetti ben distinti. L'accuratezza riguarda l'errore medio che è commesso nella misurazione, ovvero la media degli errori tra la posizione stimata e la posizione reale. La precisione si riferisce invece alla distribuzione delle misure relative alla medesima posizione e più precisamente alla varianza.

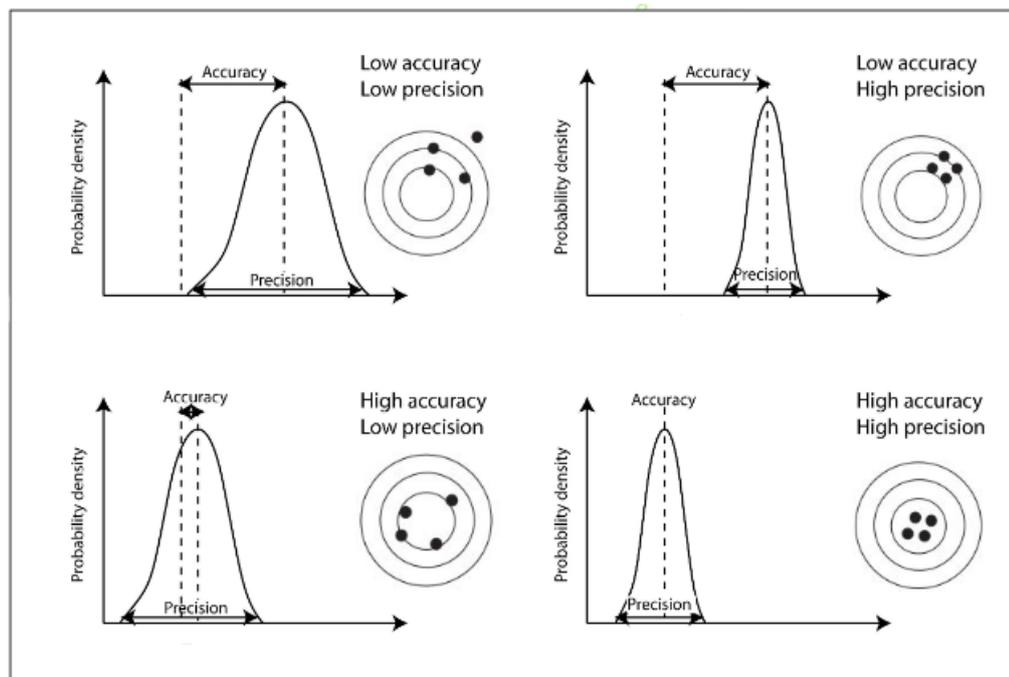


Figura 5.3 Differenza tra precisione e accuratezza

In Figura 5.3 si vede una rappresentazione grafica di quanto descritto sulla differenza tra precisione e accuratezza e sono presentate alcune situazioni con diversi possibili valori assunti dai due parametri.

Per l'applicazione in esame i parametri vanno rapportati alle dimensioni dell'oggetto osservato e alla necessità non tanto di identificare la posizione in maniera precisa, ma di tracciare il percorso di un oggetto in movimento. Bisogna inoltre considerare che i due parametri non sono influenzati solo dal tipo di strumento selezionato, ma anche dalla quantità di rilevatori e dall'ambiente in cui la misurazione avviene. Poiché i mezzi di movimentazione di cui si vuole valutare la posizione hanno dimensioni nell'ordine di grandezza del metro, e la necessità di tracciare i percorsi è funzionale a valutare le rotte eseguite in maniera qualitativa, si possono accettare errori assoluti della stessa dimensione dell'oggetto osservato, per cui i due parametri vanno adeguati al raggiungimento di questo risultato.

Un altro fondamentale parametro è la robustezza. La robustezza è la capacità del sistema RTLS di garantire un funzionamento adeguato anche in condizioni non ottimali e di fornire comunque risultati consistenti. Cambiamenti nell'ambiente possono infatti influenzare negativamente il funzionamento del sistema RTLS. Si evidenziano ad esempio due situazioni incontrabili:

- Alcuni segnali possono essere bloccati da ostacoli che non rendono possibile la ricezione. A questo inconveniente si può ovviare inserendo un adeguato numero di rilevatori fissi che assicurino comunque la ricezione di un numero di segnali sufficienti a stimare la posizione.

- In un ambiente denso, con presenza elevata di ostacoli, metallo ed esseri umani, composti in gran parte di acqua, il segnale segue un approccio *multipath*. Queste interferenze infatti, causando assorbimento e riflessione, possono interferire con il segnale causando piccole deviazioni e influenzando il valore delle grandezze precedentemente descritte per il calcolo della distanza.

Come dichiarato nell'introduzione ai progetti, l'implementazione di soluzioni di Industria 4.0 per potenziare o sostituire i sistemi di gestione attuali deve garantire alti livelli di robustezza, pertanto tale parametro è di elevata importanza nell'individuazione della soluzione.

Ultimo parametro di cui è opportuno parlare è la scalabilità, ovvero la capacità del sistema RTLS, eventualmente potenziato con l'aggiunta di nuovi elementi di rilevazione fissi, di funzionare anche quando il numero degli oggetti da localizzare o l'area da coprire aumentano. Anche questo parametro risulta essere molto importante per l'utilizzo che si intende fare del sistema RTLS, consegnando allo strumento che si vuole ideare una buona adattabilità a realtà diverse.

5.4 Descrizione della tecnologia scelta

Tra le numerose tecnologie disponibili si è scelto di utilizzare particolari dispositivi denominati *Beacon*, appartenenti alla categoria dei sistemi a radiofrequenza, che come detto è la più indicata considerando l'ambiente nel quale si intende implementare la soluzione. Le tecnologie concorrenti, sempre appartenenti a quest'ultima categoria, in grado di garantire le stesse funzionalità sono principalmente due: gli RFID attivi e l'*Ultra Wide Band (UWB)*. Entrambe le tecnologie hanno potenzialmente capacità simili, se non migliori in termini di distanza, ma i dispositivi *beacon* sono stati ritenuti i più appropriati per l'applicazione studiata poiché possono garantire una soluzione efficace caratterizzata da costi contenuti, facilità di installazione ed utilizzo ed elevata flessibilità. Le altre tecnologie citate, pur riuscendo a garantire distanze di utilizzo persino superiori, sono infatti caratterizzate da costi maggiori e dalla necessità di infrastrutture fisse per gestire la rilevazione, non compatibili con l'esigenza di uno strumento di analisi temporaneo che deve poter essere dispiegato su aree diverse senza prevedere costi aggiuntivi. Inoltre è stata valutata positivamente la

capacità dei *beacon* di interagire con elementi esterni quali smartphone, tablet e computer permettendo di ampliare le potenzialità del sistema.

I *Beacon* sono piccoli dispositivi wireless basati sulla tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE) che utilizzano lo standard *Bluetooth 4.0* e successivi, per scambiare piccole quantità di dati con un modesto consumo di energia. Utilizzano un segnale con frequenza 2,4 GHz e, come dei radiofari, da cui il nome inglese *beacon* che significa appunto faro, presentano costantemente un'informazione del tipo "lo sono qui, mi chiamo...". Proprio come per un faro l'informazione è inviata a prescindere dalla presenza di dispositivi che possono riceverla, ad intervalli regolari definiti *Advertising Interval*, parametro modificabile che come vedremo in seguito è di assoluta importanza per l'applicazione in sistemi di localizzazione. In generale la tecnologia è costituita da due elementi distinti: un presentatore, costituito dal singolo dispositivo *beacon*, che emette il segnale contenente l'informazione e un ricevitore che intercetta il segnale ed è in grado di ricevere l'informazione e stimare la distanza che lo separa dal dispositivo *beacon*.

La stima della distanza avviene tramite il metodo RSSI precedentemente descritto, ovvero utilizzando il valore della potenza del segnale ricevuto, influenzato dalla distanza e dalla potenza iniziale del segnale trasmesso, a partire dalla conoscenza del costruttore del parametro *Reference Power*, ovvero la RSSI attesa alla distanza di un metro dal dispositivo *beacon*. L'intensità del segnale per la maggior parte dei costruttori varia in un *range* da -40 dBm a +4 dBm. Questo valore influenza direttamente la distanza a cui arriva il segnale ed in molti dispositivi è configurabile su diversi livelli per adeguare il sistema alle distanze di ricezione attese e ridurre così il consumo della batteria.

In base all'utilizzo per cui sono pensati, sono presenti *beacon* con distanze operative molto diverse, che vanno dai 10-15 m dei dispositivi più semplici, ai 50-70 m per i dispositivi più diffusi, ai 200 m "teorici" dei dispositivi di punta concepiti appositamente per la localizzazione. Nell'ultimo caso si preferisce

parlare di metri “teorici” poiché, come spiegato in precedenza, i sistemi che valutano la distanza attraverso la RSSI tendono a soffrire dell’influenza di fattori esterni che causano assorbimento, diffrazione e interferenza, e all’aumentare della distanza dal *beacon* possono risultare instabili rendendo la stima poco rappresentativa. Per questo, anche se effettivamente il segnale può arrivare a 200 m, si preferisce considerare una distanza operativa di 120-150 m, a seconda dell’ambiente ipotizzato, per assicurare che la distanza sia calcolata in maniera consistente. Questa problematica diventa man mano meno significativa con il diminuire delle distanze di lavoro e pertanto influisce poco sui dispositivi che lavorano su distanze minori, anche se, per assicurare una buona accuratezza conviene comunque tener presente che le capacità di localizzazione degradano quando ci si avvicina ai limiti operativi, prevedendo un’opportuna ridondanza di ricezione ed evitando di sfruttare le potenzialità dei dispositivi fino al massimo delle loro possibilità.

Per quanto riguarda la durata della batteria, la maggior parte dei dispositivi sono venduti con un’autonomia che va da uno a qualche anno, ma questo valore, molto importante per definirne l’usabilità, può variare sensibilmente, principalmente in relazione a tre parametri fondamentali. Innanzitutto tale valore è relativo ad un uso continuato durante tutto il giorno, per cui riducendo la quantità di ore in cui il *beacon* è attivo questo valore aumenta sensibilmente; sono presenti a tal proposito in alcuni dispositivi di nuova concezione delle modalità per il risparmio energetico che utilizzano sensori di luminosità o permettono di programmare i *beacon* per essere attivi ad orari prestabiliti. Il secondo parametro che influenza sensibilmente la durata della batteria è la potenza del segnale. Come detto i *beacon* possono lavorare a diversi livelli di potenza e questa va settata opportunamente in relazione alla distanza di trasmissione desiderata. L’ultimo parametro che ha un forte impatto sulla durata della batteria è l’*advertising interval*, ovvero l’intervallo di tempo che intercorre tra l’emissione di due segnali consecutivi. Impostare un valore di *advertising interval* più piccolo significa inviare più segnali nello stesso tempo e quindi

necessariamente la durata della batteria ne risentirà. Per osservare quanto appena descritto si riporta un'immagine (Figura 5.4) proveniente dal sito della *kontakt.io*, un'azienda produttrice di *beacon*, dove si mostra come sia possibile stimare la durata della batteria, per ogni prodotto, a partire dai tre parametri presentati. In (Figura 5.4) si fa riferimento ad uno dei dispositivi di base proposti dall'azienda, settato su una distanza di lavoro di 60 m.

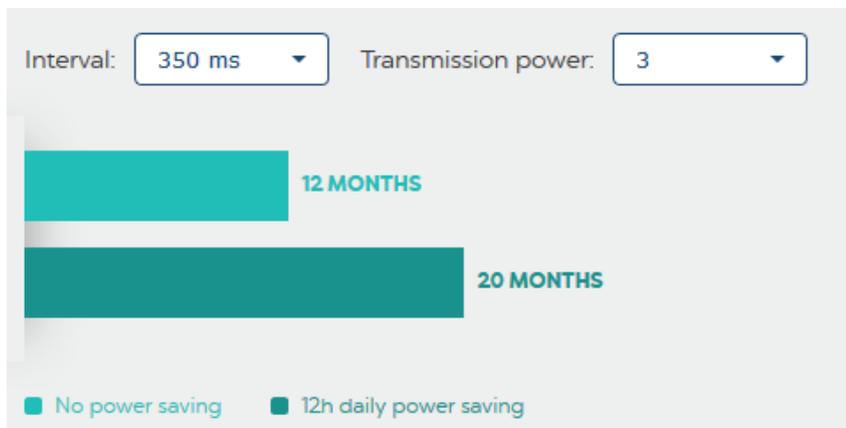


Figura 5.4 Stima della durata della batteria a partire dai tre parametri che la influenzano

Come in parte già mostrato esistono *beacon* molto diversi tra loro, per dimensioni, distanze operative e tecnologie implementate nel dispositivo. Infatti, anche se i *beacon* usano prevalentemente la tecnologia BLE, sono spesso forniti di altre tecnologie di comunicazione così come possono essere dotati di sensori di varia natura. Un esempio di questo può essere riscontrato nel catalogo online dei dispositivi *beacon* dell'azienda del settore *Estimote*, riportato in Figura 5.5 e Figura 5.6 dove si vede quanto sia ampia la gamma dei dispositivi disponibili.

	 Sticker Beacon	 Proximity Beacon 2014	 Proximity Beacon 2018	 Location Beacon
Built-in Radios	Bluetooth 4.2	Bluetooth 4.2	Bluetooth 5.0	Bluetooth 5.0
Default battery life	1 year	2 year	3 years	3 years
Maximum battery life	1 year	3 year	5 years	5 years
Maximum Bluetooth range	7 meters	70 meters	100 meters	150 meters
Supported use-cases	asset tracking	proximity	proximity, presence verification	proximity, indoor location, presence verification
Thickness	6 mm	15 mm	25 mm	24 mm
Length	29-66 mm	55 mm	69 mm	63 mm
Width	28-44 mm	38 mm	46 mm	41 mm
Weight	8-12 g	30 g	86 g	67 g
Built-in sensors	accelerometer, temperature	accelerometer, temperature	accelerometer, temperature, ambient light	accelerometer, temperature, ambient light, magnetometer
Additional tech	n/a	n/a	NFC, RGB LED	NFC, RGB LED, GPIO, RTC, EEPROM

Figura 5.5: Catalogo online della *Estimote*

	 Location UWB Beacon	 Video Beacon	 NEW LTE Beacon
Built-in Radios	Bluetooth 5.0 UWB	Bluetooth 5.0 WiFi	Bluetooth 5.0 LTE-M/NB-IoT GPS/GALILEO/ GLONASS
Default battery life	3 years	USB	2 years
Maximum battery life	5 years	USB	USB-C
Maximum Bluetooth range	200 meters	10 meters	200 meters
Supported use-cases	proximity, indoor location, robotics	proximity, digital signage	asset tracking vehicle tracking, presence verification, proximity
Thickness	27 mm	14 mm	16 mm
Length	75 mm	90 mm	90 mm
Width	50 mm	60 mm	90 mm
Weight	98 g	72 g	57 g
Built-in sensors	accelerometer, temperature, ambient light, pressure	temperature	accelerometer, temperature
Additional tech	NFC, RGB LED GPIO RTC EEPROM	HDMI, eMMC	NFC, RGB LED, programmable button

Figura 5.6: Catalogo online della *Estimote*

Un'altra caratteristica importante dei *beacon* è che possono dialogare anche con altri dispositivi che utilizzano lo standard *Bluetooth 4.0* o superiori, come la maggior parte dei computer e dei dispositivi elettronici del tipo smartphone e tablet. Sono previsti protocolli diversi per adeguarsi ai differenti sistemi operativi e ad esempio sono in grado di interagire tramite il protocollo *Eddystone* con i dispositivi dotati di *Android 4.3* o superiori e tramite il protocollo *iBeacon* per quanto riguarda i dispositivi dotati di *iOS 7* o superiori. Questa estrema compatibilità li rende molto flessibili e capaci di adattarsi ad utilizzi molto diversi.

Prendendo ad esempio una delle possibili architetture di sistema, proposta dall'azienda *Beacon Line*, costituita da una serie di nodi *beacon* collegati tra loro

tramite cavo *ethernet* che terminano in un *gateway* che gestisce le informazioni, si possono osservare le diverse modalità di interazione tra i *beacon* e i dispositivi di altra natura dotati di *Bluetooth 4.0*. La prima modalità (Figura 5.7) è quella base precedentemente descritta in cui il *beacon* emette il segnale ad intervalli regolari che può essere intercettato da un dispositivo che ne rileva la presenza, l'identità e la posizione attraverso una stima della distanza relativa.

Uno dei primissimi *use case* ipotizzati che utilizza questa modalità è la ricerca di un oggetto. Se, ad esempio, si è agganciato un *beacon* alle chiavi di casa o alla borsa è possibile, entrati nel raggio del segnale, identificare ed essere "guidati" verso l'oggetto cercato. Poiché il dispositivo che riceve il segnale è unico, in realtà non sarà possibile conoscere la posizione esatta del *beacon* su una mappa o una planimetria, ma solo sapere se ci si sta avvicinando o allontanando e avere una stima della distanza.

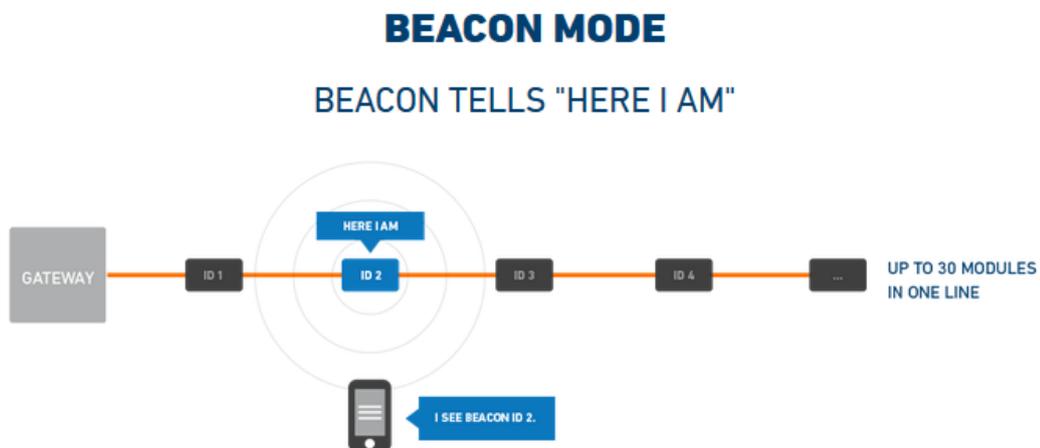


Figura 5.7 Schema architettura *Beacon mode*

La seconda modalità (Figura 5.8) prevede che il *beacon* sia il dispositivo ricevente e capti la presenza dello smartphone o tablet che si avvicina nella sua zona di competenza.

Un *use case* tipico di questa modalità è caratterizzato dai sistemi di localizzazione di persone in ambienti chiusi, che possono ad esempio essere utilizzati nei musei per comprendere i flussi dei visitatori.

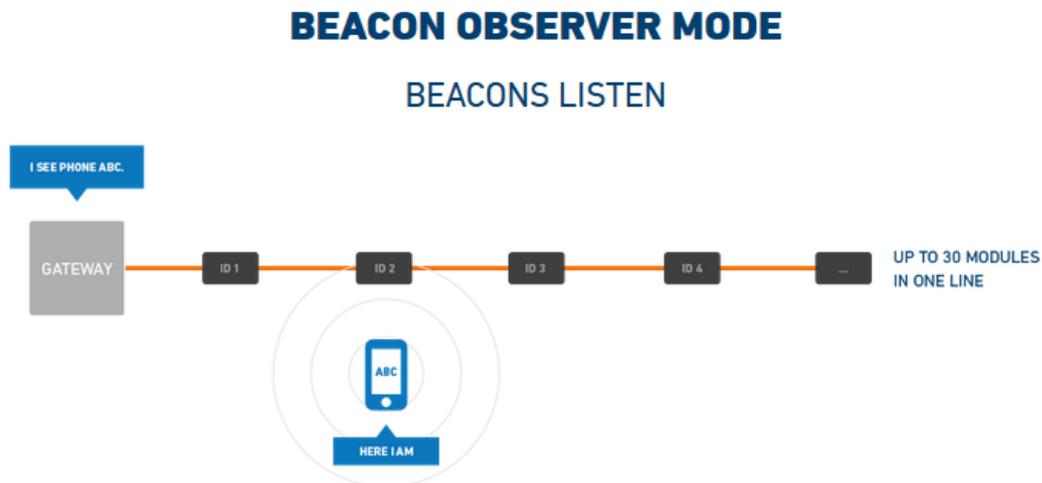


Figura 5.8 Schema architettura *Observer mode*

L'ultima modalità disponibile (Figura 5.9) prevede che il *beacon* funzioni contemporaneamente da emettitore e ricevitore, permettendo di interagire in maniera completa con gli altri dispositivi presenti.

Uno dei primissimi *use case* associati ai *beacon*, che utilizza questa modalità, è legato al *proximity marketing*. I *beacon* possono essere così utilizzati in ambito commerciale impostando *trigger* che si attivano all'avvicinamento di un cliente e interagiscono con lui ad esempio fornendo informazioni aggiuntive sui prodotti o proponendo sconti. Inoltre è possibile effettuare un trasferimento di dati tra i due dispositivi che ad esempio mostri le informazioni sul display dello *smartphone* in forma di testo o immagine.

BEACON DUAL MODE

BEACON TELLS AND LISTEN SIMULTANEOUSLY

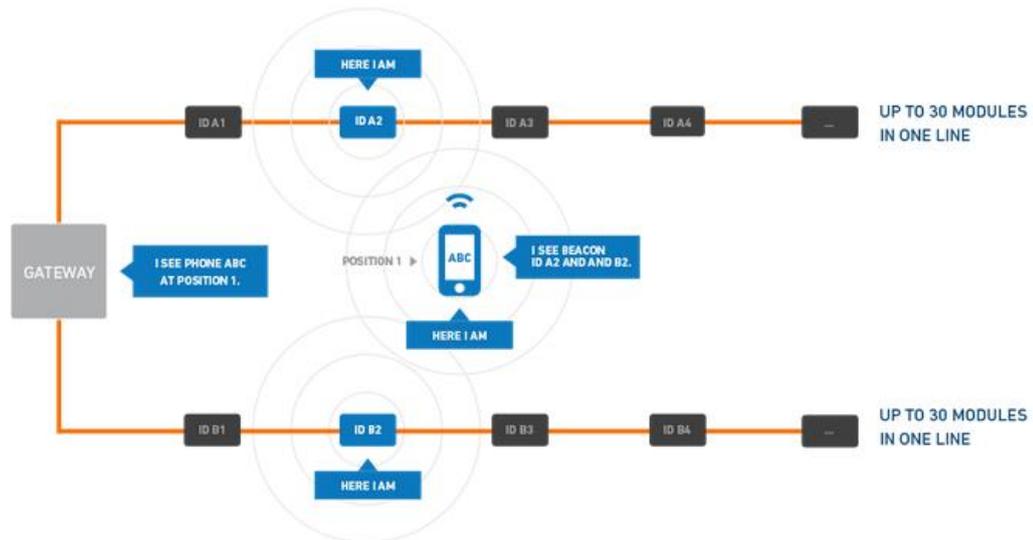


Figura 5.9 Schema architettura *Dual mode*

Al di là dei casi di utilizzo descritti come esempio sono presenti innumerevoli altre possibilità di utilizzo dei *beacon*, molte delle quali ancora da indagare. Esempi creativi di applicazioni già implementate possono essere incontrati nei campi più svariati, come ad esempio il *Guggenheim Museum* di *New York* che li utilizza per interagire con i visitatori mostrando informazioni aggiuntive sulle opere alle quali ci si avvicina, o il *Camp Nou*, stadio del FC Barcellona, che li utilizza per rendere più coinvolgente l'esperienza di visita allo stadio, o ancora un parco zoologico sudamericano che li utilizza al collo dei lama per tracciarne i movimenti. Infine, come esempio di creatività applicata in ambito sociale, è in studio in Romania un'applicazione che ha lo scopo di agevolare i non vedenti che si accingono a prendere il bus, avvisandoli con un segnale acustico quando il mezzo arriva alla fermata e guidandoli verso l'entrata.

Terminata la panoramica sulla tecnologia relativa ai *beacon* si procede con la descrizione del tipo di architettura di sistema ipotizzata per la soluzione che verrà implementata a JNAP. Le architetture disponibili sono sostanzialmente due:

- Architettura *beacon*-dispositivo mobile: in questa modalità, inizialmente la più diffusa, il *beacon* è utilizzato in posizione statica e il rilevamento viene eseguito tramite uno o più dispositivi mobili, smartphone o tablet, con installata un'apposita applicazione. Il dispositivo mobile scansiona l'ambiente circostante in cerca del segnale di uno o più *beacon* e, quando riceve un segnale, stima la distanza che intercorre tra i due elementi. Questo tipo di architettura risulta molto utile quando bisogna tracciare elementi "esterni" al sistema, come ad esempio i visitatori di un museo o i clienti di un negozio.

- Architettura *beacon-gateway*: questa modalità prevede l'utilizzo di *gateway* come punti di rilevamento fissi, mentre i *beacons* sono solidali con gli elementi in movimento. Il *gateway* non si limita ad occuparsi della stima della distanza, ma gestisce anche i dati inviandoli ad un server esterno che provvederà successivamente ad elaborarli. Per questo motivo questo tipo di architettura è molto indicata, se non addirittura imprescindibile, quando il numero degli oggetti da tracciare risulta particolarmente elevato. Inoltre questo modello permette di aumentare l'accuratezza della misura, andando incontro alle diverse esigenze applicative, attraverso l'aumento del numero di *gateway* che ricevono contemporaneamente il segnale. Infine questa architettura non preclude l'utilizzo di dispositivi mobili come punti di rilevazione aggiuntivi, permettendo una maggiore interazione con il sistema.

Poiché l'applicazione immaginata richiede di coprire un'area di grandi dimensioni, di gestire e registrare un'ingente serie di dati e deve garantire un elevato grado di scalabilità, si ritiene più appropriata un'architettura del tipo *gateway-beacon*.

5.5 Identificazione dell'area modello

Identificata la perdita da attaccare e lo strumento con cui attaccarla bisogna ora selezionare l'area dello stabilimento in cui implementare la soluzione. A questo scopo il metodo del WCM prevede che si classifichino le aree risalendo la stratificazione delle perdite del LCD per comprendere quali siano quelle maggiormente interessate dalla perdita sulla quale si sta intervenendo e che quindi beneficerebbero maggiormente dell'attività di miglioramento. L'area così identificata viene denominata area modello. Questo passaggio è fondamentale non solo per indirizzare meglio le risorse, attaccando l'area con maggiori perdite e traendone quindi maggior beneficio in termini di riduzione delle stesse, ma anche perché intervenendo dove la situazione è più critica si ha la possibilità di generare più conoscenza sulla perdita e su come attaccarla attraverso metodi e strumenti adeguati, poiché verosimilmente si incontreranno maggiori problemi. Questo bagaglio sarà utilissimo quando, terminata l'opera di miglioramento nell'area modello, si procederà ad espandere la soluzione in altre aree dello stesso stabilimento o addirittura a farne uno standard da diffondere ad altri stabilimenti.

Per individuare l'area modello si parte dal diagramma di Pareto delle perdite perimetrali relativo alle diverse aree dello stabilimento (Figura 5.10).

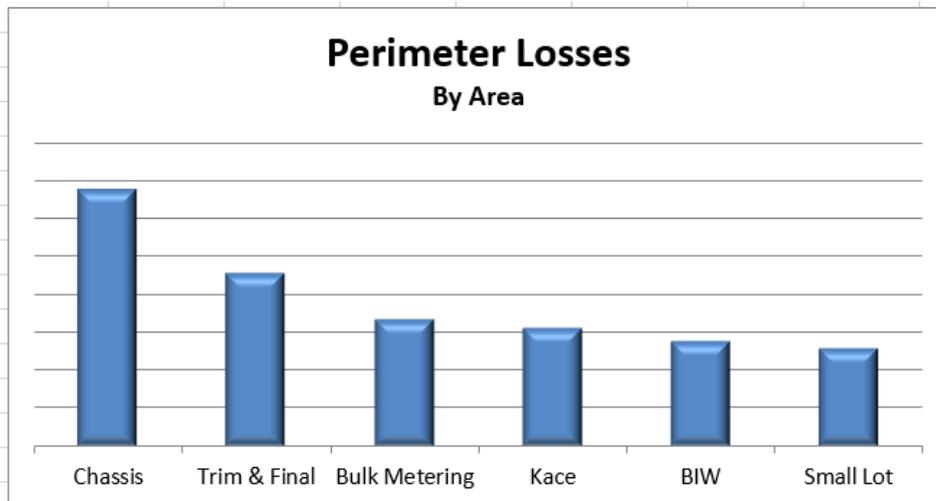


Figura 5.10 Perdite perimetrali di stabilimento per area

Dal grafico (Figura 5.10) si può osservare come l'area maggiormente interessata dalle perdite perimetrali risulta essere quella denominata *Chassis*. Con riferimento alle due perdite evidenziate in precedenza, *Inefficient Route Design* e *Unbalanced Route Assignment*, si svolge inoltre un'ulteriore analisi per confermare che l'area appena identificata sia effettivamente quella maggiormente interessata dalle perdite in esame.

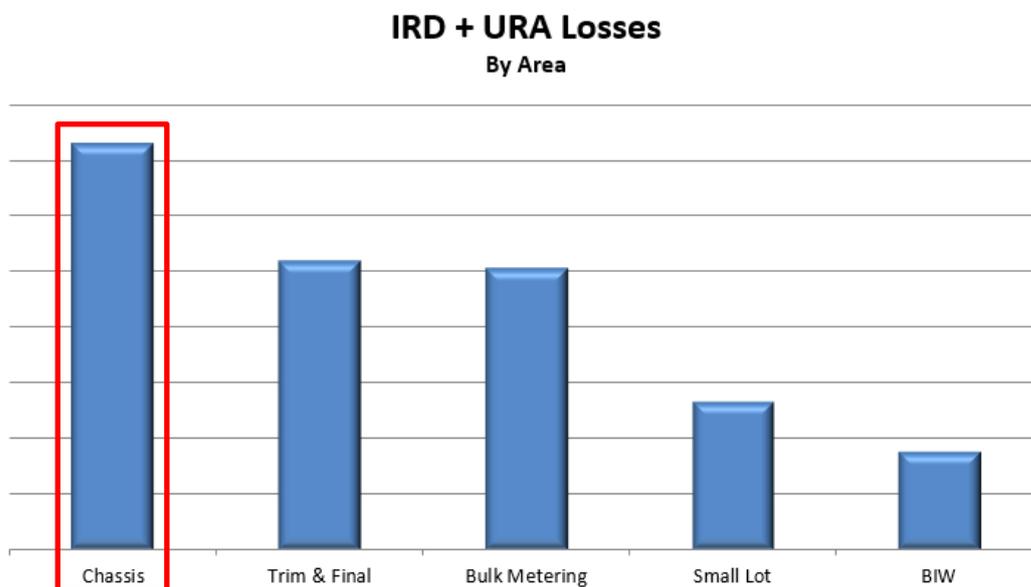


Figura 5.11 Perdite IRD & URA per area

Come evidenziato in Figura 5.11 l'area denominata *Chassis* si conferma quella maggiormente interessata dalle perdite che si è deciso di attaccare. A livello di produzione la linea *Chassis* è quella parte della linea di montaggio nella quale si installano le meccaniche. In questa area vengono montate le sospensioni anteriori e posteriori, il motore propulsore, il serbatoio, la marmitta e si fanno i collegamenti dei tubi freno, carburante e olio. A livello logistico, però, parlare di area *Chassis* significa più in generale coinvolgere tutte le aree dedicate all'asservimento della linea *Chassis*, compresi i moli di scarico, le aree di *picking* o di *kitting* ed eventuali stazioni di assemblaggio di complessivi che poi vengono montate in linea. Con riferimento al *layout* dello stabilimento si identificano in Figura 5.12 quali aree sono coinvolte e si evidenziano con una freccia le due aree nelle quali avviene il prelievo dei pezzi, cioè le aree maggiormente interessate dalla variabilità delle rotte: il *West Dock* e il *South Dock*.

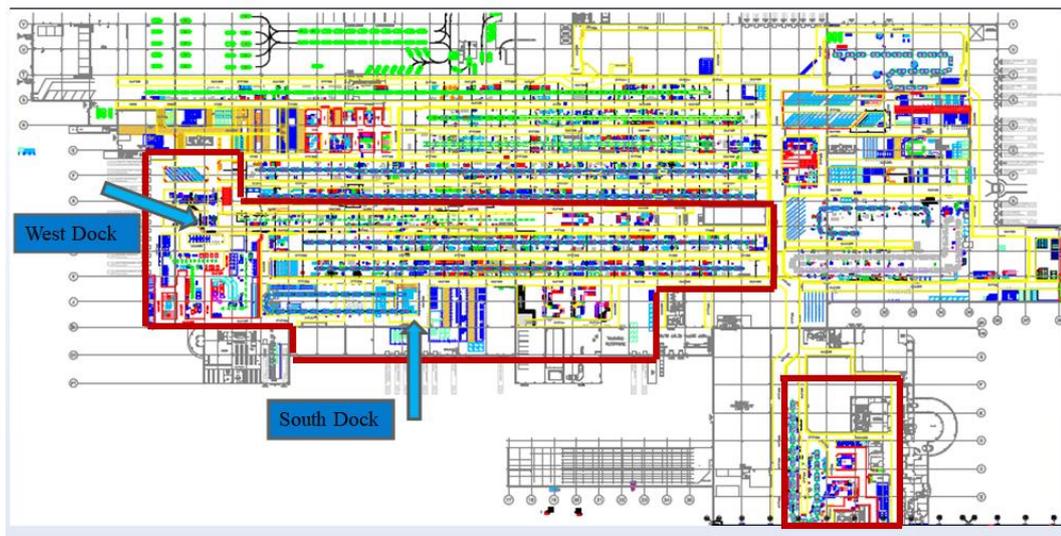


Figura 5.12 *Layout* di stabilimento: area *Chassis*

Poiché i percorsi dei mezzi di movimentazione interna non sono però confinati nelle due aree evidenziate, per confrontare e identificare quale sia l'area caratterizzata dalle maggiori perdite per IRD e URA occorre ricorrere ai dati sulla saturazione degli operatori logistici che eseguono il prelievo nelle due aree.

Inoltre risalire la stratificazione del processo di CD significa a questo punto ripercorrere in maniera inversa l'operazione affrontata nella costruzione della matrice C, cioè ritornare a parlare delle perdite nelle loro unità fisiche di riferimento e non più in termini esclusivamente di costo.

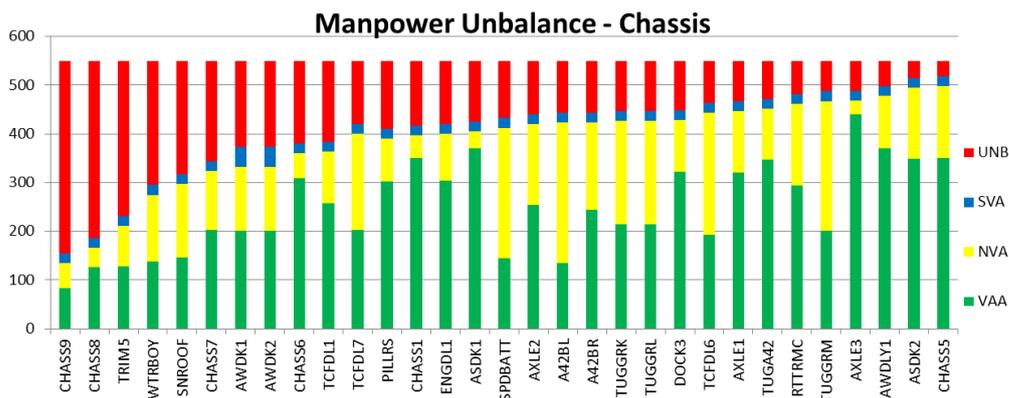


Figura 5.13 Saturazione operatori addetti al *material handling*

La Figura 5.13 mostra i livelli di saturazione degli operatori logistici dell'area *Chassis*. Come è evidente già ad una prima occhiata ci sono delle significative perdite per sbilanciamento, espresse dalla parte rossa delle colonne rappresentanti i cicli di lavoro dei singoli operatori, che come detto all'inizio del capitolo sono contenute nella voce URA, ma anche una quota considerevole di NVAA, in giallo, che vanno invece a comporre le perdite descritte nella voce IRD.

Incrociando i livelli di saturazione con le rotte determinate per ogni singolo operatore, si identifica che l'area più problematica è la porzione sud del *West Dock* (Figura 5.14).

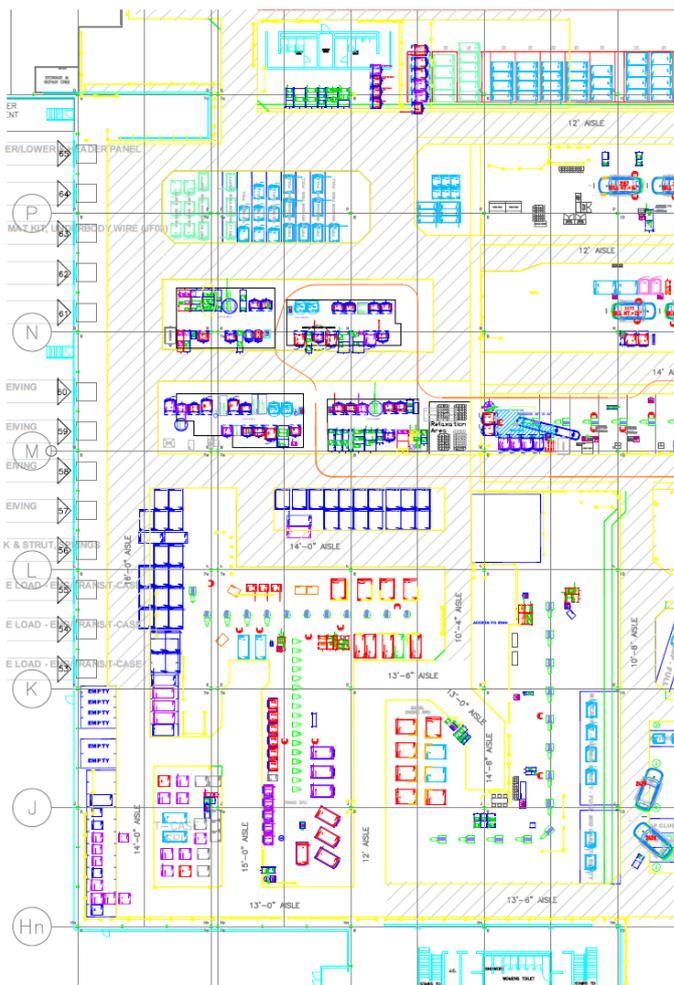


Figura 5.14 Layout Model Area

In questa area troviamo in alto diversi mezzi che prelevano i componenti da portare in linea, al centro una zona di *kitting* servita da un AGV, di cui si vede la traccia in pianta, e in basso una zona servita da due carrelli a forche che si occupano di portare i *rack* che contengono rispettivamente i motori e le trasmissioni provenienti dagli stabilimenti di meccanica ad una stazione di assemblaggio che accoppia i due componenti prima di mandarli in linea. In questa area si osservano numerose interferenze tra le rotte dei mezzi di movimentazione che servono direttamente la linea di montaggio e che attraversano l'area per prelevare i componenti disposti vicini ai moli di scarico e

quelli che operano prevalentemente nell'area. In Figura 5.15 si mostrano i percorsi delle rotte determinate per l'area del *west dock* con riferimento agli operatori che intervengono nell'area.



Figura 5.15 Flussi "as-is"

Le motivazioni per cui è stata scelta quest'area sono principalmente due. La prima come detto risiede nell'analisi dei livelli di saturazione. In Figura 5.16 si evidenziano gli operatori coinvolti nell'area selezionata e si mostra come 6 dei primi 8 operatori più dissaturi lavorino in quest'area.

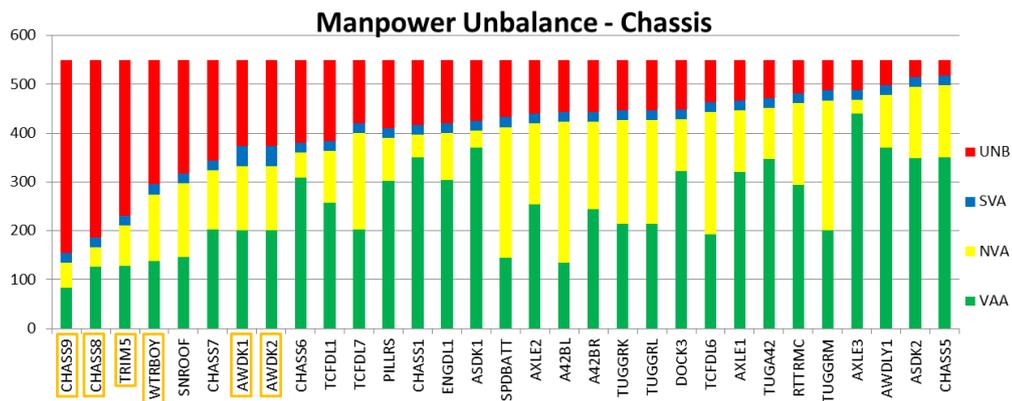


Figura 5.16 Saturazione operatori addetti al *material handling*

L'altra motivazione è che durante l'indagine sulle diverse zone interessate si è individuata in questa area una situazione di lieve aumento degli "incidenti" di entità minore, ovvero quelli relativi alle prime tre categorie della piramide di Heinrich: *unsafe act*, *unsafe condition* e soprattutto *near misses*. Come spiegato nel capitolo sul WCM l'aumento di questi eventi è propedeutico all'insorgenza di incidenti più gravi e comunque non è in linea con il concetto di tendere all'obiettivo zero incidenti. Confrontandosi con gli operatori logistici sul campo si è evidenziata la chiara situazione di un numero di interferenze tra i percorsi molto maggiore rispetto a quello previsto dalle rotte determinate e si sono individuate come zone più critiche, in ottica sicurezza, gli incroci tra i corridoi di linea e il *west dock*.

5.6 Proof of concept: test in stabilimento

A seguito di tutte le valutazioni fatte fin qui occorre validare l'ipotesi di progetto precedentemente descritta per confermare che la soluzione individuata sia adeguata per attaccare le perdite su cui si è deciso di lavorare. A questo

proposito si sono ideate, e successivamente svolte, alcune prove tecniche in stabilimento per indagare le reali capacità dello strumento tecnologico in un ambiente di fabbrica e verificare se quanto ipotizzato in fase di avanprogetto sia effettivamente realizzabile. Visto il tempo limitato di permanenza negli Stati Uniti e l'approccio operativo di questo lavoro di tesi, le prove non sono state ideate con l'intento di valutare in maniera precisa i parametri fondamentali accuratezza, precisione e robustezza, bensì con l'idea di avere una prima verifica di fattibilità che indaghi sulle reali capacità del sistema proposto. Ulteriori verifiche e, soprattutto, ottimizzazioni del sistema, saranno da svolgere una volta identificati e incontrati, come da procedura FCA, almeno 3 potenziali fornitori integratori, che porteranno la loro esperienza in termini di dislocazione dei *gateway* e di software di localizzazione con opportuni algoritmi studiati appositamente per l'*indoor location* in ambito industriale.

Come detto l'architettura del sistema che si è scelto di implementare è costituita da due elementi:

- *gateway* in posizione fissa definita in planimetria
- *beacon* solidali con il mezzo che si vuole tracciare

Per le prove è stato utilizzato uno *starter kit* dedicato all'ambito localizzazione *indoor*, comprensivo di 3 moduli *gateway*, 6 dispositivi *beacon* e la sottoscrizione al *location engine*, piattaforma software che gestisce i dati raccolti e li presenta sulla planimetria.

I *gateway* sono stati installati ad un'altezza di circa 1,80 m da terra, come suggerito dal costruttore, in corrispondenza delle colonne, per coprire tutta l'area interessata dalle prove come mostrato in

Figura 5.17. Il modello utilizzato è di tipo *plug and play* e si è deciso di ricorrere all'alimentazione tramite presa di corrente, nonostante i moduli siano dotati anche di batteria interna. Per quanto riguarda la trasmissione dei dati rilevati, in assenza di un'infrastruttura apposita, si è deciso di utilizzare la rete *WiFi* dello

stabilimento, dotando i moduli *gateway* di opportune chiavi di accesso, operazione non banale che ha coinvolto le risorse IT dello stabilimento.

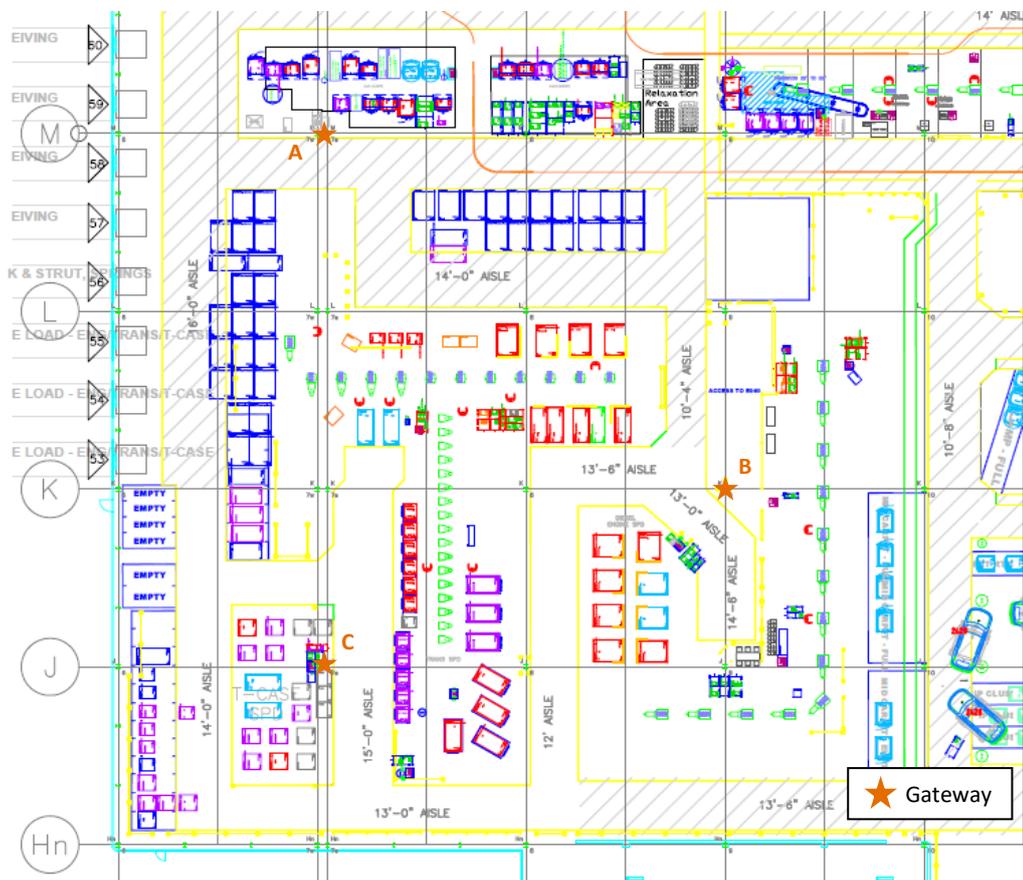


Figura 5.17 Posizionamento dei *gateways* nella *Model Area*

I dispositivi *beacon* sono stati settati lasciando la potenza del segnale al livello più alto, con una distanza massima di rilevamento dichiarata dall'azienda fornitrice di 70 m, anche se la distanza operativa massima per la configurazione scelta è di circa 40 m. Questa scelta è stata fatta per privilegiare la robustezza e l'accuratezza della misura, i parametri più importanti per l'applicazione in esame, piuttosto che la durata della batteria che risulta comunque più che adeguata. Infatti la durata della batteria prevista in condizioni standard è di 2 anni, ma come detto in precedenza questo valore è influenzato da tre fattori: potenza del segnale, tempo di utilizzo, *advertising interval*. Impostando la

potenza del segnale a livello massimo si riduce la durata stimata della batteria a circa 1 anno, ma questo effetto viene contrastato dall'utilizzo dei dispositivi solo per tempi limitati necessari all'analisi. Per quanto riguarda l'*advertising interval* il valore è stato impostato a 350 ms, pari al valore standard preimpostato sui dispositivi, poiché viste le velocità degli oggetti coinvolti, si ritiene questo valore adeguato. La possibilità di agire successivamente su questo parametro non va tuttavia trascurata perché può incidere sull'utilizzo, e il più opportuno *trade off* tra la stabilità del segnale, la risoluzione necessaria per tracciare le rotte e la durata della batteria, andrà valutato in base al risultato delle prove. A titolo di esempio si mostra (Figura 5.18) come può variare l'identificazione del percorso sulla base di diversi valori di *advertising interval*, sottolineando come questo valore vada adattato alla velocità del mezzo tracciato e al tipo di analisi che si vuole effettuare.

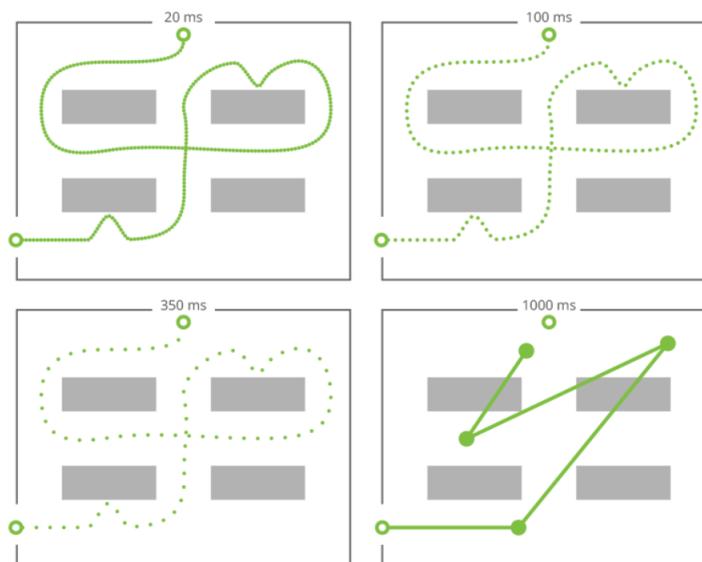


Figura 5.18 Esempio di risultati con diversi *advertising interval*

Per indagare le capacità dello strumento, con riferimento alle caratteristiche generali dei sistemi RTLS descritte in precedenza, si decide di effettuare due diverse prove. Come precedentemente dichiarato le prove non sono pensate per

valutare direttamente il valore di parametri come accuratezza, precisione e robustezza, ma vanno concettualmente nella stessa direzione e risultano congegnate per avere una prova del corretto funzionamento del sistema.

La prima prova coinvolge i parametri accuratezza e precisione e prevede di posizionare i *beacon* in tre diverse posizioni fisse, corrispondenti anch'esse a colonne della struttura dello stabilimento, e verificare quanto il dato sulla posizione fornito dal sistema sia distante dalla posizione reale. La posizione dei *beacon* da localizzare è mostrata nella planimetria (

Figura 5.19).

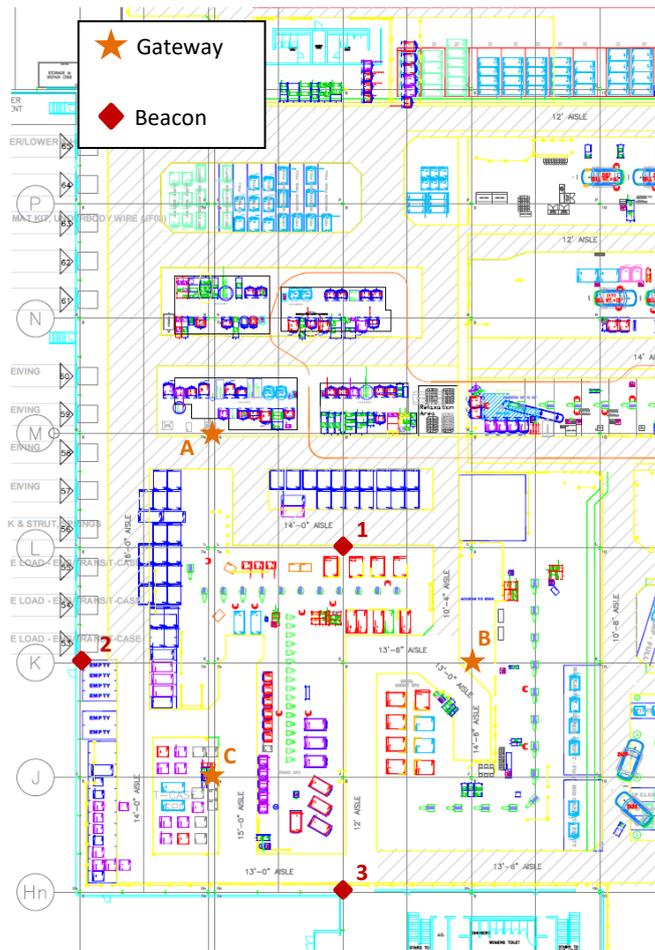


Figura 5.19 Posizione Gateways e Beacons nella Model Area

DISTANZE REALI	Gateway A	Gateway B	Gateway C
Beacon 1	14,14 m	14,14 m	22,36 m
Beacon 2	22,36 m	30 m	14,14 m
Beacon 3	41,23 m	22,36 m	14,14 m

Tabella 5.1

Si prendono i dati raccolti durante 14 secondi, che equivalgono a 40 valori essendo l'*advertising interval* settato a 350 ms, e si procede calcolando la media degli errori rispetto alle posizioni reali, valutati tenendo conto delle informazioni provenienti dai singoli *gateway*. Visto che l'obiettivo è valutare l'errore medio commesso dal sistema si aggregano i risultati ottenuti per distanze *gateway-beacon* uguali e si calcola anche l'errore relativo per capire quanto incide la degradazione del segnale in relazione alla distanza.

Distanza effettiva	Media Errori Assoluti	Media Errori Relativi
14,14 m	1,1 m (su 160 valori)	7,78 %
22,36 m	3,1 m (su 120 valori)	13,86 %
30 m	6,7 m (su 40 valori)	22,33 %
41,23 m	14,8 m (su 40 valori)	35,9 %

Tabella 5.2

Dai risultati ottenuti nella Tabella 5.2 è possibile ricavare due considerazioni. Innanzitutto la media degli errori assoluti sembra elevata, soprattutto all'aumentare della distanza di misurazione. Questo risultato era atteso per quanto spiegato a proposito della stima della distanza ottenuta con il metodo RSSI. Tuttavia questa valutazione tiene conto della misurazione del singolo *gateway*, mentre come detto in precedenza la precisione dello strumento risiede nella misura contemporanea di più *gateway* che riduce sensibilmente l'errore. Inoltre il dato medio dell'errore ottenuto per una distanza di misurazione di circa 14 m, risulta accettabile e questo suggerisce una differente dislocazione dei *gateway*, con maggiore densità, per ottenere almeno 3 misure

a distanza ravvicinata con errori contenuti.

Nella stessa direzione la seconda considerazione che nasce dall'osservazione dell'aumentare dell'errore relativo in relazione alla distanza. Anche se utilizzare solo 4 diverse distanze di misura non permette una valutazione quantitativamente significativa sull'andamento dell'errore, riportando in un grafico l'errore relativo medio associato alla distanza corrispondente, si osserva una tendenza qualitativa di aumento dell'errore con andamento più che lineare (Figura 5.20). Questo risultato è coerente con le criticità relative all'utilizzo del metodo RSSI, in presenza di un ambiente denso in cui il segnale incontra ostacoli ed interferenze e pertanto degrada maggiormente al crescere della distanza.

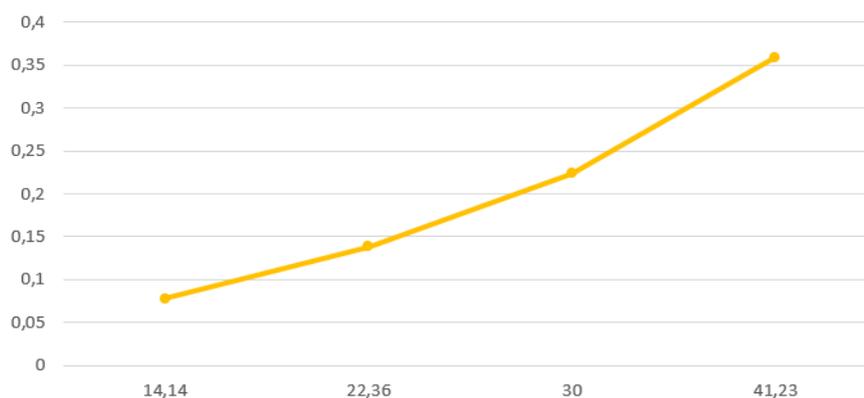


Figura 5.20 Andamento dell'errore relativo all'aumentare della distanza di rilevazione

Unendo le due considerazioni fatte è possibile trarre una prima conclusione su uno schema di dislocazione dei *gateway* più efficace. Anche se come detto una seria ottimizzazione del sistema in tal senso sarà ottenuta in una fase successiva del progetto, con l'ausilio delle competenze dei diversi fornitori, uno schema a scacchiera che permetta di avere quattro misurazioni ravvicinate in un'area quadrata di 20 m di lato sembra essere un buon punto di partenza per coprire

adeguatamente l'area ed avere risultati accettabili in termini di accuratezza. Un esempio della dislocazione ipotizzata è riportato in

Figura 5.21 dove si nota come siano necessari 10 *gateway* per coprire tutta l'area oggetto della prova.

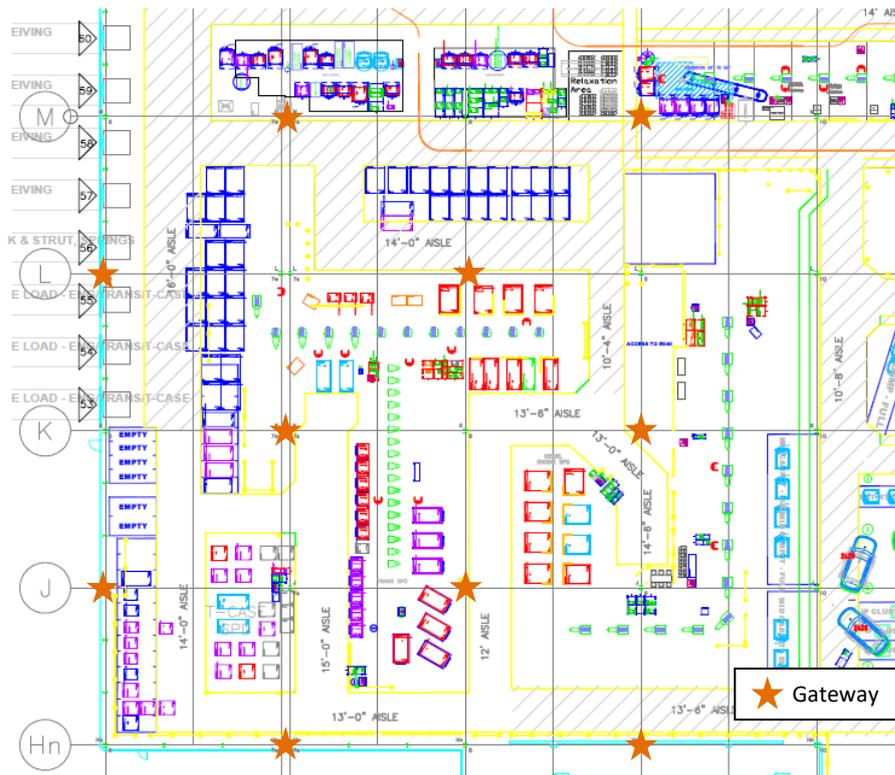


Figura 5.21 Schema di posizionamento dei *Gateways*

Nello svolgimento della prova si incontra inoltre un'altra problematica, poco critica per la prova appena effettuata, ma potenzialmente invalidante rispetto alla seconda prova. Il *location engine*, piattaforma che prometteva di mostrare l'evoluzione della posizione sulla planimetria, propone invece i risultati in una forma ben diversa. Sulla planimetria sono mostrati solo i *gateway* e il numero di *beacon* rilevati in tre *range* di distanza da questi ultimi, definiti come *near*,

medium distance e *far*. Sebbene sia possibile visionare in un'altra schermata i dati relativi alle singole misurazioni e alla loro evoluzione nel tempo, non è quindi possibile osservare la posizione effettiva dei dispositivi *beacon* sulla planimetria. A questo proposito sarà quindi necessario sviluppare un *software* che elabori i dati in maniera opportuna e fornisca questo tipo di risultato, le cui caratteristiche verranno indagate in seguito.

La seconda prova prevede di valutare la capacità del sistema di seguire un oggetto in movimento e tracciarne una rotta qualitativa, dalla quale sia possibile sviluppare le analisi richieste. Partendo da quanto appreso nella prova precedente, si spostano i *gateway* posizionandoli secondo lo schema precedentemente ipotizzato. Essendo i *gateway* disponibili in questa fase solamente tre, si decide di installarli come mostrato in

Figura 5.22 e di svolgere la prova cercando di rimanere nell'area coperta dai rilevatori. Si costruisce un percorso prendendo una parte della rotta dell'operatore *Chassis9*. Il percorso ipotizzato inizia con il prelievo di un *rack* contenente i motori, poi ci si porta in retromarcia fino al centro dell'*aisle 6'-0"* e si procede in linea retta fino all'incrocio con l'*aisle 14'-00"* dove si gira a destra e si percorre in linea retta il corridoio fino al successivo incrocio. Una traccia del percorso così definito è visibile in

Figura 5.22. Per la prova si è preferito evitare il reale prelievo del contenitore, per permettere all'operatore di viaggiare scarico e di avere la massima visibilità, pertanto il percorso inizia in posizione di prelievo, con le forche ingaggiate sotto il contenitore, ma il movimento iniziale di allontanamento dalla posizione di *picking* disimpegna subito il carrello permettendogli di proseguire il percorso vuoto.

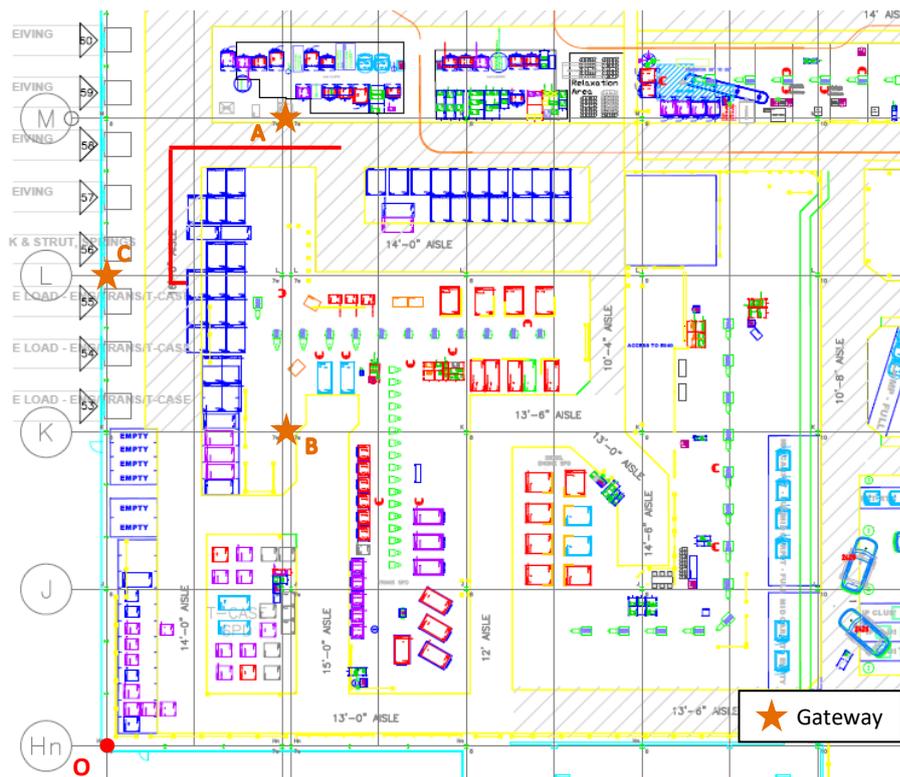


Figura 5.22 Percorso prova in stabilimento

La prova viene cronometrata per avere un riferimento del tempo dell'operazione e permettere di selezionare i dati ad essa associati. In questa fase di test, una volta ottenuti i dati, poiché il software fornito non provvede ad elaborare i dati per ottenere la posizione, si procederà con un metodo analitico. La stima della distanza tra il *beacon* e il *gateway* corrisponde ad identificare una circonferenza di infiniti punti con centro nella posizione del *gateway* e raggio uguale alla distanza rilevata. Il punto cercato che identifica la posizione si troverà dunque sull'intersezione delle tre circonferenze. Il problema però non è ben posto, poiché i dati della distanza sono comprensivi dell'errore di misurazione e dunque geometricamente può non esistere un unico punto dove si intersecano le tre circonferenze. Nel caso poi la misura sia sbagliata per difetto, ad esempio, le circonferenze potrebbero addirittura non toccarsi. Poiché l'obiettivo della prova

è verificare se il sistema sia in grado di fornire una traccia del percorso qualitativamente riconducibile al percorso reale si accetta in questa fase l'errore commesso e si rimanda la ricerca del corretto algoritmo correttivo alla fase successiva, quando i diversi fornitori porteranno le loro soluzioni già ottimizzate. Per calcolare la posizione si procede quindi in tre passaggi successivi:

1) Si fissa l'origine degli assi nella colonna in basso a sinistra per avere tutti i valori di X e Y positivi e si utilizza la geometria analitica relativa alla circonferenza per scrivere un sistema di tre equazioni nella forma

$$d^2 = (x - x^*)^2 + (y - y^*)^2$$

dove d è la stima della distanza e x^* e y^* le coordinate del *gateway* considerato relative al sistema di riferimento selezionato. Con semplici passaggi algebrici si ottengono tre equazioni del tipo

$$x^2 + y^2 + ax + by = d^2$$

2) Si sottraggono le tre equazioni ottenute tra loro, ricavando altre tre equazioni nella forma

$$cx + dy = n$$

3) Si procede selezionando due delle equazioni trovate e risolvendo il sistema lineare di due equazioni in due incognite e trovando i valori di x e y corrispondenti alla posizione del *beacon*.

La durata della prova è di circa 20 secondi e i dati vengono elaborati tramite un foglio di calcolo *Excel* appositamente creato per ricavare i valori della posizione in ogni intervallo di tempo considerato, secondo la procedura appena descritta. Per rendere più chiara la procedura si procede al calcolo della posizione per il punto iniziale. Le coordinate dei *gateway* A, B e C sono rispettivamente A (10,40), B (10,20) e C (0,30). Il sistema iniziale descritto al punto 1 risulta essere

$$\begin{cases} 13,1^2 = (x - 10)^2 + (y - 40)^2 & (1) \\ 10,2^2 = (x - 10)^2 + (y - 20)^2 & (2) \\ 4,9^2 = (x - 0)^2 + (y - 30)^2 & (3) \end{cases}$$

da cui, svolgendo i quadrati, si ottiene

$$\begin{cases} 13,1^2 = x^2 - 20x + 100 + y^2 - 80y + 1600 & (1) \\ 10,2^2 = x^2 - 20x + 100 + y^2 - 40y + 400 & (2) \\ 4,9^2 = x^2 + y^2 - 60y + 900 & (3) \end{cases}$$

e riordinando le equazioni si ricava

$$\begin{cases} x^2 + y^2 - 20x - 80y = -1528,39 & (1) \\ x^2 + y^2 - 20x - 40y = -395,96 & (2) \\ x^2 + y^2 - 60y = -875,99 & (3) \end{cases}$$

Si passa ora al punto 2 sottraendo le equazioni trovate tra di loro per eliminare i quadrati

$$\begin{cases} 0x - 40y = -1132,43 & (1 - 2) \\ -20x + 20y = 480,03 & (2 - 3) \\ -20x - 20y = -652,4 & (1 - 3) \end{cases}$$

Si risolve utilizzando due delle tre equazioni trovate e ricavando la posizione stimata del punto osservato pari a G (4.3,28.3), valore che si osserva subito non essere particolarmente distante dalla posizione vera G_{reale} (4.6,29). Si fa notare come, in questo caso, il risultato sia il medesimo qualsiasi coppia di equazioni si utilizzi per il calcolo.

Ottenuti in questo modo tutti i punti si presentano i risultati in forma grafica (Figura 5.23) per valutare se il percorso che descrivono sia un'approssimazione accettabile del percorso reale.

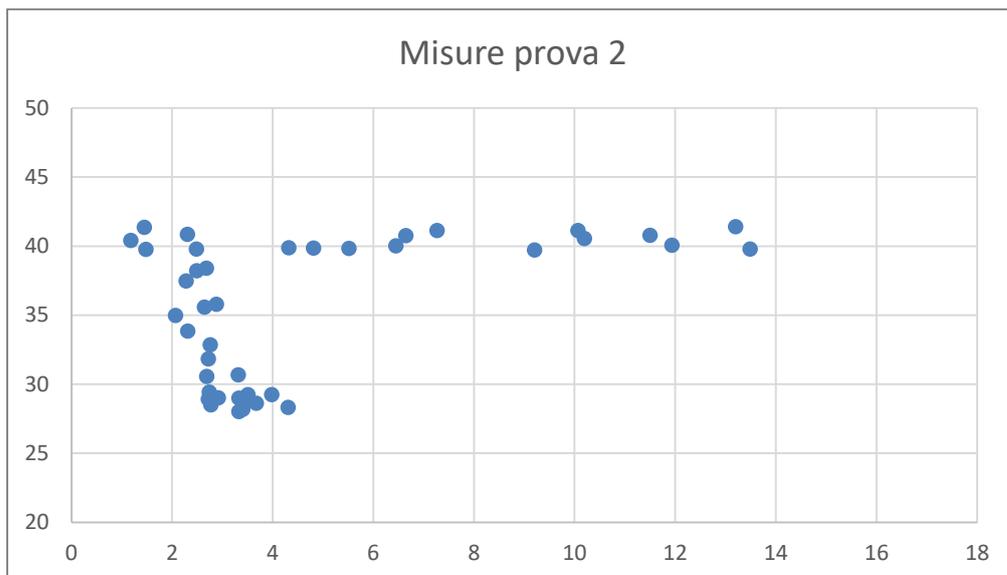


Figura 5.23 Risultati test in stabilimento

Già da una prima analisi della Figura 5.23 si intravede come la traccia formata dai punti della posizione stimata sia qualitativamente molto simile al percorso reale effettuato. Per indagare meglio il percorso indicato dai dati si divide il tragitto in tre tratte consecutive, scomponendo la rotta. Il primo tratto identifica lo spostamento orizzontale verso sinistra con cui il carrello si porta dal punto di prelievo al centro del corridoio. Isolando i dati relativi a questo tratto e operando una semplice linea di tendenza su base lineare, si ottiene il grafico in Figura 5.24, nel quale si osserva come l'andamento suggerito sia praticamente orizzontale, in linea con la rotta reale.

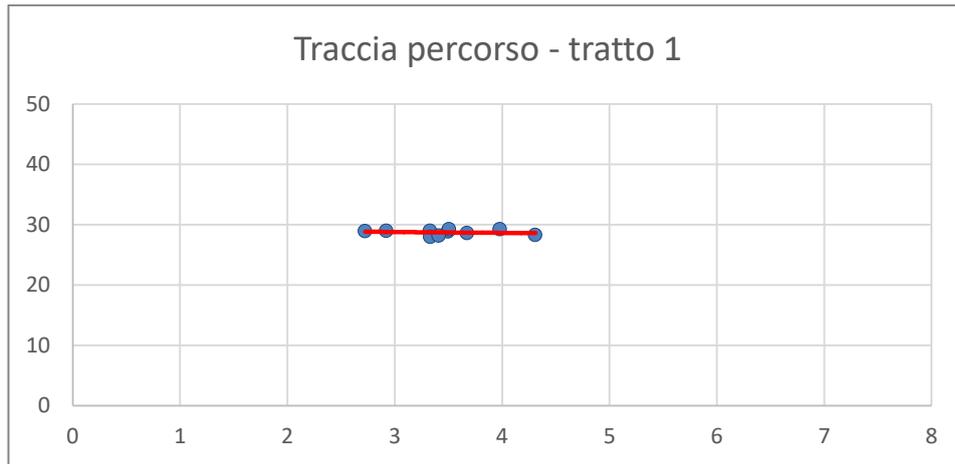


Figura 5.24 Linea di tendenza tratto 1

Eseguito la stessa operazione per gli altri due tratti e modificando opportunamente la scala del grafico per presentare meglio il risultato si ottengono ulteriori conferme. Figura 5.25, Figura 5.26

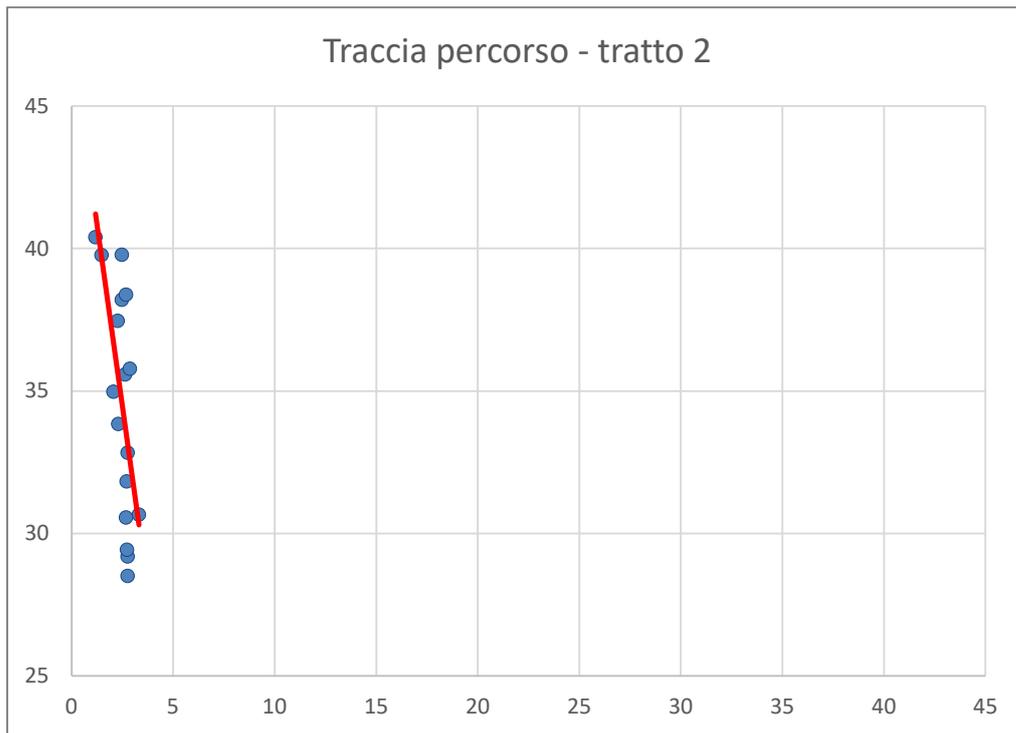


Figura 5.25 Linea di tendenza tratto 2

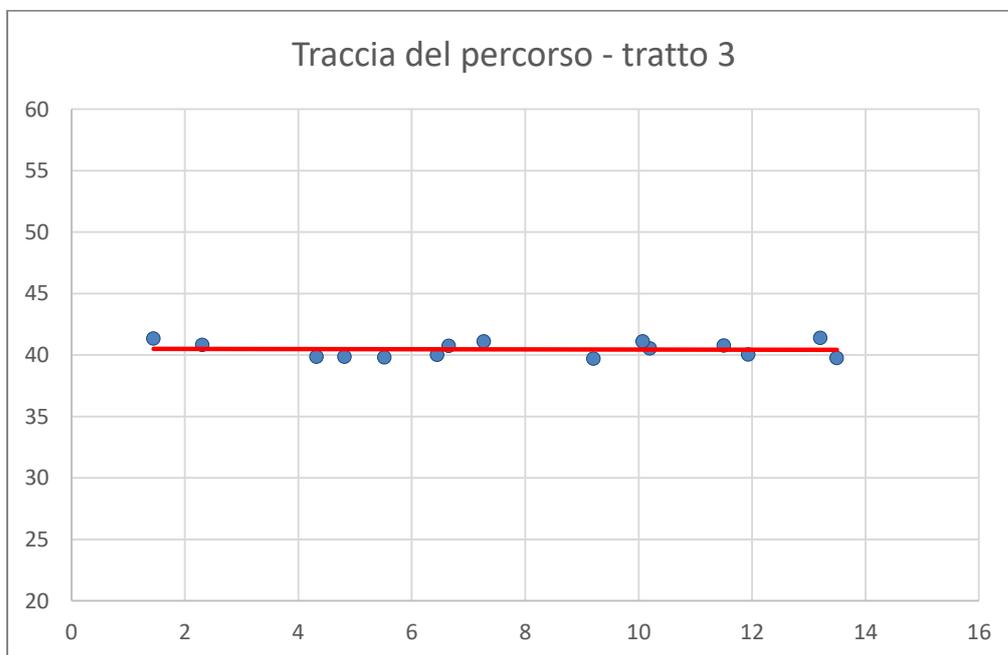


Figura 5.26 Linea di tendenza tratto 3

I risultati ottenuti sono estremamente positivi e confermano la validità della soluzione proposta. Si sottolinea che questi dati sono stati ottenuti senza ricorrere ad alcun particolare algoritmo per contrastare gli errori di misura, bensì utilizzando la semplice algebra lineare e questo rende i risultati ancora più significativi. Sicuramente la traiettoria per lo più lineare del mezzo ha aiutato la stabilità del sistema, tuttavia non si tratta di una condizione così lontana da quella reale, in cui i mezzi di movimentazione hanno traiettorie morbide e continue.

In più occasioni è stato evidenziato come il sistema benefici della maggior densità di rilevatori e questa prova sembra confermare pienamente questa ipotesi, con un errore assoluto medio che pare essere sensibilmente minore. Da una prima analisi questa diminuzione dell'errore non è semplicemente dovuta alla presenza di più dati, che aggregati forniscono un'informazione più stabile, ma anche al fatto che l'errore commesso dal singolo *gateway* nella misurazione è prevalentemente per eccesso e la presenza di due punti di rilevamento che si trovano su lati opposti rispetto all'oggetto tracciato permette una parziale cancellazione dell'errore commesso.

Visti i risultati delle due prove si possono trarre alcune conclusioni. Innanzitutto nelle prove non si è mai parlato espressamente di robustezza. Una considerazione a riguardo segue dalla constatazione che nelle prove effettuate non si siano mai riscontrati dati mancanti e che tutti i dati, a meno dell'errore, siano stati coerenti tra loro, per cui si può immaginare che per un opportuno dislocamento dei *gateways* il sistema risulti pienamente robusto.

Successivamente si può affermare che la distanza tra il *beacon* e i *gateways* sia un parametro critico da tenere in stretta considerazione per evitare che l'errore commesso nella stima aumenti eccessivamente e invalidi la misurazione, nonostante le distanze operative dichiarate dai produttori siano ben superiori a quelle riscontrate. Un algoritmo di ottimizzazione che si occupi di mettere insieme dati provenienti da *gateway* a distanze diverse dovrà tenere conto di

questo aspetto, ad esempio dando un peso maggiore, nel calcolo della posizione, al valore ottenuto dal *gateway* più vicino. Inoltre, come già visto, il degrado del segnale impone lo sviluppo di uno schema di dislocamento dei *gateways* opportuno, che preveda sempre la rilevazione a distanze ravvicinate di almeno tre *gateway*. A questo proposito lo schema proposto alla fine della prima prova e utilizzato nella seconda sembra essere un buon punto di partenza, ma aree maggiormente dense potrebbero richiedere una maglia ancora più fitta, in relazione al grado di accuratezza atteso.

Infine sebbene queste prove non siano conclusive e non eliminino il bisogno di ulteriori prove o la necessità di adeguate ottimizzazioni, si ritiene possano costituire una solida *proof of concept* del sistema ipotizzato, dato che il percorso ottenuto è una buona approssimazione della rotta reale.

5.7 Costruzione del *business case*

Per verificare l'efficacia del progetto da un punto di vista economico occorre costruire il *business case*, andando ad identificare e quantificare i costi attesi per la realizzazione del progetto e i benefici ottenibili in termini di riduzione delle perdite. Questa procedura permette di valutare un parametro fondamentale descritto nel capitolo sul WCM, ovvero il valore B/C, cioè benefici su costi, che fornisce una prima chiara indicazione sull'effettiva bontà del progetto, descrivendone la convenienza e permettendo di discernere sulla reale opportunità offerta.

A questo proposito si divide l'analisi in tre parti: valutazione dei costi, ricorrenti e non, valutazione dei benefici quantificabili in termini economici, valutazione dei benefici non quantificabili.

Per quanto riguarda la valutazione dei costi si sono individuate quattro voci, riferendosi ad i prezzi indicati dall'azienda *kontakt.io*, in linea con quelli di altri fornitori:

- Hardware: 30 *beacons* del costo di 39 dollari l'uno e 20 *gateways* del costo di 128 dollari l'uno. Il numero dei *beacon* è stato valutato per eccesso, partendo dal conto dei mezzi che intervengono nella stessa area, prendendo in esame l'area più grande nella quale avrebbe senso utilizzare il sistema e immaginando un ulteriore margine di sicurezza che tenga conto degli imprevisti. Il numero dei *gateway* è stato calcolato anch'esso per eccesso e fa riferimento ad uno schema di dislocazione cautelativo, più denso rispetto a quello utilizzato per le prove, partendo dal conto del massimo numero di *gateway* necessari per coprire un intero corridoio di linea o la più grande area "aperta" e maggiorando questo numero di alcune unità per prevenire eventuali problemi.
- Software: si è tenuto conto del costo di sottoscrizione al *location engine*, la piattaforma software che raccoglie i dati, seppure quest'ultimo sia stato giudicato incompleto durante le prove, poiché indispensabile per raccogliere i dati dai *gateway*. Il costo previsto è di 39 dollari all'anno per ogni *gateway*. Si è previsto, dopo aver consultato l'IT, un costo aggiuntivo di 20000 dollari per lo sviluppo di un software adeguato che processi le informazioni gestite dalla piattaforma per renderle utili ai fini dell'applicazione studiata.
- Lavoro: si è previsto per l'implementazione e ottimizzazione dello strumento il lavoro in stabilimento di due persone per due settimane. Il tempo necessario è stato volutamente sovradimensionato per andare incontro alla risoluzione di eventuali problemi non prevedibili.

- Installazione: sempre attuando una politica cautelativa si è valutato un costo di installazione nell'ordine dei 5000 dollari.

Il riepilogo dei costi appena descritti è riportato nella tabella in Figura 5.27, nella quale il costo ricorrente relativo alla sottoscrizione al *location engine* viene indicato, ma non conteggiato in quanto per il calcolo del B/C andrà sottratto a numeratore.

Cost Summary	\$
30 x Beacons	\$ 1,170
20 x Gateways	\$ 2,560
Software	\$ 20,000
Labour hour required (2 people for 2 week)	\$ 10,000
Installation	\$ 5,000
Location Engine annual subscription	\$ 780 year
Total Cost	\$ 38,730

Figura 5.27 Riepilogo dei costi

Per quanto riguarda i benefici quantificabili si è valutato di riuscire a raggiungere il target di ri-bilanciare i cicli di lavoro, diminuendo in una prima fase il numero di operatori logistici necessari di un'unità. Questo si traduce in tre benefici quantificabili:

- Lavoro: eliminando un elemento si risparmia il salario di un operatore moltiplicato per i 3 turni, per un totale di 165000 dollari l'anno.
- Mezzo: come conseguenza diretta si evita anche l'affitto di un mezzo non più necessario, con un risparmio di 9600 dollari all'anno.
- Accessori: la maggior parte degli accessori sono compresi nel servizio di noleggio, ma il mezzo in questione è equipaggiato con un terminale CV60,

necessario per connettere l'operatore al MES al fine di ricevere le missioni. Questo accessorio viene noleggiato a parte, quindi dall'eliminazione del mezzo si risparmiano ulteriori 3000 dollari.

Un riepilogo dei benefici monetizzabili è riportato nella tabella in Figura 5.28.

Benefit Summary	\$
Head on 3 shifts	\$ 165,000
Hilo / <u>Tugger</u>	\$ 9,600
CV60	\$ 3,000
Total Benefit	\$ 177,600

Figura 5.28 Riepilogo dei benefici quantificabili

Infine si ritiene necessario citare tutti quei benefici ottenibili attraverso l'utilizzo dello strumento, ma non quantificabili a priori poiché potenziali o addirittura non quantificabili in assoluto perché non riferibili a perdite in senso economico. Si evidenziano a tal proposito i seguenti elementi:

- si ha un potenziale miglioramento delle condizioni di sicurezza dovuto a due diverse cause. Innanzitutto rivedendo le rotte è possibile attenuare la condizione di eccessiva interferenza attualmente presente, che come detto è stata evidenziata dall'aumento degli "incidenti" di entità minore. Inoltre la riduzione del numero di carrelli elevatori a forche, ritenuti meno sicuri, è uno degli obiettivi dell'azienda in ambito *safety* e il mezzo interessato appartiene proprio a questa categoria. Si precisa che qualora gli "incidenti" fossero stati di natura più grave si sarebbe provveduto ad inserirli tra i benefici quantificabili, sottolineando che l'eliminazione di pericoli che possono causare eventi gravi è di solito valutata tra i benefici con un valore

infinito.

- partendo dall'analisi dei flussi portata avanti attraverso l'utilizzo dello strumento di RTLS, che permette una visuale con maggiore risoluzione, è potenzialmente possibile ottenere una riduzione del *lead time* e dell'inventario.

Utilizzando i costi e i benefici stimati in precedenza è ora possibile calcolare il valore del B/C, ricordando che la procedura prevede che ai benefici ottenibili, riferiti ad un arco temporale di un anno, siano sottratti i costi ricorrenti, ovvero i costi da sostenere nel medesimo tempo una volta che il progetto è a regime. Il valore di B/C così calcolato risulta essere pari a 4,5, il che equivale a dire che il progetto si ripaga da solo in meno di tre mesi. Questo risultato è molto positivo e restituisce un alto valore al progetto.

5.8 Conclusioni e prospettive

Ricostruendo il percorso compiuto nello sviluppo del progetto applicando criteri, metodi e strumenti propri del WCM, dapprima si è immaginato un sistema di localizzazione, selezionandolo tra le diverse opzioni tecnologiche disponibili, a partire dalle necessità evidenziate dalla situazione delle perdite di stabilimento. Successivamente il sistema è stato sottoposto ad una verifica funzionale attraverso delle prove in stabilimento che hanno dato un esito positivo, facendo intravedere le potenzialità dello strumento, anche se si è evidenziata la necessità di ulteriori test in condizioni più sfidanti e di ottimizzazioni da implementare con l'aiuto di fornitori integratori per garantire la piena funzionalità. Infine è stato valutato l'aspetto economico delineando le diverse voci di costo e i benefici e quantificandoli con un approccio adeguatamente cautelativo. Il valore di B/C così ottenuto è risultato molto positivo e, insieme alle altre considerazioni fatte, ha

confermato il valore dell'opportunità offerta dal sistema. Per tutti questi motivi l'azienda ha deciso di inserire il progetto tra gli *use case* e di procedere dunque al suo sviluppo ed implementazione a JNAP.

Nonostante il progetto non sia ancora stato completato è possibile fare alcune considerazioni sul lavoro svolto, sottolineando i punti di forza e al contempo evidenziando alcune criticità. Innanzitutto il sistema proposto offre una flessibilità totale e può essere adattato con semplicità a situazioni differenti. Questa flessibilità, insieme alla scalabilità, risulta essere molto interessante. Lo strumento congegnato, infatti, una volta sviluppato offre l'opportunità di condurre numerose analisi sui mezzi di movimentazione nell'area selezionata, ma anche di condurre le stesse analisi in tutte le altre aree dello stabilimento, realizzando la condizione di espansione prevista dal WCM. Inoltre, una volta in possesso di uno strumento di localizzazione in grado di tracciare gli spostamenti di un oggetto in un'area definita, quest'ultimo può essere utilizzato per analisi che riguardano qualsiasi altro oggetto, permettendo così un'ampia gamma di utilizzi. Tutto questo è ottenibile senza dover prevedere ulteriori costi da sostenere, ad eccezione di quelli relativi all'installazione, e questo rende uno strumento ancora più interessante perché in grado di generare benefici di alcuni ordini di grandezza superiori ai costi che richiede.

Rispetto alle criticità, anche se nel paragrafo relativo ai test in stabilimento si è evitato di descrivere le singole difficoltà incontrate, si denota come la presenza di un fornitore intermediario che sviluppi e proponga soluzioni interfacciandosi con i produttori dell'hardware sia fondamentale. Nel periodo in cui sono stati svolti i test ci si è interfacciato direttamente con i produttori, che però non hanno fornito particolare supporto nello sviluppo della soluzione *ad hoc*. Questa scelta è stata obbligata in quanto l'utilizzo dei *beacon* per applicazioni di localizzazione era relativamente recente e non sono stati individuati *partner* adeguati negli Stati Uniti. La situazione dopo un anno è radicalmente cambiata e gli stessi siti dei produttori indicano una serie di intermediari con cui è possibile

dialogare per sviluppare soluzioni avendo accesso al *know how* di società specializzate. Questo apporto esterno è fondamentale quando ci si trova a fronteggiare problemi come quelli relativi al *software* e agli algoritmi di ottimizzazione, aree lontane dal *core business* e quindi dalle competenze presenti in uno stabilimento produttivo *automotive*.

Altra criticità riscontrata è quella relativi all'integrazione con le infrastrutture già esistenti. Prevedere sistemi di Industria 4.0 da implementare nelle fabbriche significa anche interagire con le infrastrutture presenti. L'esempio delle difficoltà incontrate per permettere ai *gateway* di collegarsi alla rete *WiFi* aziendale, con un coinvolgimento diretto dell'IT durato diversi giorni, è emblematico di come sia necessario, per supportare il cambiamento, che l'azienda potenzi le risorse disponibili nel campo dell'IT e le integri con figure che portino nuove competenze ampliando il proprio campo operativo a livello di fabbrica.

Per quanto riguarda lo sviluppo futuro del progetto, il passo fondamentale è ora trovare, all'interno o all'esterno dell'azienda, un fornitore in possesso di un software in grado di elaborare i dati in maniera adeguata oppure, come ipotizzato nella costruzione del *business case*, commissionare la creazione di un software apposito che risponda alle esigenze evidenziate. Nel tentativo di indicare la strada da seguire si identificano alcune funzionalità che il software che verrà utilizzato dovrà possedere:

- nonostante l'evoluzione dei dispositivi *beacon* stia facendo passi da gigante, con sistemi integrati di cancellazione del rumore di fondo sempre più sofisticati e l'implementazione dello standard *Bluetooth 5.0* che prevede significativi miglioramenti in termini di accuratezza, distanza operativa e quantità di dati scambiabili, l'individuazione di un opportuno algoritmo per elaborare i dati resta un punto chiave. La possibilità di pulire i dati provenienti dai singoli *gateway* e successivamente calcolare la posizione in maniera opportuna, riducendo al minimo l'errore, è prioritaria per restituire

uno strumento adeguato alle sfide di utilizzo in uno stabilimento industriale.

- Il software deve permettere di visualizzare il percorso tracciato sulla planimetria dello stabilimento sia rappresentativo di tutto il periodo dell'analisi, per evidenziare la variabilità, sia allo scorrere del tempo per non perdere le informazioni "real time" che permettono di indagare le interferenze e le deviazioni e valutarne le cause.
- Il software deve permettere di selezionare i dati dei *beacon* da visualizzare, sia per permettere di osservare solo alcuni oggetti, sia per sviluppare analisi relative a precisi intervalli di tempo. Queste due funzionalità risultano infatti fondamentali per attaccare realmente le perdite, permettendo di focalizzarsi su alcuni aspetti e indagare a fondo la situazione reale.

Il progetto è stato valutato positivamente dal *management* di stabilimento ed ha raggiunto la certificazione quale *best practice*. Successivi *steps* sono previsti per valutare l'opportunità di far diventare la *best practice* uno *standard* riconosciuto dal *Manufacturing Engineering*.

6 Progetto nello stabilimento di stampaggio a *Sterling Heights*

6.1 Introduzione al progetto

Nella città di *Sterling Heights*, sobborgo a nord di *Detroit* e quarta città del *Michigan* per numero di abitanti, sono presenti due stabilimenti appartenenti al gruppo FCA: *Sterling Heights Assembly Plant* (SHAP) e *Sterling Stamping Plant* (SSP).

La storia di SHAP inizia nel 1953 come fabbrica dell'esercito americano in partnership con *Chrysler* e la produzione riguarda dapprima motori di jet e successivamente missili. Lo stabilimento viene poi convertito in una fabbrica di automobili solo nel 1980 dalla *Volkswagen* e successivamente viene acquisito da *Chrysler* nel 1983. Nel periodo in cui è stato sviluppato questo lavoro di tesi SHAP era in una fase di pesante ristrutturazione per accogliere il nuovo modello di RAM 1500.

Lo stabilimento SSP, luogo nel quale è stato sviluppato il progetto del quale si parlerà in questo capitolo, è stato costruito nel 1965 ed è lo stabilimento di stampaggio più grande del mondo, con 26 linee di presse e una superficie coperta di 254554 m². Il motivo di una tale estensione è da ricercare nel modello produttivo della ex *Chrysler* che prevedeva di concentrare le linee di stampaggio in stabilimenti dedicati e dunque SSP è dimensionato per servire fabbriche di carrozzeria in tutto il nord America e più precisamente negli Stati Uniti, Canada, Messico e Venezuela. Questo modello è differente da quello applicato da FCA in EMEA, così come da altri costruttori, in cui ogni stabilimento di carrozzeria è dotato anche di un centro di stampaggio che assicura la produzione in loco almeno dei pezzi di grandi dimensioni.

Vista la sua estensione e la complessità produttiva dovuta alla presenza di molte

linee che producono parti per numerosi modelli, con differenti volumi e frequenze dovuti alle diverse necessità e distanze dei clienti, la sfida della logistica interna dello stabilimento è impegnativa. Lo stabilimento risponde in maniera eccellente a questa sfida, con numerose aree modello di progetti interessanti che riguardano la logistica e la sicurezza e l'utilizzo ormai consolidato di AGV e non è un caso che nel giugno del 2018 sia stato premiato con il conferimento del livello *Silver* in WCM.

Durante la visita dello stabilimento non si sono evidenziate particolari criticità, anche se si è notata la complessità delle rotte viste le distanze coinvolte, che tuttavia sembravano ben gestite con l'ausilio di un opportuno *visual management*. Nel dialogo con i vari operatori sul campo si è inoltre venuti a conoscenza di una lunga serie di perdite identificate e di relativi potenziali progetti per attaccarle, oltre a quelli già in fase di sviluppo, a riconferma della buona capacità di "vedere" le perdite maturata dall'esperienza nell'applicazione del WCM delle risorse di questo stabilimento. Seguendo la procedura, come fatto nel capitolo precedente per JNAP, si è successivamente osservato il *Logistic Cost Deployment* (LCD) di stabilimento per individuare quali perdite fossero di entità maggiore e quindi da attaccare per prime. Prima di risalire il LCD per identificare la perdita su cui concentrarsi si riportano (Figura 6.1) le perdite di stabilimento divise nelle tre macro-categorie di perdite a cui è possibile ricondurre tutte le altre perdite che riguardano la logistica: *Material Handling, Inventory, Transport*.

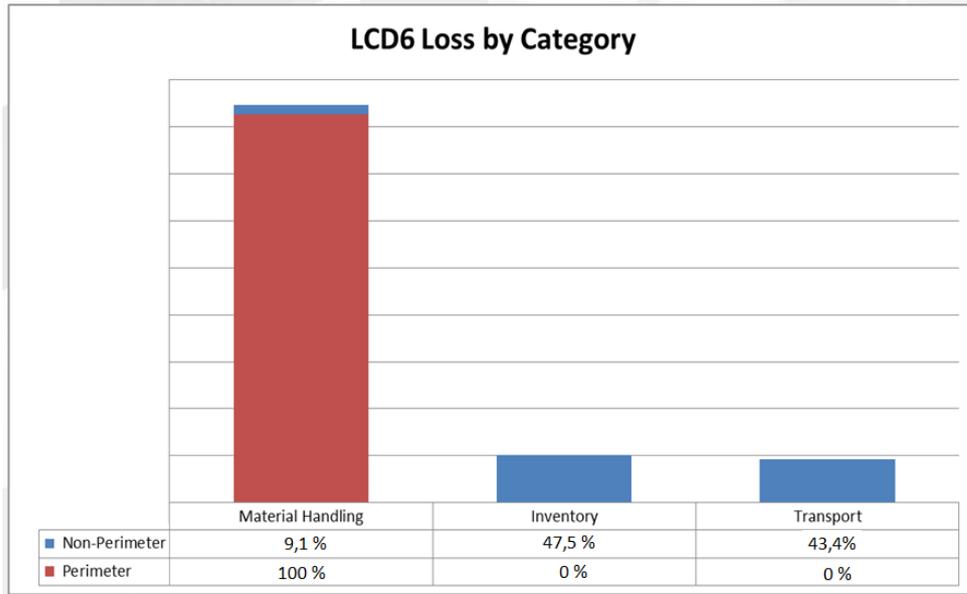


Figura 6.1 LCD di stabilimento: perdite per macro categorie della logistica

Si è deciso di riportare il grafico in Figura 6.1 poiché esemplifica la situazione dello stabilimento, caratterizzato, come detto, da una grande estensione e da tante linee di presse, nel quale la voce *Material Handling* comprende l'81,3% delle perdite totali identificate. Dal grafico è possibile inoltre osservare come la totalità delle perdite perimetrali, che come già spiegato costituiscono l'elemento oggetto di questo lavoro di tesi, siano appartenenti alla categoria *Material Handling*.

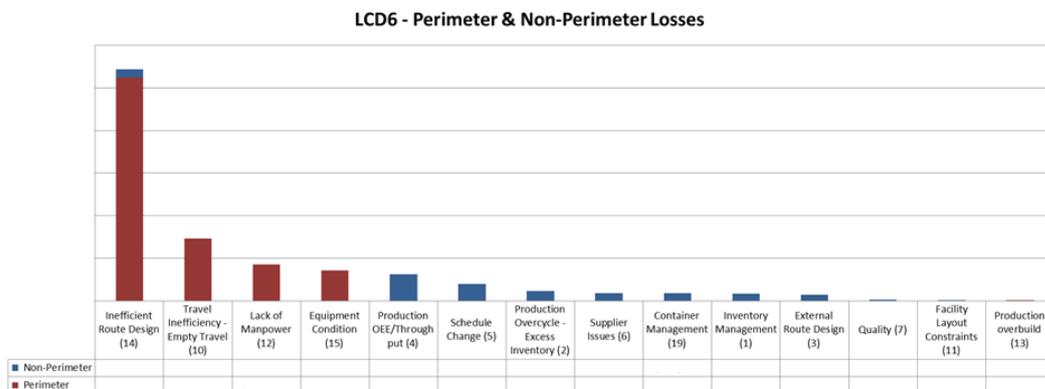


Figura 6.2 LCD di stabilimento: principali fonti di perdita

Osservando il diagramma di Pareto delle perdite di stabilimento (Figura 6.2) si incontra come prima voce di perdita *Inefficient Route Design*, ovvero la stessa perdita che è stata identificata come prioritaria e dunque attaccata con il progetto a JNAP. Questa perdita risulta particolarmente significativa, arrivando a valere circa il 63% delle perdite perimetrali e circa il 53% delle perdite complessive, coerentemente con la situazione attesa in uno stabilimento caratterizzato da un *critical layout* che genera una logistica complessa come SSP. Poiché è stata già proposta una soluzione per attaccare questa perdita, insieme al team di stabilimento, vista la possibilità di espansione del sistema sviluppato a JNAP, si decide di focalizzarsi sulla seconda voce di perdita perimetrale, anche per proporre un differente caso di studio. Per maggiore chiarezza si riporta in Figura 6.3 il grafico relativo alle sole perdite perimetrali.

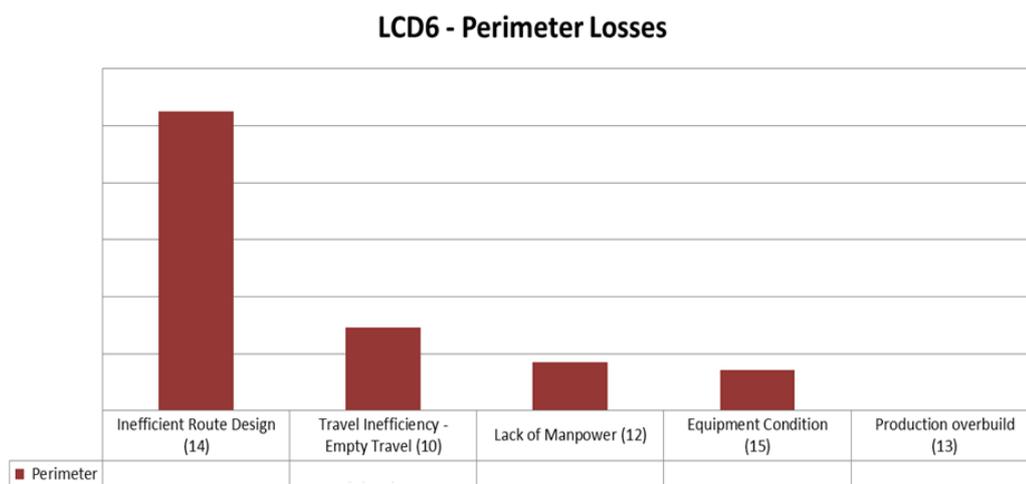


Figura 6.3 LCD di stabilimento: principali fonti di perdita perimetrali

Come si osserva dal grafico in Figura 6.3, la seconda voce di perdita è *Travel Inefficiency – Empty Travel* e si riferisce a tutte le ri-movimentazioni e alle operazioni logistiche inattese che causano molte attività a non valore aggiunto (NVAA). Le cause che generano questo tipo di perdita sono molteplici e per indagare meglio la situazione ci si è avvalsi dell’esperienza delle persone sul campo, come detto in precedenza molto sensibili sul tema dell’identificazione

delle perdite. Confrontandosi con il team di stabilimento si è evidenziata la presenza di molti progetti in essere per attaccare questa perdita e si è valutata la possibilità di indirizzare gli sforzi su un problema, afferente a questa perdita, non ancora attaccato e che causa numerose difficoltà. Il problema riguarda alcuni *downtime* delle linee presse dovuti alla mancanza dei *rack* sufficienti a completare il lotto. Questo causa l'interruzione del lotto in corso e numerose inefficienze dovute al passaggio non programmato al lotto successivo. Infatti tutte le attività necessarie, come il cambio stampi, il *set up* di macchina e il trasporto a bordo linea di tutti i materiali e i contenitori necessari, sono svolte in maniera non pianificata, causando inefficienze e facendo perdere del tempo produttivo alla linea. Il motivo per cui i *rack* sono meno del previsto è da ricercare nella gestione dei contenitori vuoti. Il ritorno dei contenitori vuoti dai clienti è gestito in gran parte da operatori logistici esterni e rappresenta un flusso non teso, dovuto in parte alla presenza di magazzini intermedi dove vengono stoccati i contenitori. Visti i volumi produttivi e le distanze a volte non banali tra il fornitore e il cliente i lotti produttivi sono inoltre di grandi dimensioni e dunque il numero di contenitori necessari è elevato. Gli operatori della logistica eseguono quasi quotidianamente un controllo visivo per il conteggio dei *rack* vuoti presenti nei piazzali esterni, per verificare che il loro numero sia adeguato alle necessità della produzione prevista, ma questa operazione evidentemente non è a prova d'errore. La richiesta è dunque quella di implementare un sistema che permetta un conteggio più rapido e a prova di errore dei contenitori presenti nei piazzali; evitando di incorrere in un conteggio errato dei contenitori infatti si eviterebbero i *downtime* permettendo di prevedere in anticipo se i *rack* presenti sono sufficienti a chiudere il lotto oppure no e permettendo al pianificatore di selezionare la contromisura più adeguata in caso di mancanza di contenitori. Il pianificatore potrebbe valutare se posporre il lotto togliendolo dallo *scheduling* della produzione in attesa di avere i contenitori necessari oppure produrre comunque un lotto di dimensioni minori e poi prevedere aggiustamenti in

seguito, ma in entrambi i casi la decisione sarebbe presa con largo anticipo e si eviterebbero inefficienze e fermi linea.

6.2 Use case applicativo

Per cercare di risolvere il problema identificato si ricerca un sistema che permetta di contare in maniera automatica i contenitori. Le caratteristiche principali del sistema di inventario da individuare sono le seguenti:

- deve essere in grado di funzionare nonostante l'ingente quantità di metallo presente;
- deve garantire distanze di lettura consone alla disposizione dei *rack* nei piazzali, spesso impilati in 10/12 file lunghe anche 30 m e alte fino a circa 9 m; le dimensioni possono variare molto e dipendono dal tipo di contenitore e dalla numerosità presente sul piazzale. Un esempio di una possibile disposizione dei *rack* è mostrato in Figura 6.4 per comprendere meglio il tipo di situazione che si dovrà affrontare;



Figura 6.4 Disposizione dei *rack* nel piazzale

- visto l'elevato numero di *rack* che costituiscono la flotta, il dispositivo o il tag da applicare al contenitore deve avere costi unitari contenuti;
- deve garantire una certa robustezza rispetto a possibili urti accidentali con altri contenitori o con le forche dei mezzi di movimentazione.

Inoltre si ricerca un sistema dotato di una certa flessibilità di utilizzo, con un'architettura che non preveda strutture o punti di lettura fissi. Questo perché non sempre i contenitori di un tipo sono stoccati nella medesima posizione o seguono lo stesso percorso per arrivare sul piazzale. Inoltre la possibilità di prevedere un'architettura che permetta la lettura in posizioni non vincolate può creare la possibilità di implementare anche altri progetti che utilizzino la tracciabilità dei contenitori per attaccare altre perdite, generando ulteriori benefici.

A seguito delle caratteristiche identificate si valuta quale tecnologia sia più opportuno utilizzare. Partendo dalla necessità di avere un sistema funzionante,

ma con un costo per singolo tag contenuto, si pensa di utilizzare la tecnologia *Radio Frequency IDentification* (RFID). Questa tecnologia è ritenuta la più opportuna facendo un *trade off* tra il costo e la distanza di lettura. Infatti ci sono tecnologie come i *beacon* o l'*Ultra Wide Band* (UWB) che assicurano maggiori distanza di lettura, ma a parità di distanza hanno un costo maggiore e in più richiedono l'installazione di elementi di lettura in postazioni fisse. Altre tecnologie di inventario ottiche sono ritenute invece non adatte perché, anche se hanno costi generalmente più contenuti, obbligano a prevedere un sistema di lettura ravvicinata, che non è compatibile con la modalità di stoccaggio dei contenitori nei piazzali. La tecnologia RFID è presente in ambito industriale dagli anni '70 e in questi decenni ha subito una continua evoluzione per adattarsi al meglio ai diversi campi di utilizzo. Il *tag* elementare è costituito da un chip e da un'antenna, di solito stampati all'interno di un'etichetta o sospesi in un materiale plastico.

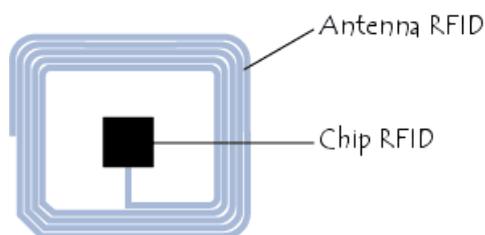


Figura 6.5 Schema *tag* RFID

Il vantaggio rispetto ad altre tecnologie risiede nella possibilità, a costi contenuti, di leggere i *tag* senza contatto e addirittura senza che questi siano in vista, attraversando diversi strati di materiale, di poter lavorare a distanza, parametro molto sensibile al tipo di *tag* utilizzato, e di avere un'alta velocità di lettura anche di molti segnali. Il panorama degli RFID è molto vasto quindi bisogna operare opportune scelte tra i diversi *tag* RFID disponibili e tra le diverse architetture di lettura.

Per quanto riguarda i *tag* RFID una prima scelta è tra passivi e attivi. I *tag* passivi

sono semplicemente costituiti dal chip e dall'antenna e funzionano eccitati dal segnale radio del lettore che attraversando l'antenna del ricevitore genera un segnale di risposta. Le distanze operative sono minori rispetto a quelli attivi e dipendono dalla potenza del segnale del lettore, ma non è presente una batteria interna che si può scaricare ed il loro costo è contenuto. A rigore sono presenti anche dispositivi passivi con batteria, definiti semi-passivi, ma comunque la batteria non è utilizzata per alimentare il trasmettitore, ma eventuali sensori o accessori. Un esempio molto diffuso di *tag* RFID passivi sono le etichette utilizzate nei sistemi antitaccheggio dei negozi di abbigliamento, che arrivano a costare nell'ordine della decina di centesimi di euro al pezzo. I *tag* attivi, invece, hanno una batteria propria e possono funzionare in maniera autonoma, o, per risparmiare batteria, venendo "svegliati" dal segnale del lettore a cui rispondono emettendo un proprio segnale di ritorno. A quest'ultimo tipo di *tag* spesso ci si riferisce con il nome di *tag* semi-attivi. Il segnale di ritorno è dunque più potente e si possono raggiungere distanze operative molto maggiori. Un esempio ben noto sono i dispositivi tipo *Telepass* che gestiscono il pagamento del pedaggio autostradale. Vista la differenza elevata di costo, la possibilità di trovare *tag* RFID passivi che lavorino a distanze adeguate al caso in esame e la difficoltà che si avrebbe nel gestire le batterie della flotta di contenitori, che vanta migliaia di unità, si opta per la tecnologia passiva.

Una seconda scelta da operare, all'interno delle opzioni disponibili per i *tag* RFID passivi, è quella relativa alla frequenza di lavoro. Esistono principalmente tre tipologie di *tag* RFID:

- *Low Frequencies* (LF): lavorano nella banda di frequenze 125/134 kHz e sono caratterizzati da un'ottima capacità di penetrazione di metalli e liquidi a causa della lunghezza d'onda ampia, tuttavia le distanze di lettura sono molto piccole.

- *High Frequencies* (HF): la frequenza di lavoro standard è 13,56 MHz e hanno una buona capacità di penetrazione di metalli e liquidi. Sono però da utilizzare con logiche di prossimità perché la distanza di lettura può arrivare al massimo a circa 1 metro.
- *Ultra High Frequencies* (UHF): in base alle diverse normative dei paesi in cui sono utilizzati lavorano nella banda di frequenza 860-960 MHz. La capacità di penetrazione di metalli e liquidi è minore rispetto alle altre due tipologie, ma comunque accettabile per molte applicazioni. I vantaggi principali sono caratterizzati dalla distanza di lettura molto maggiore e dalla velocità di lettura elevata che li rende adatti a tutte quelle applicazioni in cui sia necessario leggere molti tag in contemporanea.

Viste le distanze operative richieste e la necessità di leggere centinaia di tag si sceglie di utilizzare i *tag* RFID della tipologia UHF. Questa scelta risulta obbligata per il caso in esame, vista la disposizione dei contenitori nei piazzali, e la valutazione della corretta architettura di sistema, con la scelta dell'opportuno metodo di lettura, risulterà dunque fondamentale per raggiungere le distanze di lettura desiderate.

Prima di passare all'identificazione del più adeguato metodo di lettura, si discutono altre caratteristiche relative ai *tag* selezionati che vanno incontro alle necessità operative elencate ad inizio paragrafo. Innanzitutto servono *tag* in grado di lavorare in presenza di metallo. Sono presenti *tag* cosiddetti *On Metal* che sono specificatamente studiati per l'applicazione su oggetti metallici e in alcuni casi sono anche *Optimized For Metal* cioè sono addirittura concepiti per funzionare meglio se utilizzati in presenza di metallo. Questi ultimi utilizzano la struttura metallica alla quale sono applicati per potenziare il segnale della propria antenna e pertanto risultano particolarmente adatti all'applicazione in esame.

Un'altra caratteristica importante da ricercare nella tecnologia RFID è la presenza

di sistemi anti-collisione, che permettono di gestire al meglio la lettura di più *tag* in contemporanea, attraverso opportuni algoritmi che regolano gli intervalli di lettura dei singoli *tag*, evitando che la sovrapposizione delle onde radio emesse da *tag* diversi disturbi la lettura.

Infine, con riferimento ai *tag* RFID passivi UHF selezionati, si valuta la possibilità di utilizzare la memoria interna prevista. I *tag* UHF hanno di solito a disposizione 512/1024 bit che corrispondono a 64/128 caratteri. Sono presenti tre tipologie di *tag*: sola lettura, lettura con una sola ri-scrittura, lettura e ri-scrittura multipla. Per l'applicazione studiata non serve la capacità di scrivere qualcosa sul *tag*, pertanto si selezionano i *tag* che prevedono la sola lettura del codice identificativo univoco, privilegiando così il minore costo. Qualora si pensasse di utilizzare i *tag* applicati sui contenitori anche per altri progetti, si potrebbe pensare di sostituirli con *tag* che prevedono anche la possibilità di scrittura, in base alle esigenze.

Si passa ora all'identificazione del sistema di lettura, e dunque dell'architettura di sistema, più adeguata al caso di studio. Si tralasciano lettori installati in posizioni definite come antenne fisse o portali, poiché come detto si cerca una struttura flessibile in grado di operare la lettura in luoghi diversi a seconda delle esigenze e dunque ci si focalizza su lettori mobili come palmari o *handreader*. Si privilegiano tra questi quelli caratterizzati da una polarizzazione lineare del segnale, che quindi agiscono frontalmente all'operatore che li utilizza a sfavore di quelli con segnale sferico che leggono in tutte le direzioni, ma con una conseguente diminuzione della distanza utile. Inoltre una lettura frontale permette all'operatore di focalizzarsi sul tipo di contenitori ai quali è interessato.

Prima di passare alle fasi successive di sviluppo si vuole porre l'attenzione su un particolare aspetto del sistema ipotizzato. Richiamando le definizioni enunciate nel capitolo relativo al WCM, a rigore il sistema non è né *fool proof* né *error proof*, cioè non è impedito un errore di conteggio da parte dell'operatore, né viene previsto a valle un sistema di controllo che validi l'informazione. Il sistema

appartiene ad una terza categoria, nella quale l'errore può essere commesso e non venir rilevato, ma non creare problemi. La causa del problema studiato infatti era un conteggio errato degli operatori che però avveniva per eccesso, facendo credere al pianificatore di avere un numero di contenitori superiori al reale e sufficienti a coprire il fabbisogno del lotto. Un utilizzo errato del sistema, e nello specifico dell'*handreader*, da parte dell'operatore che dimentica di "leggere" alcune aree o non muove in maniera corretta il dispositivo per permettere la lettura di tutti i contenitori produrrà invece sempre un errore per difetto. Ovviamente se tale errore sarà significativo l'operatore stesso potrà accorgersene e ripetere il conteggio, così come potrà condurre un secondo conteggio per confermare l'assenza del numero necessario di contenitori per procedere, ma qualora così non fosse comunque non si prefigurerebbero le condizioni che causano il problema in esame perché il pianificatore non avrebbe mai un'indicazione sul numero che lo spinga a produrre un lotto in assenza dei contenitori necessari.

6.3 Proof of concept: prove in stabilimento

Per verificare le funzionalità del sistema selezionato si eseguono alcuni test in stabilimento. Le caratteristiche da indagare sono le seguenti:

- Distanza: valutare la distanza massima a cui tutte le letture avvengono senza difficoltà. Non interessa infatti il record di distanza alla quale è avvenuta una singola lettura poiché la robustezza del sistema è ritenuto un parametro fondamentale. Bisogna valutare la reale distanza entro la quale si può assicurare che tutte le letture avvengano, a meno di malfunzionamenti dei tag dovuti all'usura. Indirettamente quindi questa è anche una valutazione di robustezza e visto il numero di oggetti coinvolti anche un

risultato del 99% potrebbe significare non leggere decine di contenitori, pertanto si ricerca la condizione che assicuri il 100% di robustezza.

- Densità: occorre indagare il funzionamento del sistema in condizioni di elevate densità di materiale e di segnale. Il primo aspetto riguarda la presenza di molto metallo da attraversare, mentre il secondo riguarda la possibilità di lavorare in presenza di una nuvola di segnali molto vicini provenienti dai contenitori impilati.
- Ambienti critici: è opportuno prevedere almeno una prova che indaghi le potenzialità del sistema negli ambienti dello stabilimento ritenuti più sfidanti per assicurarsi che non ci siano condizioni di utilizzo in cui si verifichino problemi di lettura.

A fronte delle caratteristiche che si intende valutare si prevedono due prove, una interna allo stabilimento, relativa ai contenitori pieni, ed una all'esterno con i contenitori vuoti. Per le prove in stabilimento ci si avvale delle competenze e dell'esperienza di un fornitore che opera come *system integrator*, utilizzando hardware di altre aziende fornitrici e offrendo un valido supporto nell'implementazione delle soluzioni ricercate. L'azienda selezionata per le prove in stabilimento è la *Quanta Inc*, che è già accreditata come fornitore di FCA, con cui ha sviluppato altri progetti relativi alla tecnologia RFID. Un esempio di questo è un progetto in fase di sviluppo nel medesimo periodo, che riguarda i *rack* contenenti i motori finiti dello stabilimento di *Mach Engine Plant* (MEP) per cui si sta pensando di dotare ogni motore di un'etichetta RFID scrivibile e si sta procedendo con un'architettura a portali sui moli di carico per gestire al meglio le spedizioni e per gestire eventuali lotti messi in quarantena per verifiche ed evitare che siano inviati al cliente.

Per la prova si prevedono 50 *tag* RFID passivi del tipo UHF, adatti al metallo e caratterizzati da etichette in schiuma plastica e superficie posteriore conduttiva di interfaccia tra il *tag* e il *rack* su cui è applicato, del tipo mostrato in Figura 6.6.

La tipologia di tag proposti prevede inoltre una memoria interna di 512 bit e la possibilità di riscrivere i dati presenti.



Figura 6.6 tag RFID utilizzati nelle prove

Come strumento di lettura si utilizza un *handreader* dell'azienda *Zebra* (Figura 6.7) collegato ad un *netbook* utilizzabile come *tablet* per visualizzare le letture avvenute. Il lettore offre una particolare tecnologia che prevede l'emissione di due segnali con i rispettivi piani di propagazione disposti perpendicolarmente tra loro, eliminando i problemi di lettura dovuti all'orientamento del *tag* RFID e permettendo una lettura direzionale attraverso un campo di segnale frontale di forma conica. L'azienda propone per le prove anche un'applicazione di base che mostra la lista dei *tag* disponibili, evidenzia i *tag* letti e presenta una finestra che mostra il log delle letture permettendo di visualizzare l'orario preciso di lettura e di osservare il fenomeno del *multi-reading*.

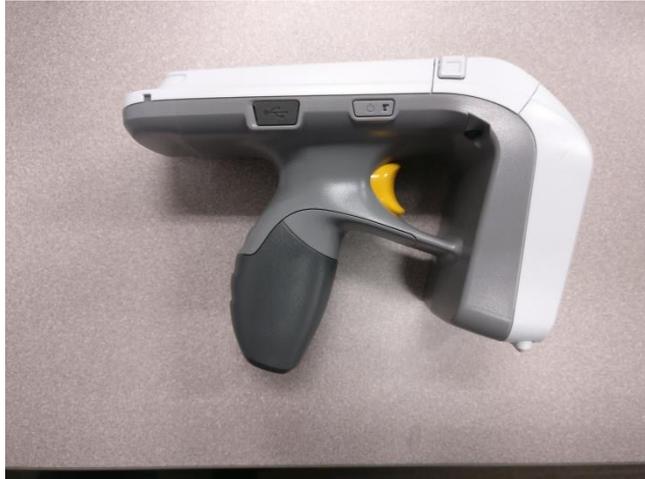


Figura 6.7 *Handreader* utilizzato nelle prove

Come detto la prima prova è svolta all'interno dello stabilimento e prevede la lettura dei *tag* applicati a contenitori pieni. Questa prova ha l'intento di verificare che non ci siano problemi relativi alla densità di segnale e di materiale e in più indaga le potenzialità del sistema in un ambiente ritenuto sfidante, cioè al chiuso e tra le presse e le celle robotiche, con possibili segnali che causano interferenza. Per le prove si sono scelti *rack* contenenti 12 pannelli porta l'uno, e si è provata la lettura con diversi orientamenti per valutare se il risultato variasse in base all'angolo di incidenza. A questo proposito si è provata una lettura con segnale perpendicolare all'asse principale delle portiere, una lettura con segnale parallelo alle portiere e una lettura in movimento con angolo di incidenza variabile. I 50 *tag* RFID disponibili sono stati applicati in un volume parallelepipedo costituito da 3 contenitori in larghezza, 6 in altezza e 3 in profondità, lasciando 4 *rack* senza etichetta. Inoltre, per aumentare la densità, si sono poste davanti a questa composizione due ulteriori file di *rack*.

Il risultato della prova è stato superiore alle attese in relazione a tutti gli orientamenti previsti e risulta pertanto molto incoraggiante sulle potenzialità di utilizzo del sistema proposto. In tutti i casi è stato possibile identificare tutti i *tag* in breve tempo, roteando leggermente l'*handreader* con piccoli movimenti

circolari di fronte all'area di magazzino. Osservando il log delle letture si evidenziano molte letture multiple dello stesso *tag* a riconferma che questo sistema composto da un lettore con segnale frontale multidirezionale e *tag* adatti al metallo ottiene delle performance addirittura migliori in presenza di metallo, come dichiarato dai fornitori, perché il segnale segue un approccio multi-percorso e rimbalzando sulla struttura metallica si diffonde e investe più volte gli stessi *tag* assicurandone la lettura. Ovviamente il programma che effettua il conteggio non tiene conto della lettura multipla e si limita a evidenziare il *tag* letto confermandone la presenza, ma questo approccio è importante perché aiuta a garantire la lettura.

La seconda prova è effettuata invece nel piazzale esterno e prevede l'applicazione dei 50 *tag* disponibili su contenitori vuoti. Questa prova è pensata per indagare principalmente la distanza di lettura e perciò si applicano i *tag* in maniera sparsa, secondo uno schema precedentemente definito, su contenitori larghi circa 2,2 m, disposti in 4 file consecutive e impilati fino a raggiungere un'altezza di circa 5,5 m (Figura 6.8). La logica con cui sono disposti i *tag* prevede che in ogni fila ci sia un numero simile di contenitori tracciabili, precisamente 12 per le prime due file e 13 per le ulteriori due, e che in ogni fila siano presenti almeno 4 *tag* per ogni piano di contenitori, con 5 contenitori nel piano più elevato previsti nelle ultime due file.



Figura 6.8 Rack sui quali si sono effettuate le prove

La lettura avviene tramite *handreader* passeggiando a fianco dei contenitori ad una distanza di circa 2 m come mostrato in Figura 6.9 e compiendo piccoli movimenti circolari con la mano così come fatto nella prova precedente.

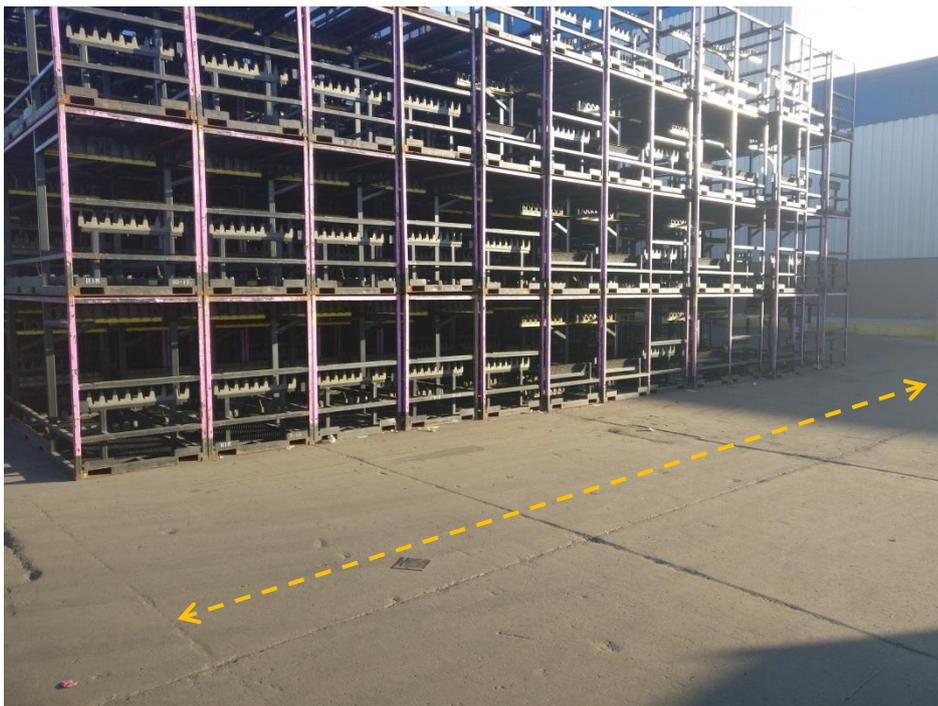


Figura 6.9 Percorso di lettura della prova

Si eseguono tre tentativi di lettura e si valuta la distanza massima alla quale si può assicurare la lettura di tutti i *tag* presenti. Con riferimento ai *tag* presenti fino alla terza fila, comprendenti anche quelli più lontani disposti in alto, in tutte e tre le prove si riesce a leggere il 100% degli elementi. Per quanto riguarda i 13 *tag* disposti sulla quarta fila i risultati della robustezza di lettura sono riportati in Tabella 6.1:

	Percentuale di lettura
Prova 1	77 % (10/13)
Prova 2	92 % (12/13)
Prova 3	85 % (11/13)

Tabella 6.1

Riguardo ai risultati presentati, relativi alla quarta fila, si evidenzia come nella seconda prova, a seguito del risultato ottenuto nella prima, si è provveduto a compiere con il braccio che impugnava il lettore movimenti più lenti e ampi, ma benché il risultato ottenuto sia migliore e questo sia indicativo, non si può definire l'esito significativo dato che è stato ottenuto su una singola prova e tanti altri fattori possono aver influito. A questo proposito si evidenzia come non sempre i *tag* non letti siano quelli posizionati più lontano dal punto di lettura, nello specifico quelli posti più in alto, a riconferma del fatto che la distanza non è l'unico parametro che interviene e che ci sono altri fattori che influenzano la lettura. Le conclusioni che si possono trarre da questo secondo set di prove sono che il *range* di distanza a cui la lettura è assicurata è di circa 15m e che questo permette di leggere in maniera completamente robusta tutti i *tag* presenti fino alla terza fila. Rispetto agli schemi di stoccaggio dei contenitori questo significa prevedere ogni 6 file un corridoio di circa 2m per permettere di ottenere la lettura e quindi il conteggio di tutti i *rack*. Rispetto a questa indicazione il team di stabilimento ritiene accettabile, laddove necessario, la possibilità di inserire il corridoio senza problemi di utilizzo dello spazio disponibile sul piazzale.

Valutando l'esito delle prove condotte si ritiene il sistema selezionato adeguato alle esigenze relative all'*use case* ipotizzato e pertanto la *proof of concept* ha esito positivo. Si sottolinea come i risultati ottenuti siano molto positivi e configurino la possibilità di creare una modalità di gestione dei contenitori estremamente interessante e utile anche per altri casi applicativi.

6.4 Business case

Ottenute doverose conferme sul fronte della fattibilità tecnica e sulle funzionalità del sistema proposto, si valuta ora la solidità del *business case* per verificare che, da un punto di vista economico, il progetto risulti vantaggioso. Come fatto nel progetto a JNAP inserito nel precedente paragrafo, si divide l'analisi in tre fasi: valutazione dei benefici quantificabili, calcolo dei costi da affrontare e considerazioni sugli ulteriori benefici potenzialmente ottenibili.

Per quanto riguarda la valutazione dei benefici si sottolinea come fin qui non sia definita l'area modello sulla quale si intende operare. Con riferimento al problema principale, caratterizzato dai *downtime* delle linee presse dovuti alla mancanza dei contenitori, si mostrano (Figura 6.10) in un grafico i dati relativi ai minuti di *downtime* dovuti a questa problematica per ogni linea presse presente nello stabilimento, valutati in un periodo di 10 mesi.

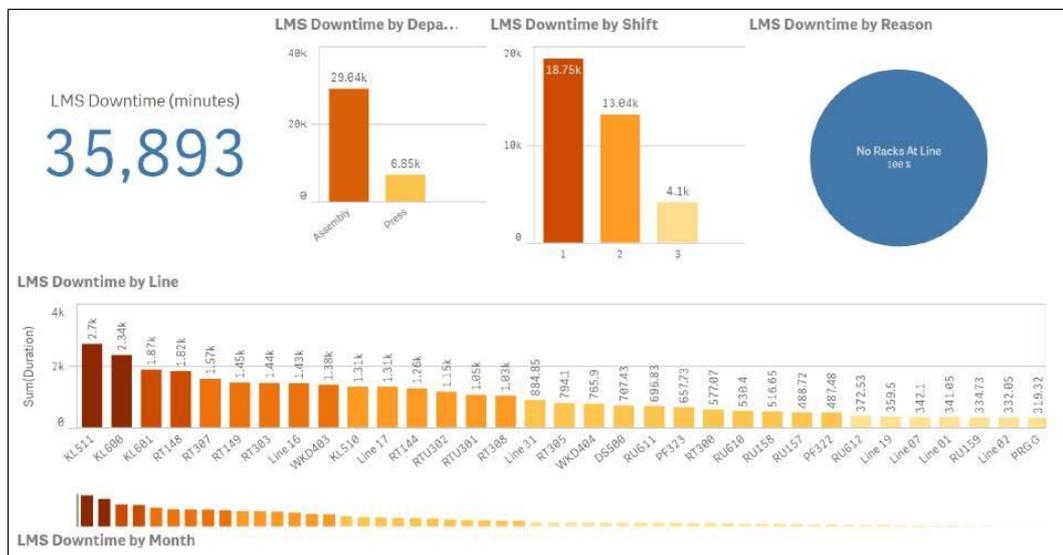


Figura 6.10 Minuti di *downtime* per *No Rack at Line*

Successivamente si dividono le linee presse presenti in due categorie: le linee che servono direttamente i clienti esterni, cioè gli stabilimenti di carrozzeria, e quelle che invece servono le isole di saldatura robotizzate interne allo stabilimento, che producono a loro volta sottogruppi per gli stabilimenti di carrozzeria. In base a questa divisione si identifica la linea presse maggiormente interessata dalla perdita in esame per ciascuna categoria. Il motivo per cui si esegue questa ulteriore verifica e non ci si limita a prendere la linea presse peggiore in termini di minuti per i quali si verifica il problema, è che il costo di un minuto di *downtime* è diverso per ogni linea, poiché comprende diversi fattori legati alla tipologia di presse utilizzate, alla complessità e alle dimensioni del pezzo e ai problemi logistici e non causati a valle a seguito di una minore produzione. Per quanto riguarda le linee presse che servono clienti esterni, la linea maggiormente interessata dalla perdita è quella denominata *Line 16*, i cui dati, sempre riferiti ad un periodo di 10 mesi, si riportano in Figura 6.11.



Figura 6.11 Minuti di *downtime* per *No Rack at Line* per *Line16*

Per quanto riguarda le linee presse che servono le isole di saldatura robotizzate la linea peggiore è quella caratterizzata dal più alto numero di minuti di

downtime in assoluto, la linea denominata *KL511*, di cui ancora una volta si riportano i dati relativi a 10 mesi di osservazione.

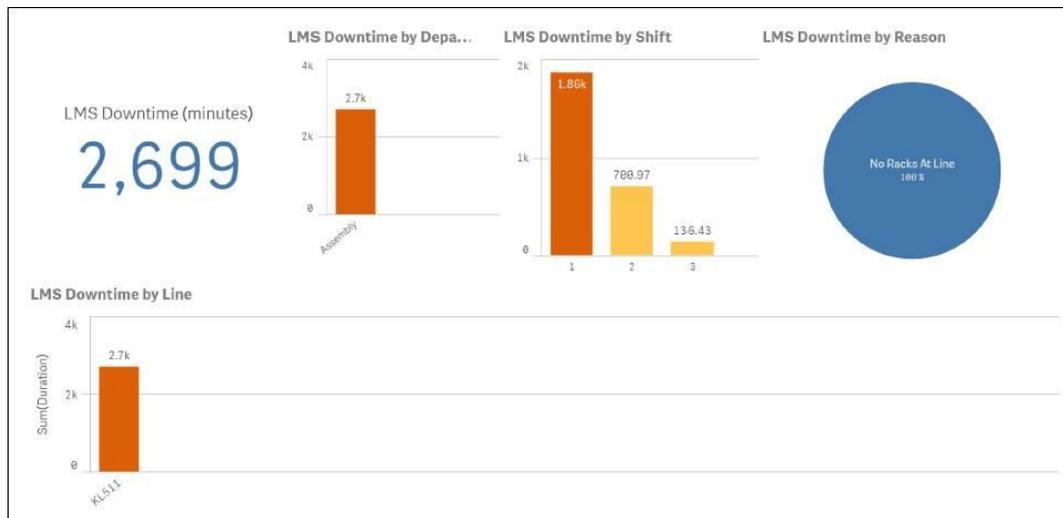


Figura 6.12 Minuti di *downtime* per *No Rack at Line* per *KL511*

Per l'individuazione del costo generato da un minuto di *downtime* si fa riferimento alle valutazioni fatte dall'opportuno team di stabilimento che, come detto tenendo conto di molteplici fattori, ha stimato questo valore per ogni linea. Portando il periodo di riferimento delle perdite ad un anno e moltiplicando i corrispondenti minuti di *downtime* delle due linee per il costo al minuto specifico di ciascuna linea presse, la linea maggiormente interessata dalle perdite, che diventa quindi l'area modello nella quale studiare l'implementazione della soluzione, è la *Line16*. I benefici che si possono ottenere attraverso questo progetto sulla linea in esame ammontano a 22.153 dollari. Benché si intravedano ulteriori benefici quantificabili riferibili al progetto in esame, poiché si tratta di benefici potenziali il cui ottenimento dipende da come verrà sviluppato nel dettaglio il progetto esecutivo, in questa fase di avanprogetto si decide di procedere in maniera cautelativa, non inserendoli nella valutazione del B/C; si descriveranno comunque questi benefici alla fine del paragrafo per consegnare una visione completa.

Per quanto riguarda i costi da sostenere i valori fanno riferimento al preventivo ipotizzato dall'azienda con cui sono stati svolti i test, la *Quanta Inc*, e le voci di spesa identificate sono le seguenti:

- 4 *handreader* del costo di 320 dollari l'uno, di cui 2 per le operazioni ordinarie e altri 2 di scorta.
- Tag RFID UHF del tipo proposto nelle prove del costo di 2,5 dollari l'uno. Il numero di tag è stato identificato con riferimento alla linea di presse selezionata in cui si producono 6 differenti figure, e ammonta a 7000 unità per coprire tutta la flotta di contenitori utilizzata per la produzione.
- Nonostante la durata dei tag RFID sia di diversi anni, vista la robustezza e l'assenza della batteria, si prevede un costo ricorrente di sostituzione dei tag che ammonta al 3% della flotta all'anno.
- L'azienda non ha inserito il costo del software nel preventivo perché prevede di mettere a disposizione a titolo gratuito il software di base utilizzato nelle prove. Per tenere conto di eventuali *features* aggiuntive, a seguito del confronto con il fornitore, si prevede comunque un costo di 1200 dollari corrispondente ad un giorno di programmazione, per implementare piccole modifiche richieste dall'azienda.

Si riportano in Tabella 6.2 i valori delle voci di costo identificate

Voce di costo	Valore totale (\$)
4 x <i>Handreader</i>	1280 \$
7000 x <i>Tag RFID UHF</i>	17500 \$
3% tasso di sostituzione annuo (<u>ricorrente</u>)	525 \$
1 giorno di programmazione software	1200 \$

Tabella 6.2 Riepilogo dei costi

A seguito dei valori ottenuti nel quantificare benefici e costi, e ricordando che nel calcolo del parametro B/C i costi ricorrenti, in questo caso relativi ad un tasso annuo di sostituzione dei *tag* RFID del 3%, sono da sottrarre ai benefici a numeratore, si ottiene un valore di B/C di 1,08. Essendo il valore ottenuto con stime cautelative comunque maggiore di uno il *business case* è accettabile e l'azienda decide di procedere inserendo il progetto tra gli *use case*.

Come detto in precedenza, tuttavia, ci sono altri benefici potenzialmente ottenibili che possono risultare significativi e si decide pertanto di elencarli:

- Come accennato durante la descrizione del problema la mancanza di contenitori non causa solo una fermata produttiva, ma anche la conseguente produzione di un lotto di dimensioni minori alle necessità del cliente. Il pianificatore dovrà dunque decidere come rientrare della mancata produzione. In presenza di contenitori sufficienti a produrre un lotto successivo di dimensioni maggiori dello stesso disegno, non si rilevano ulteriori perdite significative, ma qualora il numero di contenitori presenti non sia sufficiente a recuperare la mancata produzione inglobandola nel lotto successivo si dovrà prevedere nel breve periodo un lotto aggiuntivo. Nel medio-lungo termine questo vorrà dire che l'operazione di cambio stampo e di set up di macchina avverrà alcune volte in più di quanto succederebbe in assenza di questa problematica. Questo significa ulteriori minuti produttivi persi, da moltiplicare per lo stesso valore utilizzato per il *downtime*.
- Ci si è focalizzati finora sulle attività a non valore aggiunto causate dall'inaspettato passaggio al lotto successivo. Il progetto tuttavia permette di eliminare altre NVAA relative principalmente a due attività. La prima riguarda il recupero dei materiali a bordo linea che non sono stati utilizzati a causa della mancata produzione di una parte del lotto, che vanno prelevati e riportati nelle opportune aree di magazzino. La seconda operazione che si va ad intaccare riguarda invece il conteggio dei contenitori nei piazzali, che

adesso avviene con cadenza quasi giornaliera e impegna due operatori per circa 60/90 minuti. L'eliminazione di queste NVAA, in aggiunta a quelle eliminate evitando le operazioni non pianificate necessarie per reagire all'inaspettato stop produttivo, può far pensare all'opportunità di ribilanciare i carichi di lavoro utilizzando la dissaturazione presente per arrivare ad eliminare un operatore. Non si è inserito questo beneficio nel calcolo del B/C perché occorrono ulteriori studi e verifiche per affermare che questa possibilità sia effettiva, principalmente a causa delle dimensioni dello stabilimento che non assicurano che un operatore possa coprire il carico di lavoro di un altro operatore viste le distanze coinvolte.

- Un beneficio potenziale da non sottovalutare è la possibilità di utilizzare il sistema proposto anche per altre operazioni. Una volta affrontato l'investimento iniziale ci si trova in possesso di una flotta di *rack* tracciabili e si possono pensare altre applicazioni, di inventario e non, che possono generare altri benefici senza richiedere costi aggiuntivi. Ad esempio, visto che gli *handreader* presenti sono sotto utilizzati, si potrebbe prevedere con lo stesso sistema la gestione del magazzino dei pieni oppure, dato che i *tag* ipotizzati sono riscrivibili, si potrebbe utilizzare il sistema per gestire i *rack* danneggiati evitando che siano accidentalmente caricati nelle celle robotiche causandone il fermo macchina.

6.5 Nuove opportunità: da approccio reattivo a proattivo

Nel precedente paragrafo, a proposito di benefici potenziali, si sono citate alcune ipotesi circa la possibilità di utilizzare il sistema proposto anche con altre finalità, senza costi aggiuntivi o comunque con investimenti ridotti, potendo beneficiare della presenza dei *tag* RFID sui contenitori. A questo riguardo, in questo paragrafo, si decide di indagare più a fondo il significato e il valore di questa opportunità, osservando due potenziali progetti che vanno in questa direzione. Il

motivo per cui si decide di farlo è mostrare come, una volta verificato il corretto funzionamento del sistema, da un progetto di tipo reattivo, nato per attaccare una perdita specifica, si possa passare a progetti di livello più avanzato che utilizzano un approccio preventivo o proattivo.

Il primo potenziale progetto che si è valutato ha una natura preventiva e prevede l'individuazione di un ulteriore *use case* relativo ad un problema avuto su diverse linee e che ha riguardato alcuni modelli, a cui si decide di guardare in ottica preventiva per valutare future opportunità di sviluppo. Per alcuni disegni sono presenti figure simili che differiscono solo per alcuni particolari legati a diverse versioni di prodotto. I contenitori che accolgono queste diverse versioni sono anch'essi molto simili tra loro e spesso differiscono solo per la presenza di fori, svasamenti o flange e per la diversa geometria degli alloggiamenti, ma al di là del codice colore che li identifica è possibile comunque inserire quasi tutti i pezzi "simili" in ciascuno di questi contenitori. Le conseguenze relative a questo errore non si manifestano tuttavia nello stabilimento di stampaggio, ma una volta che i particolari vengono prelevati dai contenitori per essere utilizzati nello stabilimento di carrozzeria. Le linee di lastratura sono infatti robotizzate e differenti geometrie presenti su un modello impediscono il corretto svolgimento del ciclo di movimenti previsti per un altro modello, andando a interferire con le traiettorie e causando il blocco del robot. Questo fermo macchina contagia in poco tempo tutta la linea di lastratura e se si protrae nel tempo può incidere anche sulle successive operazioni di verniciatura e assemblaggio. La natura preventiva del progetto si esprime andando a valutare l'opportunità di implementare una soluzione a questo problema da inserire su un nuovo modello e in questo caso ci si focalizza sul nuovo Ram 1500, all'epoca dello sviluppo di questo lavoro non ancora in produzione, come dichiarato nell'introduzione al capitolo. Non essendo possibile avere dati su un processo che non è ancora attivo, si sceglie di osservare l'incidenza di questo problema sul prodotto più simile presente, cioè il vecchio *Pick-up Ram* prodotto a *Warren Truck Assembly*

Plant (WTAP) e servito dal centro di stampaggio posto nel medesimo sito, *Warren Stamping Plant* (WSP). Analizzando i dati di WTAP relativi all'anno in corso si riscontrano alcune perdite a cui ci si riferisce con il nome *wrong material shipped*. Indagando sul tipo di perdite che compongono questa voce si scopre che riguarda per la quasi totalità il problema ricercato. Prima di procedere formulando un'ipotesi di soluzione si valuta l'entità di questa perdita. Dai dati disponibili risulta che ci sono stati 40 episodi di fermo macchina dovuti a "*right part in wrong rack*" nel reparto *Body In White* (BIW), cioè la lastratura, con una perdita per l'azienda valorizzata in 97\$ al minuto di *downtime*, per una media di 56 minuti a fermata. Inoltre quando la durata della fermata nel BIW supera i 60 minuti contagia anche la linea di assemblaggio, a cui ci si riferisce con l'acronimo T-C-F che riguarda le tre diverse parti della linea in cui è di solito diviso il processo di assemblaggio di una vettura, *Trim-Chassis-Final*, con un costo di ben 479\$ al minuto per una media di 25 minuti a fermata. Il riepilogo dei valori della perdita appena elencati è proposto in Tabella 6.3.

	Occurance [times]	Minutes per occurrence [min]	Cost per minute [\$]	Total cost [\$]
BIW	40	56	97	217280
T-C-F	19	25	479	227525
TOT				444805

Tabella 6.3

A fronte del valore totale della perdita indicato in Tabella 6.3 si sceglie, per questa ipotesi di progetto, di utilizzare un approccio molto cautelativo, immaginando di ridurre la perdita solo del 20%, tenendo conto di tre diversi fattori. Innanzitutto applicando la soluzione ad una linea si inciderà su 6/8 disegni diversi, che sicuramente costituiranno la maggior parte delle figure per

cui si pone il problema, ma difficilmente ne costituiranno la totalità. Inoltre, come già accennato, la perdita *wrong material shipped*, si riferisce quasi interamente al problema analizzato, ma non del tutto. Infine si tiene conto che i dati sono relativi ad un prodotto molto simile, ma non uguale, e che il processo del nuovo modello può differire e risultare più robusto in tal senso. Entrando nel merito della soluzione immaginata, ci si focalizza su un componente lastrato interessato dal problema sia nel vecchio che nel nuovo modello di *pick-up* Ram, denominato *box side*, cioè la parte posteriore della fiancata che costituisce la sponda laterale del cassone e il parafango. Per questo pezzo sono previsti 8 disegni differenti che tengono conto della versione a singola o doppia cabina, del fianco destro e sinistro della vettura e della presenza o meno di bassifondi sulla lamiera per applicare delle modanature di finizione. Il disegno delle due famiglie di *rack*, 4 di diagonale 5,7 piedi (circa 1,74 m) relative alla versione corta e 4 di diagonale 6,5 piedi (circa 1,98 m) corrispondenti alla versione lunga, è riportato nelle figure seguenti (Figura 6.13 e Figura 6.14)

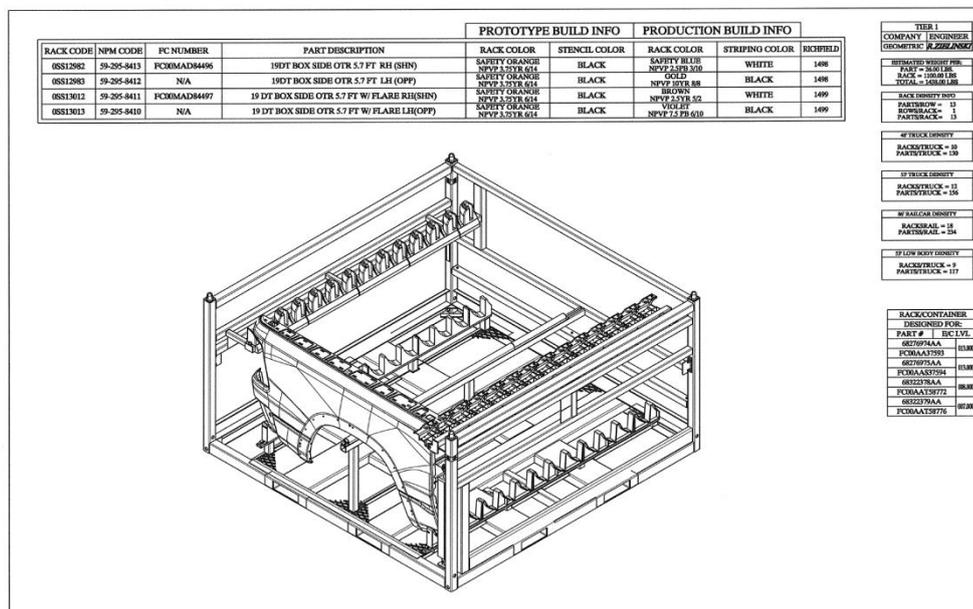


Figura 6.13 Disegno rack da 5,7 piedi

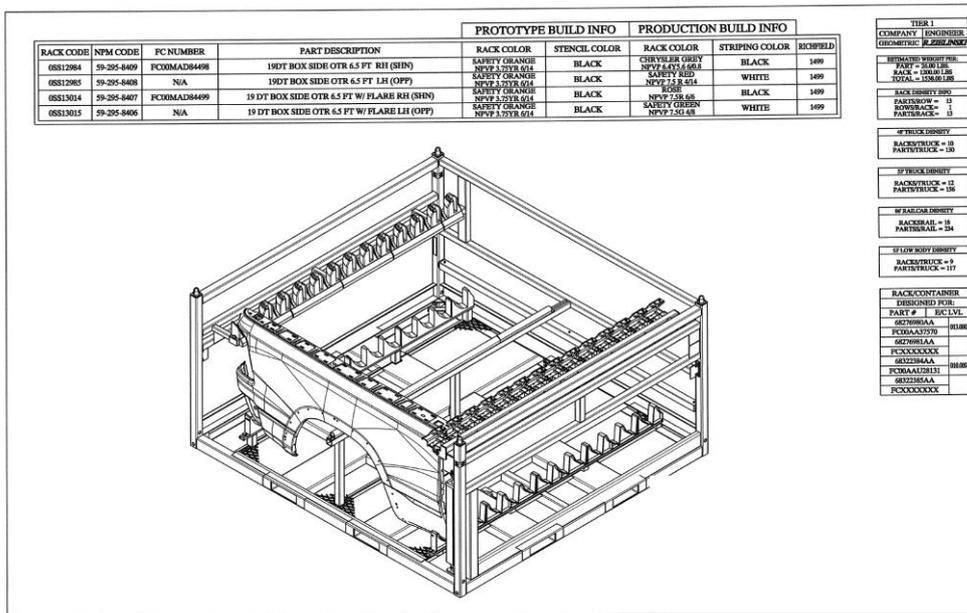


Figura 6.14 Disegno rack da 6,5 piedi

L'idea che si potrebbe sviluppare è quella di utilizzare i *tag* RFID già presenti sui contenitori a seguito del progetto precedente, per implementare una soluzione *error proof* che impedisca agli operatori di inserire comunque i pezzi nel rack sbagliato. Il sistema infatti andrebbe a potenziare il codice colore già presente, che però può essere ignorato dagli operatori, con un secondo controllo, questa volta automatico, che confronti il contenitore presente con quello adeguato ai pezzi in produzione e nel caso non combacino segnali visivamente ed acusticamente l'errore obbligando l'operatore ad intervenire. La situazione a fondo linea della linea presse corrispondente è illustrata in Figura 6.15.



Figura 6.15 Fondo linea presse

I *rack* sono disposti su due file ai lati del nastro trasportatore, in numero massimo di 4 per lato, e sono mono fronte, cioè il caricamento può avvenire solo da un lato, quindi è sufficiente avere un solo *tag* per contenitore poiché si troveranno orientati sempre nella medesima direzione. L'architettura della soluzione è immaginata per prevedere un diverso utilizzo dei lettori rispetto al progetto precedente. Qui il sistema non deve più leggere una serie di contenitori impilati allo scopo di rilevarne la presenza, bensì uno specifico contenitore che si trova di fianco al fondo linea per controllare se risulta del tipo adatto al pezzo in produzione, evitando di leggere il contenitore a fianco. Questa lettura "focalizzata" richiede di approfondire due questioni. La prima riguarda il lettore, che deve quindi essere fisso e "leggere" solo di fronte a sé. A questo proposito si ipotizzano antenne RFID fisse, da installare nella parte inferiore del nastro trasportatore (Figura 6.16), impostate ad un livello di potenza inferiore per

diminuirne la portata, in questa applicazione non necessaria dato che il contenitore si trova a circa 1,3 m di distanza, e aumentarne la precisione. Come detto il segnale della maggior parte dei lettori RFID è direzionale quindi questo accorgimento, suggerito dal *system integrator*, è ritenuto sufficiente per permettere la lettura del solo contenitore adiacente, evitando di leggere tutti i contenitori presenti e invalidare la lettura.



Figura 6.16 Dettagli del fondo linea presse

La seconda questione da dirimere riguarda la posizione nella quale è installato il *tag*. Nel progetto reattivo non si era entrati nel merito della definizione della posizione del *tag* e le prove erano state fatte applicandolo nella posizione più comoda, in quanto l'obiettivo era solo quello di verificare le potenzialità del sistema. In questa applicazione, invece, la posizione del lettore assume un ruolo significativo in quanto influenza i risultati del sistema. Anche per quanto riguarda questo discorso ci si è confrontati con il *system integrator* proponendo diverse posizioni in cui i *tag* fossero accessibili, protetti da eventuali urti con altri contenitori o corpi esterni e permettessero una lettura ottimale per il sistema in esame. Su suggerimento del fornitore si è ipotizzato di porre il *tag* nella posizione mostrata in Figura 6.17, sul fronte indicato dalla freccia, ma su questo tema sarà necessario condurre ulteriori valutazioni per identificare la posizione migliore.



Figura 6.17 Posizionamento tag sul contenitore

Essendo il progetto di cui si sta parlando potenziale, non si sono svolte ulteriori prove in stabilimento per validare la soluzione, né si è provveduto a costruire un *business case* completo, tuttavia, come in precedenza si è indicato e quantificato il principale beneficio, si descrivono le principali voci di costo e il loro valore, per mostrare quanto effettivamente l'opportunità possa risultare interessante. A questo proposito, per quanto riguarda la parte hardware, si fa riferimento ad una bozza di preventivo fornita dalla stessa azienda con cui sono state svolte le prove in stabilimento per il progetto precedente. Come sottolineato più volte i valori inseriti in questa fase sono solo indicativi, per permettere una prima valutazione qualitativa della convenienza del progetto, ma successivamente la procedura prevede che almeno tre fornitori siano individuati e contattati e che siano gli acquisti a gestire la gara, valutando, a partire dai *requirements* tecnici indicati dal

team di stabilimento, l'offerta più interessante e selezionando quindi il fornitore con cui procedere.

QTY.	DESCRIPTION	PRICE	TOTAL
2	4 Port RFID Reader	\$1,200.00	\$2,400.00
	With IO		
8	Stack Light	\$200.00	\$1,600.00
8	Stack Light Bracket	\$47.00	\$376.00
8	RFID Reader RAM Bracket	\$120.00	\$960.00
1	RFID Control Box	\$3,000.00	\$3,000.00
3	3 Days Programming	\$1,200.00	\$3,600.00
2	2 Days On Site	\$1,200.00	\$2,400.00
8	RFID Antennas with Coax	\$200.00	\$1,600.00
	** Need 8 Ethernet Drops POE **		
	** Chrysler will Mount Hardware**		

Tabella 6.4 Riepilogo dei costi

Per quanto riguarda il costo del software, si valuta invece la modifica da applicare al Sistema di Gestione Produzione Presse (SGPP), cioè il sistema MES che gestisce le linee presse, per permettere di leggere l'informazione sul corretto contenitore da utilizzare e confrontarla con l'informazione del *rack* presente a bordo linea. Confrontandosi con gli enti centrali e interrogando Siemens, proprietaria di SGPP, si valuta l'opportunità di inserire la modifica in un pacchetto di aggiornamenti richiesto da FCA; il costo specifico per questa singola modifica risulta così essere di 900\$.

A fronte dei valori individuati, si riporta in Tabella 6.5 il risultato del *business case* approssimativo relativo a questo *use case* per permettere di valutare l'opportunità.

Benefici	Costi	B/C
88961 \$	16836 \$	5,28

Tabella 6.5

Sebbene il B/C ottenuto è approssimativo, avendo stimato in maniera estremamente cautelativa i benefici, scegliendo di incidere solo sul 20 % della perdita, ed essendo le voci residuali non considerate nella valutazione dei costi legate principalmente all'installazione, si ritiene questo valore non lontano dal valore effettivo e pertanto si sottolinea come si possa sfruttare l'implementazione di un progetto reattivo con B/C di poco superiore a 1 per ottenere un'opportunità di progetto preventivo con un B/C ben più alto, utilizzando efficacemente l'investimento fatto di inserire i *tag* sui contenitore del quale si è già rientrati con il primo progetto.

Un altro progetto di particolare interesse, che si potrebbe realizzare in presenza di un sistema di inventario strutturato con *tag* RFID del tipo descritto in questo capitolo, riguarda la gestione della flotta dei *rack*. Dal punto di vista dei due *driver* che giustificano il ricorso a soluzioni di Industria 4.0 in FCA, questo progetto si colloca nell'ambito della possibilità di fornire una visione molto più accurata che permetta di identificare e quantificare perdite prima solo ipotizzabili. L'idea alla base di questo progetto è utilizzare la tracciabilità dei contenitori a cui è applicato il *tag* RFID per creare una specie di mappa che ne indichi posizione e quantità e che si aggiorni in automatico. Prevedendo portali fissi e adeguando il processo logistico in modo da assicurare il loro attraversamento da parte dei contenitori, si potrebbero ottenere delle informazioni preziose. Installando i portali nello stabilimento di stampaggio, ma anche in quello di carrozzeria, negli eventuali magazzini intermedi utilizzati per la raccolta e lo stoccaggio dei contenitori vuoti in rientro e nelle aree di riparazione, si potrebbe conoscere il numero esatto di contenitori presenti in ogni area o in

transito e si potrebbero fare valutazioni ad esempio sulla gestione degli *high runner* o sui tempi di permanenza dei contenitori nelle varie aree. Inoltre si potrebbe modificare la gestione dei contenitori, vuoti e pieni, in presenza di informazione *real time* che permettano di conoscerne la posizione. Infine, visto che come detto i *tag* ipotizzati sono riscrivibili, si potrebbe, come già accennato, contrassegnare i *rack* danneggiati e tenerli così facilmente fuori dal ciclo produttivo fino alla riparazione, ma anche capire dove sono stati danneggiati e quindi indagare sulle cause e studiare come ridurre o eliminare il problema. In generale la possibilità di “vedere” meglio può abilitare una lunga serie di valutazioni che portano all’identificazione di un nuovo insieme di perdite che può sfociare in altrettanti progetti di miglioramento. A differenza del progetto precedente, non è stato possibile delineare con maggiore dettaglio questo *use case*, a causa del limitato tempo a disposizione e viste le dimensioni e la complessità del progetto, che coinvolge diversi stabilimenti così come gli enti centrali e i *partner* esterni che gestiscono parte della logistica, ma è stata comunque suggerita la possibilità di procedere con lo sviluppo perché si intravede l’enorme potenziale. Per fare un esempio dell’enorme opportunità che si prefigura, attualmente le dimensioni della flotta di contenitori sono decise a partire dalle dimensioni dei lotti degli stabilimenti di stampaggio, influenzate a loro volta dai volumi produttivi dei veicoli e dalle distanze in gioco, a cui vengono aggiunte delle opportune scorte di sicurezza di processo. Al numero di contenitori ottenuto a seguito di queste valutazioni si aggiunge di solito un 5% per prevedere un margine di sicurezza aggiuntivo. Implementare un sistema di tracciabilità dei contenitori che permetta di avere una visuale chiara significa vedere molti dei problemi per cui è necessario prevedere questo ulteriore aumento dei contenitori necessari e quindi poter mettere in campo azioni per risolverli. Poter prevedere in fase di *front loading* su un nuovo modello, una riduzione anche solo dal 5% al 4% dei contenitori previsti in più sarebbe molto significativo visto che i *rack* costano alcune migliaia di dollari l’uno, in base a complessità e dimensione, e il risparmio assumerebbe l’ordine di grandezza delle

centinaia di migliaia di dollari, cioè, come lo definirebbero gli americani, “*big money*”.

6.6 Conclusioni

In questo capitolo si è ancora una volta seguita la procedura del WCM selezionando il problema più opportuno da affrontare, identificando la tecnologia con cui farlo, proponendo un sistema e validandolo da un punto di vista tecnico ed economico. Il risultato è stato positivo e si è verificato che quanto proposto risponde alle necessità identificate in maniera adeguata. A questo riguardo lo stabilimento di SSP ha deciso di andare avanti con il progetto implementandolo nell’area modello designata e successivamente pensando di espandere la soluzione ad altre aree dello stabilimento. Inoltre si sono immaginati sviluppi futuri del sistema proposto, con possibili progetti preventivi o addirittura proattivi che aprono ad utilizzi molto più ampi, che si sono presentati ai *manager* degli enti centrali, che hanno giudicato l’opportunità interessante e si sono detti disponibili a procedere con valutazioni successive. Di primario interesse soprattutto la possibilità di tracciare i contenitori permettendo importanti risparmi in fase di *front loading* sui nuovi modelli come spiegato nel precedente paragrafo.

Oltre a questi risultati relativi ai fondamentali *feedback* ricevuti dall’azienda, si vuole porre l’attenzione su un altro fatto che ha caratterizzato questo progetto e che è ritenuto un’importante *lesson learned* riguardo lo sviluppo di soluzioni Industria 4.0. La possibilità di sviluppare il progetto con il supporto di un *system integrator* esterno ha permesso di identificare molto velocemente la scelta migliore in termini di tecnologia e di svolgere le prove nel migliore dei modi, beneficiando delle competenze e dell’esperienza sui limiti tecnologici e sulle migliori modalità di utilizzo. Questa opportunità non va sottovalutata e,

confrontandosi con l'esperienza svolta a JNAP, costituisce un elemento fondamentale per la migliore riuscita del progetto in termini di velocità di sviluppo e di consapevolezza con cui operare le scelte più opportune che assicurano una maggiore efficacia della soluzione individuata.

7 Progetto a Mirafiori Presse

7.1 Introduzione al progetto a Mirafiori Presse

Come dichiarato nel capitolo di introduzione ai progetti, tornando a Torino dopo il periodo negli Stati Uniti, si è valutata la possibilità di espandere le soluzioni studiate, utilizzando l'opportunità di avere a disposizione uno stabilimento presse, uno di meccanica e uno di carrozzeria nel complesso di Mirafiori e un ulteriore stabilimento di carrozzeria a Grugliasco. Si è valutata la direzione da intraprendere seguendo un criterio di opportunità, confrontandosi con le varie risorse interessate, e si è scelto di espandere il progetto sviluppato a SSP relativo alla gestione dei contenitori attraverso l'utilizzo di *tag* RFID UHF passivi. Il progetto è relativo ad uno stabilimento di stampaggio si è quindi deciso di focalizzarsi su Mirafiori Presse, un tempo il più grande stabilimento di stampaggio in Europa. Lo stabilimento, anche se per il diverso approccio produttivo citato nell'introduzione al progetto a SSP ha dimensioni più ridotte rispetto a quello americano, è una specie di omologo di SSP in Italia e serve diversi stabilimenti, oltre a Mirafiori Carrozzeria, situati a Grugliasco, Cassino, Melfi e Val di Sangro. Inoltre risulta essere l'unico stabilimento di stampaggio in EMEA che opera anche con particolari in alluminio.

Il primo passo è stato incontrare il direttore e il responsabile della logistica dello stabilimento e presentare l'*use case* sviluppato a SSP con particolare dettaglio sulla tecnologia utilizzata e sulle opportunità che si rendono disponibili. Successivamente si è indagato per valutare se lo stesso tipo di perdita individuato a SSP fosse significativo anche a Mirafiori Presse, ma, principalmente a causa dei minori volumi produttivi e delle dimensioni più contenute, il problema dei fermi linea imprevisi dovuti alla mancanza di contenitori risulta qui marginale. Tuttavia si è colta l'interessante opportunità portata dai *tag* RFID adatti al metallo, a seguito dei promettenti risultati ottenuti a SSP, per utilizzare

la stessa tecnologia per un altro scopo, e precisamente per un progetto di eliminazione del Cartellino Identificativo del Materiale (CIM) in forma cartacea, a cui il team di stabilimento sta lavorando da un po' di tempo. Il CIM (Figura 7.1) è un'etichetta in cui sono riassunte tutte le informazioni principali riguardanti la produzione e accompagna il contenitore che trasporta i pezzi prodotti per permetterne l'identificazione.

111/Linea 019		Edificio	Zona	Sottizona	DOGANA	FCA Mirafiori
MPF		Zona3		1		111/Linea 019
Lotto SGPP	Sigla lotto	Contacolpi	Data Produz.	Ora Prod.	Progressivo	Numero Disegno
5832134	422	1951	05/03/18	17:26	56	00505349190
Num. Modifica	MDR	Ora MDR	UM	Lordo (Kg)	Descrizione	
N62004IT2111001	1744	24	N	262	RIV. EST. PORTA ANT. DX	
Tipo	Note Sistema	Note Utente			Ora MDR	CIM
952B					24	
Numero Disegno				Cod. MDR	CIM	
00505349190				1744	111800423925	
RIV. EST. PORTA ANT. DX				Data Produz.	111800423925	
				Ora Prod.		
				17:26		
				Sigla lotto		
				422		
				Tipo		
				952B		
Autore		CIM		111800423925		
Rialuto, 9194a						

Figura 7.1 Esempio di CIM cartaceo

Nella parte alta del CIM sono presenti informazioni sulla linea di produzione, sull'ubicazione nel magazzino prodotti finiti e, in evidenza, un'indicazione dello stato CIM che identifica in che fase del processo ci si trova. Maggiori informazione sullo stato, così come sulle operazioni che prevedono una modifica e quindi una ristampa del CIM saranno date in seguito quando si descriverà in maniera integrale il processo "as is" e quello "to be" ipotizzato. Nella parte centrale ci si riferisce al pezzo prodotto, con il codice identificativo del materiale e un'indicazione sul tipo di pezzo coinvolto. In fondo invece si inserisce il numero

del CIM emesso e un codice a barre che permette di identificare univocamente i pezzi nel contenitore. Sul lato destro, infine, è presente una zona con un riepilogo delle informazioni, denominata “figlia” del CIM che viene strappata in fase di spedizione per comporre la bolla di carico.

Il CIM, a seguito di un precedente progetto, viene inserito in un’apposita tasca porta CIM che lo tiene al riparo da eventuali danneggiamenti ed evita che vada smarrito (Figura 7.2).



Figura 7.2 Tasca porta CIM

Data la disposizione dei contenitori in magazzino il CIM cartaceo non risulta sempre visibile (Figura 7.3) e questo non permette di accedere alle informazioni contenute al suo interno, anche se, essendo i singoli lotti destinati ad una determinata area di magazzino, è possibile conoscere la maggior parte delle informazioni dai contenitori adiacenti per cui il CIM resta visibile.



Figura 7.3 Esempio di disposizione contenitori in magazzino prodotti finiti

La proposta di eliminare il CIM cartaceo nasce dall'opportunità di eliminare la carta speciale di cui sono fatti e le stampanti e di ridurre la manodopera necessaria per la gestione dei contenitori, a seguito della semplificazione delle operazioni.

7.2 Descrizione dell'*use case* applicativo

Il progetto di espansione ipotizzato ha come detto lo scopo di sostituire il CIM cartaceo con i *tag* RFID. Questo significa intervenire pesantemente sul processo, che prevede l'utilizzo del CIM in diverse aree e a volte richiede l'aggiornamento delle informazioni in esso contenute, che attualmente avviene ristampando il CIM corretto. A livello di tecnologia, essendo un progetto di espansione, si parte da quanto stabilito per SSP, riservandosi la possibilità di inserire successivamente eventuali modifiche, qualora si ritengano necessarie. Il punto di partenza sono quindi i *tag* RFID:

- *Ultra High Frequency (UHF)*: preferibili per le distanze operative coinvolte e poiché il numero di elementi con cui interagire contemporaneamente è elevato.
- *Passivi*: non dotati di una batteria interna, che va ricaricata o sostituita, e caratterizzati da un costo ridotto e da una lunga vita operativa.
- *Optimized for metal*: non solo adatti a lavorare in ambienti caratterizzati dalla massiccia presenza di metallo, ma in grado, in queste condizioni, di permettere risultati operativi ottimali utilizzando il metallo presente per far rimbalzare il segnale e migliorare così la lettura.

Prima di entrare nel merito delle modifiche del processo si valutano inoltre ulteriori caratteristiche ricercate nei *tag* RFID legate all'interoperabilità all'interno dello stabilimento. In primis si prevede di mantenere stampato sul *tag* un elemento *visual, linear barcode* o *QR code*, per permettere comunque l'identificazione visiva e l'accesso alle informazioni anche per chi non è dotato di strumenti appropriati per interagire con la tecnologia RFID. Essendo il codice stampato fisso e dovendo tutte le informazioni e i loro eventuali aggiornamenti comunque passare per il sistema MES che gestisce lo stabilimento presse, denominato Sistema di Gestione Produzione Presse (SGPP), non è necessario prevedere che sia possibile inserire informazioni sul *tag* e si predilige dunque il minor costo valutando *tag* RFID per sola lettura. L'architettura del sistema dal punto di vista del flusso di informazioni in lettura e scrittura sarà mostrata in seguito, ma si anticipa che in quest'ottica il *tag* RFID agisce come un puntatore alle informazioni inserite in SGPP a cui viene di volta in volta accoppiato.

Per quanto riguarda la tecnologia da utilizzare per la lettura, poiché si ipotizzano diverse soluzioni per permettere al processo di funzionare nelle sue diverse fasi, non si fa una scelta univoca, lasciando sul tavolo l'ipotesi di utilizzare lettori manuali, palmari dotati di schermo, antenne fisse o portalì secondo le diverse esigenze.

Come già dichiarato sostituire il CIM cartaceo significa intervenire su diverse fasi che caratterizzano il processo produttivo e di gestione dei contenitori vuoti e pieni. In questo caso non si può procedere come già fatto per i precedenti progetti, identificando una *model area* e dettagliando il progetto su di essa. Infatti la sostituzione del CIM, incidendo pesantemente su tutto il processo, non rende possibile una gestione promiscua che utilizzi allo stesso tempo i due sistemi e pertanto nello studio della soluzione bisogna riferirsi all'intero stabilimento, anche se l'implementazione passerà necessariamente attraverso una zona di prova. Essendo questo intervento molto impegnativo, si rende necessario identificare tutti i possibili utilizzi e le possibili implementazioni del sistema per valutarne l'impatto e verificare che non ci siano ostacoli che impediscano il passaggio dal CIM cartaceo a quello virtuale. Oltre a verificare la fattibilità tecnica e gestionale si devono valutare tutti i possibili utilizzi e benefici raggiungibili con la nuova tecnologia e le modifiche che impone al processo. A questo scopo si descrivono ora le modifiche al processo e i progetti potenziali che si potrebbero sviluppare se si proseguisse con la sostituzione del CIM cartaceo, ma non si formula un *use case* specifico, bensì solo alcune possibilità da valutare. Per la costruzione dello *use case* si rimanda alla fase successiva alle verifiche in stabilimento, per permettere di operare le scelte solo dopo aver indagato sulle reali potenzialità del mezzo tecnologico utilizzato.

Si comincia l'analisi dichiarando in quali aree il processo prevede che il CIM possa essere emesso o aggiornato. La prima area da considerare è ovviamente il fondo linea, dove il CIM viene stampato la prima volta per essere associato al contenitore una volta terminato il riempimento di quest'ultimo. A questo punto la successiva stazione per i contenitori che seguono il flusso principale è caratterizzata dalla dogana, dove avviene la presa in carico del materiale. Nel caso dei contenitori specifici viene effettuato un conteggio visivo, che nella maggior parte dei casi conferma la quantità inserita nel CIM, mentre per i contenitori normalizzati si effettua un conteggio tramite pesatura, che molto

spesso restituisce un valore diverso da quello indicato e perciò si procede ad aggiornare l'informazione e ristampare il CIM. Rispetto a questa distinzione tra diversi contenitori si evidenzia come in questa fase non si prevede di intervenire anche sui contenitori normalizzati, in quanto per questi non è garantito un utilizzo a ciclo chiuso con conseguente possibilità che alcuni dei contenitori su cui è applicato il *tag* RFID escano dal giro dello stabilimento e che vengano sostituiti da contenitori senza *tag*.

Ci sono poi una serie di stazioni fuori flusso principale dove sono previste operazioni di controllo qualità, ripresa dello stampato o riparazione che prevedono la ri-emissione del CIM con un aggiornamento dello stato. Per ricapitolare quali stazioni possono necessitare l'emissione del CIM si riporta uno schema logico delle operazioni (Figura 7.4), che costituisce anche uno schema dei flussi dei prodotti stampati, dato che la sorte di questi due elementi è legata.

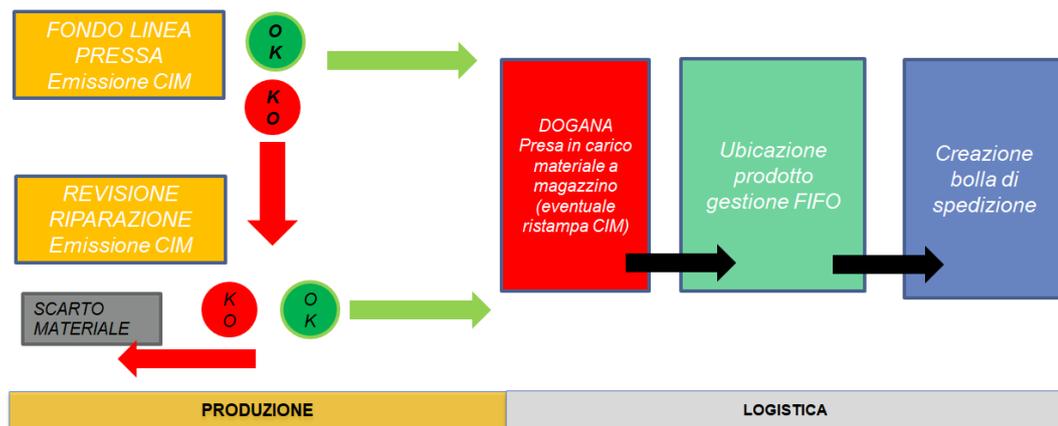


Figura 7.4 Flusso logico delle operazioni

Guadagnata una maggiore chiarezza sulle operazioni legate al CIM, si riporta in Figura 7.5 il layout dello stabilimento per permettere di identificare le aree citate e conseguire una visione più chiara.

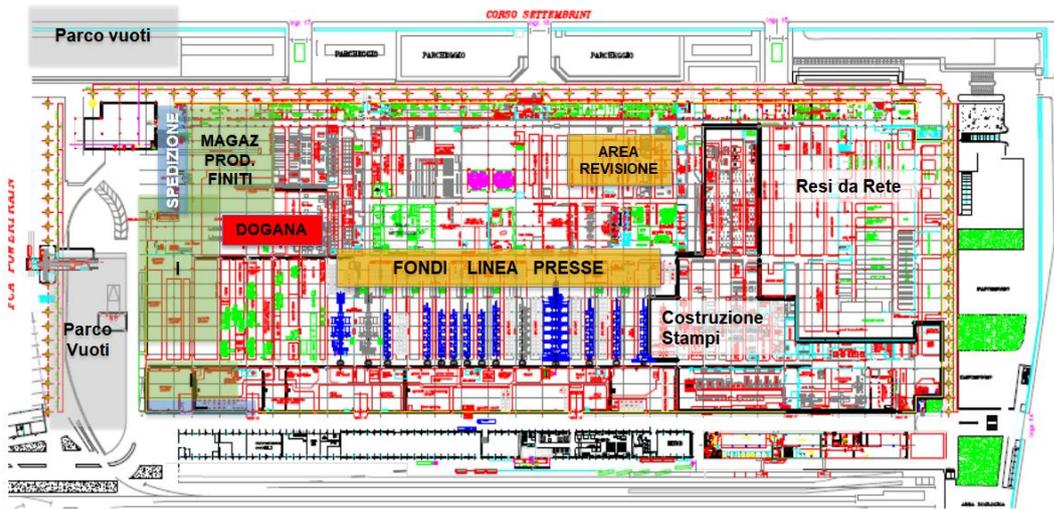


Figura 7.5 Identificazione aree sul layout dello stabilimento

Per rendere il processo più comprensibile e le modifiche ipotizzate più intelleggibili, si decide di descrivere il processo in **TABELLAv**, mostrando il processo “as is” a fianco del processo “to be” interessato dalle modifiche.

Processo “AS IS”		Processo “TO BE”
stazione	operazione	operazione
Fondo Linea	mentre l’operatore riempie il contenitore la stampante riceve le informazioni da SGPP e stampa il CIM	quando l’operatore ha terminato di riempire il contenitore legge con un lettore manuale il tag RFID (*o un lettore fisso) e il sistema accoppia le informazioni provenienti da SGPP con il codice identificativo del tag
Fondo Linea	l’operatore, completato il riempimento del contenitore, applica il CIM	

<p>Qualità</p>	<p>ogni tot pezzi viene prelevato un contenitore completo e inviato all'area di controllo</p>	<p>tutte le attività "fuori flusso principale" avvengono normalmente, ma eventuali aggiornamenti delle informazioni vengono fatti da terminale/dispositivo <i>mobile</i> cambiando le informazioni associate al <i>tag</i></p>
<p>Revisione</p>	<p>per alcuni codici è prevista da processo una ripresa dello stampato</p>	
<p>Riparazione</p>	<p>nel caso a fondo linea si notino difetti il contenitore viene mandato in area riparazione</p>	
<p>Rottami</p>	<p>per eventuali pezzi da buttare devo gestire il CIM (che potrebbe già esserci o no)</p>	

Dogana	pesatura per il conteggio dei pezzi nei contenitori normalizzati, conteggio visivo nel caso di contenitori specifici	per i contenitori normalizzati non cambia nulla, per i contenitori specifici eventuali aggiornamenti sono gestiti dal terminale già presente
Dogana	presa in carico con conferma o, se necessario, correzione e ristampa del CIM (usuale per i pezzi nei contenitori normalizzati, eccezionale per quanto riguarda i contenitori specifici)	

Magazzino	giacenza	non cambia nulla dal punto di vista del processo: informazioni ora consultabili tramite lettura rfid (non focalizzata su singolo contenitore) o lettura ottica
Magazzino	prelievo	

Compreso l'insieme delle aree coinvolte e il processo, prima di procedere con la descrizione dei diversi possibili utilizzi studiati, si decide di descrivere l'architettura del flusso di informazioni per spiegare come si intende sviluppare la

soluzione. L'identificazione di questo flusso è stata fatta con l'IT centrale che ha valutato la migliore soluzione per garantire l'integrità del sistema SGPP e dunque la gestione operativa della fabbrica. A questo proposito l'IT ha ritenuto opportuno gestire le informazioni relative ai CIM virtuali su un *cloud* di stabilimento apposito e non direttamente su SGPP per evitare sia di sovraccaricare il sistema che di evitare possibili contaminazioni di dati vitali per la gestione produttiva. Tutti gli aggiornamenti devono comunque sempre passare da SGPP che deve essere informato sullo stato della produzione per gestirla al meglio.

Il flusso dell'informazione ipotizzato viene quindi gestito su tre piani diversi:

- SGPP: contiene e gestisce le informazioni legate alle diverse fasi della produzione.
- *Cloud*: contiene il CIM virtuale con le informazioni e l'ID del *tag* a cui esso è associato.
- *Tag*: non contiene alcuna informazione, ma identifica il contenitore e permette di accedere alle informazioni contenute nel *cloud*.

Durante la fase di scrittura, solo nelle area elencate sopra per cui è previsto, dalle stazioni giungono aggiornamenti sulle informazioni che vengono inviati a SGPP. SGPP registra i cambiamenti e si occupa di riversare le informazioni ricevute anche nel *cloud*. In fase di lettura invece, tramite opportuno lettore RFID o attraverso la lettura ottica del codice visivo, l'ID del *tag* punta ad una specifica porzione della memoria contenuta nel cloud dove sono riportate le informazioni cercate. Uno schema semplificato di queste due diverse fasi è inserito in Figura 7.6.

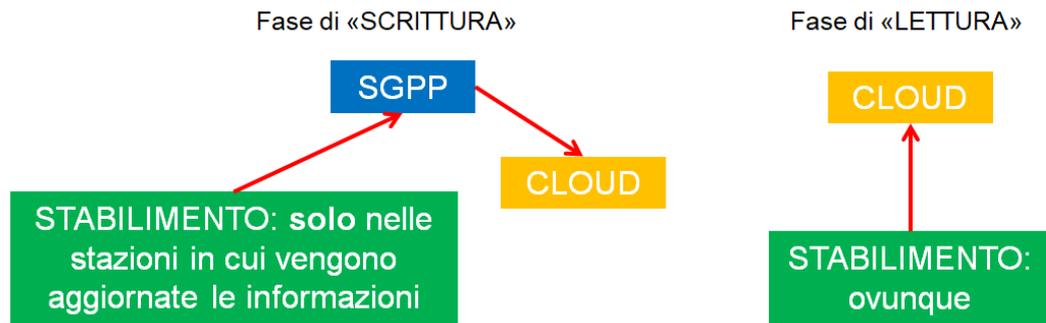


Figura 7.6 Schema del flusso delle informazioni

Si passa ora alla descrizione dei diversi interventi immaginati. Poiché come detto in questa fase non viene ancora definito uno *use case*, ci si limita ad elencare sinteticamente le possibilità sulle quali si è lavorato nell'ipotesi di inserire i *tag* RFID sui contenitori lasciando le valutazioni necessarie per giustificare le scelte. Solo successivamente, dopo aver effettuato le prove e con il supporto tecnologico dei fornitori integratori di sistema, si potrà avere una visione più completa del progetto e si potrà procedere compiendo le scelte ritenute più opportune.

Oltre all'eliminazione del CIM cartaceo, con tutte le modifiche di processo conseguenti tra cui la presa in carico dei pezzi presso la dogana, precedentemente descritta, si elencano le altre possibili applicazioni:

1) Come ipotizzato per SSP si vuole gestire l'inventario del parco vuoti presenti sui piazzali esterni in maniera automatica. Si decide di ipotizzare questa implementazione anche se si è dichiarato che la perdita identificata a SSP qui non è significativa, poiché comunque è prevista l'attività del conteggio e gestirla in maniera automatica permetterebbe la creazione di un sistema che elimini o riduca l'operazione fisica. A livello di architettura si può procedere o, come previsto a SSP, con l'utilizzo di un lettore RFID manuale oppure attraverso portali fissi. Quest'ultima ipotesi risulta interessante poiché i parchi vuoti sono localizzati in due aree (Figura 7.7) circoscritte con entrata ed uscita fisse e quindi

un flusso ben definito e l'inserimento dei portali permetterebbe non solo di eliminare del tutto l'attività di conteggio fisico, ma anche di costruire un sistema *fool proof*. Inoltre, con la presenza dei portali, si potrebbe implementare un ulteriore progetto volto a verificare la corretta composizione di carico delle tradotte che prelevano i contenitori vuoti per portarli a fondo linea, prevedendo una soluzione *error proof* che potrebbe avvisare in modo visivo e sonoro con lo scopo di migliorare l'efficienza dei trasporti e la sicurezza. Qualora fosse ritenuto necessario si potrebbe addirittura immaginare di mettere una sbarra all'uscita per impedire che il segnale di errore sia ignorato ed obbligare il conduttore a correggere la composizione, impedendogli di lasciare l'area altrimenti, rafforzando l'effetto *error proof* della soluzione a portale.

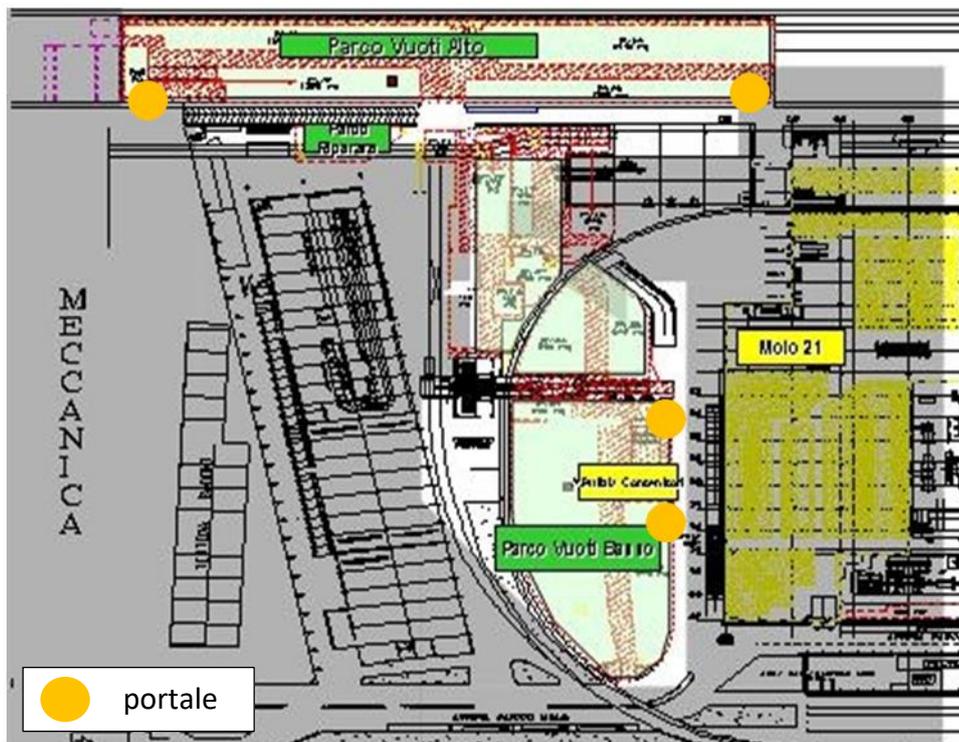


Figura 7.7 Disposizione portali in parco vuoti

2) Una volta eliminato il CIM cartaceo bisogna prevedere come modificare le operazioni di emissione del documento di trasporto (DDT), in assenza di

riferimenti cartacei. Si propone, come fatto per il flusso principale, un'analisi del processo "as-is" e di quello "to-be".

Molo	composizione sagoma di carico	fatta la sagoma di carico o, se possibile, una volta che il camion è stato caricato, un lettore posto sul muletto legge i tag dei contenitori associati alla spedizione e in automatico invia al sistema i dati che compongono la bolla di carico
Molo	si strappa una parte del CIM cartaceo da ogni contenitore per preparare la bolla di carico	
Molo	dal terminale l'operatore prepara la bolla di carico leggendo le varie "figlie" del CIM	
Molo	l'operatore aggiunge a terminale informazioni su cliente, vettore, targa, autista e stampa il manifesto di carico contenente tutte le informazioni (DDT)	l'operatore tramite terminale/dispositivo <i>mobile</i> aggiunge le informazioni su cliente, vettore, targa, autista e stampa il manifesto di carico (DDT) (<i>*eventualmente con App apposita con menù a tendina visto che le informazioni sono ricorrenti</i>)

La questione da dirimere riguarda il tipo di strumento di lettura più opportuno. Si deve valutare la possibilità di utilizzare un lettore RFID manuale da usare una volta composta la sagoma di carico, o di un'antenna montata sul mezzo di movimentazione che legga il contenitore mentre quest'ultimo viene caricato sul camion. Inoltre bisogna comunque prevedere un terminale o un dispositivo *mobile* per inserire le informazioni aggiuntive riguardanti cliente, vettore, targa e autista necessarie a completare il DDT. A tal proposito per evitare NVAA, visto che le informazioni spesso sono ricorrenti, si potrebbe prevedere una semplice *App* che memorizzi i dati o, per esempio per quanto riguarda il vettore, permetta di selezionare tramite un menù a tendina tra le varie opzioni disponibili.

3) Un'altra possibilità interessante riguarda la gestione tramite RFID dell'inventario contabile dei contenitori pieni. Cogliere questa opportunità data dalla presenza dei *tag* sui contenitori può non solo ridurre di molto le attività di inventario del magazzino prodotti finiti, ma anche aiutare nella gestione del FIFO permettendo di individuare rapidamente il più vecchio lotto disponibile di un dato disegno. Per questa applicazione nel magazzino prodotti finiti occorre valutare con attenzione quale metodologia di lettura scegliere. Visto che l'interazione con i contenitori è prevista per numerose attività, ordinarie e non, per evitare di dotare tutti gli operatori coinvolti di lettori RFID manuali sarà necessario valutare quali operatori necessiteranno obbligatoriamente del lettore RFID e quali invece potranno intervenire utilizzando il codice *barcode* lineare o 2D.

4) La presenza dei *tag* RFID sui contenitori e la nuova gestione dei flussi logistici proposta, permettono anche di conoscere alcune informazioni che possono rivelarsi utili per analisi di dettaglio. Ad esempio è possibile conoscere in quale fase si trova il contenitore e capire le giacenze nelle varie aree per valutare anomalie. Inoltre sarebbe possibile gestire meglio i contenitori danneggiati permettendo di isolarli dal flusso fino all'avvenuta riparazione e di indagare su dove avvengono i danneggiamenti.

7.3 *Proof of Concept: prove in stabilimento*

Per quanto riguarda le prove da prevedere in stabilimento per verificare le potenzialità della tecnologia selezionata, l'assenza di vincoli legati al tempo disponibile permette di seguire in maniera più rigorosa la procedura. Si identificano quindi tre fornitori integratori di sistema che utilizzano *partner* tecnologici differenti, contattando diverse realtà che hanno sviluppato con FCA progetti che coinvolgono tecnologie simili in altri stabilimenti o individuate *online* sulla base del loro profilo di competenze. Si procede incontrando i fornitori e raccontando le ipotesi di applicazioni immaginate e le soluzioni ipotizzate e confrontandosi con loro. Si prevedono prove in stabilimento per indagare l'effettivo funzionamento di alcune delle soluzioni ipotizzate.

Come già valutato per SSP i parametri principali da tenere sotto controllo durante le prove delle soluzioni proposte sono:

- Distanza: bisogna prevedere una prova per valutare la distanza massima alla quale avviene con certezza la lettura. Si ripete che non si tratta di registrare la distanza più alta alla quale è avvenuta una singola lettura, ma la distanza massima alla quale tutte le letture avvengono senza problemi.
- Densità: bisogna prevedere una prova con diversi contenitori impilati su più file, dotati di *tag*, per valutare se la lettura avviene regolarmente anche in presenza di una nuvola di segnali vicini.
- Ambiente: bisogna prevedere prove nei luoghi dello stabilimento considerati più sfidanti per la tecnologia, per assicurarsi che non vi siano ostacoli. Questo significa valutare il funzionamento del sistema all'interno e all'esterno dello stabilimento e indagare la possibilità di una lettura focalizzata a fondo linea.

Partendo dalla necessità rilevate e dalle ipotesi di progetto si richiede ai tre fornitori di studiare ipotesi di fattibilità usando le tecnologie e le competenze di cui dispongono e di presentarle per alcune prove sul campo. Rispetto ai risultati soddisfacenti certificati nelle prove svolte negli Stati Uniti i fornitori hanno da subito evidenziato delle perplessità, circa la possibilità di emulare i risultati, anche se si sono resi disponibili a studiare soluzioni.

Il fornitore A si è focalizzato su un lettore palmare e sulla possibilità di interagire con i contenitori pieni ubicati nel magazzino prodotti finiti perché preoccupato dalla elevata densità metallica presente. Inoltre ha suggerito di modificare il tipo di *tag* RFID coinvolti, prevedendo l'utilizzo di un modello di *hard tag* che oltre alla tecnologia RFID offra la possibilità di effettuare la lettura attraverso la tecnologia NFC utilizzabile dai dispositivi *mobile* in dotazione agli operatori, principalmente *smartphone*. Un *App* che abilita questa funzione è facilmente sviluppabile con le risorse IT interne.

Il fornitore B ha proposto una valutazione della soluzione a portale, non solo per gestire il parco vuoti all'esterno, ma anche per ipotizzare applicazioni interne in sostituzione delle altre architetture ipotizzate.

Il fornitore C ha da subito dichiarato di avere timori circa le distanze di lettura ottenibili con un lettore RFID manuale confermando comunque la disponibilità ad effettuare delle prove. Come proposta ha suggerito di prevedere ulteriori modifiche al processo, con l'individuazione delle stazioni di passaggio obbligato del flusso con installazione di antenne RFID fisse.

Mentre i fornitori preparano le soluzioni proposte per i test in stabilimento, si indaga anche sulla possibilità insieme all'ICT di eseguire una simulazione con il software *Plant Simulation* elaborato da Siemens, per verificare se ci siano situazioni potenzialmente critiche a seguito dell'implementazione del nuovo processo.

In date differenti sono state effettuate prove pratiche in stabilimento per valutare le diverse soluzioni proposte. I risultati ottenuti rispetto a tutte le prove effettuate sono stati deludenti e in netto contrasto con quanto testato in America. La distanza di lettura possibile è stata molto inferiore alle aspettative rispetto a tutte le diverse tecnologie ipotizzate, con un risultato di circa 1-2m relativo ai lettori portatili, e circa 3-4 m per quanto riguarda i lettori fissi. Questo risultato è stato tanto sorprendente quanto inatteso. Insieme ai fornitori si è cercato di capire quale fosse il motivo di una differenza così marcata per cercare di capire come intervenire per risolvere il problema. Confrontando la tecnologia utilizzata nelle due realtà si è visto, provando ad utilizzare lo stesso *tag* applicato a SSP, che il tipo di *tag* non influenza la distanza, come prevedibile trattandosi di un elemento passivo. L'attenzione si è spostata dunque sui lettori e si è scoperto che esiste una fondamentale differenza normativa sulla potenza massima utilizzabile nelle due aree geografiche. Gli stessi fornitori della tecnologia vendono versioni diverse dello stesso prodotto adeguate alle diverse normative. Questa differenza di potenza, in un sistema basato su *tag* passivi che non sono in grado di emettere da soli il segnale, incide drasticamente sulle potenzialità dell'architettura di sistema ipotizzato, relegando i *tag* passivi ad un utilizzo per lo più di prossimità. Di fronte a questo limite sostanziale sulla distanza di lettura, risulta evidente che una buona parte delle modifiche del processo ipotizzate non sono più realizzabili con questa tecnologia.

Ovviamente non ha senso in queste condizioni procedere con la costruzione del *business case*, poiché non si saprebbe quali benefici considerare ottenibili e a fronte di quali costi.

7.4 Conclusioni

Allo stato dell'arte in Europa non ci sono le condizioni tecniche per portare avanti il progetto; si ritiene però opportuno non lasciarsi scoraggiare dai deludenti risultati ottenuti in fase di prove con i fornitori che ridimensionano inevitabilmente il progetto ipotizzato, ma cogliere comunque l'opportunità per evidenziare alcuni concetti sani che si possono trarre rileggendo l'esperienza.

Innanzitutto aver valutato modifiche di processo per adeguare la realtà attuale all'introduzione di una nuova tecnologia ha permesso di identificare diverse esigenze e opportunità oltre a quelle dalle quali si era partiti e di fare alcune valutazioni interessanti per preparare il terreno all'implementazione di future soluzioni da sviluppare quando le tecnologie disponibili saranno in grado di rispondere alle esigenze riscontrate. In tal senso è possibile che altre tecnologie si rendano disponibili, oppure che le tecnologie alternative già disponibili prendano maggior piede con conseguente diminuzione dei costi di implementazione, o infine che la stessa tecnologia RFID utilizzabile in Europa evolva, o a seguito di un cambio di normativa o a seguito di ulteriore innovazione tecnologica. Poiché le esigenze dello stabilimento riguardo l'eliminazione del CIM cartaceo e la gestione ottimale del flusso dei contenitori rimangono prioritarie il team di stabilimento si è dichiarato pronto a cogliere eventuali evoluzioni che rendano il progetto implementabile.

Un secondo *take back* riguarda la diversa competitività dei sistemi paese nelle due aree geografiche. È significativo notare, al di là delle differenze normative che in questa specifica applicazione producono una disparità tecnica, come sia possibile ottenere *business case* più convenienti nella regione NAFTA, caratterizzata non solo da volumi più alti e da maggiori margini unitari ma anche, come in questo caso, dal costo della stessa tecnologia sensibilmente differente tra le due aree, a sfavore dell'Europa, per giunta a seguito di una minore potenzialità tecnologica del sistema seppur provocata da differenze normative e

non tecniche. Questi temi riportano al centro del discorso la questione dell'effetto paese e rilanciano il problema della competitività globale.

Contesto e comportamento si influenzano a vicenda e questa valutazione è coerente con un'impressione avuta durante lo svolgimento della tesi nelle diverse regioni osservando l'atteggiamento rispetto al modo di fare industria: in EMEA l'accento è posto sull'efficienza, intesa come razionalizzazione delle risorse disponibili fino al massimo livello possibile, cercando di sfruttare fino in fondo il bagaglio di competenze e creatività, mentre in NAFTA l'accento è posto sul volume, sulla capacità di garantire produzioni elevate, e questo si rispecchia in un diverso atteggiamento nei confronti delle modalità con cui condurre i progetti.

Infine si fa una considerazione più generale che riguarda l'atteggiamento da tenere rispetto alle valutazioni sugli *use cases*. Nel capitolo sull'Industria 4.0, citando lo studio contenuto nel libro *Leading Digital* (Westerman, G., Bonnet, D., McAfee, A., 2014), si era affermato che in generale l'approccio allo sviluppo di progetti di digitalizzazione che risultava più vincente fosse del tipo *top-down* e che un approccio *bottom-up* portava più raramente al successo. Partendo da questa valutazione si ritiene che in un certo senso il concetto sia confermato anche nel caso in esame. Anche se le prove in stabilimento avessero avuto un esito positivo infatti, la situazione di maggiore costo e di minori benefici che si riscontra in Europa avrebbe portato ad un *business case* incerto con un valore di B/C stimato in un intorno di 1. Nel caso il valore fosse stato, seppur di poco, inferiore ad uno, il responso sarebbe stato di dare priorità ad altri progetti e di attendere condizioni migliori per proseguire, relegando il progetto tra quelli possibili, ma non da sviluppare nell'immediato. Come mostrato largamente nel capitolo su SSP, tuttavia, a volte può essere presente un effetto moltiplicatore associato ad un progetto di Industria 4.0 con un B/C non sufficientemente remunerativo, ma che introduce nello stabilimento la tecnologia, assorbendone i costi di investimento iniziali e aprendo la strada a nuove implementazioni. Si

possono quindi evidenziare in fase di studio o addirittura in una fase successiva di piena applicazione ulteriori benefici possibili che globalmente portano il B/C a valori più che buoni. È chiaro che in condizioni di B/C incerti o non completamente esplorabili in una fase di avanprogetto diventa elemento guida fondamentale la *vision* del *management* che può “spingere” una soluzione innovativa confidando, per esperienza, ma anche per intuito, sulle possibilità concrete del progetto. In questi casi un approccio *top down* può portare a realizzare progetti che sarebbero rimasti nella fase di *concept* e che possono poi rilevarsi pienamente vincenti.

8 Conclusioni

Giunti al termine di questo lavoro di tesi è opportuno fare alcune considerazioni e valutare quali lezioni si sono imparate e quali traguardi si sono raggiunti.

In primis si sottolinea come l'opportunità data da FCA di ricevere una formazione specifica e, in seguito, di poter sviluppare in maniera in larga parte autonoma, ma con il costante supporto delle diverse risorse coinvolte, progetti sulle due sponde dell'oceano sia stata di una ricchezza ineguagliabile.

L'esperienza svolta, con la visita di numerosi stabilimenti, ha permesso non solo lo sviluppo dei progetti, ma anche di competenze e di una più ampia conoscenza della realtà di fabbrica in una grande azienda globale che fa del *manufacturing* uno dei suoi punti di forza. L'incontro con la dimensione globale, insieme alla possibilità di visitare diversi stabilimenti nelle due aree geografiche, ha permesso inoltre di fare un'esperienza culturale significativa e di osservare come in fabbriche apparentemente simili non sempre si agisse seguendo i medesimi schemi.

Da questa esperienza si possono trarre numerosi insegnamenti che in parte sono già stati evidenziati nei capitoli precedenti. Si richiamano di seguito quelli ritenuti più significativi poiché costituiscono, unitamente ai progetti stessi, il vero valore aggiunto del lavoro svolto.

Innanzitutto, dal punto di vista dell'approccio allo sviluppo di soluzioni innovative, si sottolineano due contributi fondamentali.

Il primo riguarda il *driver* che deve sempre guidare l'azione di miglioramento in ambito Industria 4.0 che non è l'infatuazione rispetto alla novità, ma l'indicazione data dall'efficacia e dall'efficienza raggiungibili rispetto al costo dell'intervento. Nel mondo *consumer* accade, talvolta anche alle stesse persone che in azienda ricoprono ruoli decisionali, di acquistare un prodotto solo a fronte del contenuto di novità percepito, senza indagare eccessivamente sulle reali necessità e

rapportare il costo alle effettive migliorie che rende disponibili. Questa strada in azienda non è percorribile poiché la competitività risiede in larga parte proprio nell'utilizzo efficace ed efficiente delle risorse disponibili. Questo concetto è stato espresso più volte con forme diverse durante la tesi e costituisce non solo l'approccio iniziale con cui ci si è posti rispetto ai progetti, ma anche un'importante conferma emersa per tutta la durata del lavoro svolto.

Altro aspetto di primaria importanza riguarda la robustezza e la scalabilità delle soluzioni ipotizzate rispetto a tutte le altre caratteristiche. Anche a fronte di soluzioni che promettono elevata efficacia e che permettono di raggiungere una condizione di maggiore efficienza e di attaccare perdite generando benefici, il fatto che i nuovi sistemi garantiscano un funzionamento il più possibile affidabile e che non generino mai problemi funzionali e di gestione è prioritario. Inizialmente sarà difficile ottenere una robustezza del 100%, come del resto è difficile con i metodi tradizionali, ma un'attenzione proattiva deve prevedere, per colmare eventuali *gap*, elementi di *back up*, *bypass* e procedure predefinite d'intervento per garantire un corretto svolgimento delle operazioni; diversamente implementare soluzioni innovative per poi essere costretti a gestirle in gran parte con processi di natura straordinaria non sarebbe di sicuro conveniente. Rispetto alla tanta strada da fare, poi, dare priorità a soluzioni scalabili che possano generare benefici in più realtà risulta un concetto fondamentale.

A livello aziendale si pone invece l'accento su due tematiche.

La prima riguarda l'importanza del *commitment* del *management*, non a caso uno dei punti cardine del WCM, come leva fondamentale per guidare il cambiamento. Risulta fondamentale che il *management* proponga una chiara visione del futuro e sviluppi una gestione *top down* in cui la *leadership* indichi costantemente la strada da seguire, con un occhio agli obiettivi, alle priorità e alle risorse disponibili, ma anche un'attenzione alle istanze che giungono dalla base, e con la capacità di evolvere le proprie posizioni con flessibilità e

lungimiranza.

La seconda riguarda la potenziale barriera costituita dal *change management* che va affrontata con la corretta impostazione, per raccogliere la sfida lanciata dall'Industria 4.0, cogliendo tutte le opportunità ed evitando da una parte di digitalizzare le perdite ed i guasti e dall'altra di rimanere indietro rispetto ai *competitors*. Come detto lo sviluppo tecnologico è inarrestabile e l'effetto moltiplicatore delle nuove possibilità fornite dall'innovazione è sempre più forte e ne aumenta sempre di più la velocità, quindi gestire il conflitto che può venirsi a creare tra questa rapida evoluzione e la capacità di adattarsi dell'essere umano risulta prioritario per evitare che alcune opportunità vadano sprecate. Questo conflitto si esprime spesso in una dinamica di resistenza al cambiamento, soprattutto di risorse dotate di grande esperienza, che assumono posizioni ideologiche di difesa dello *status quo*. Occorre non solo accettare di inserire nuovi modi di fare le cose, ma anche di stravolgere il processo per prevedere nuove modalità e nuovi approcci alla produzione e raggiungere nuove opportunità di *business*. Un utile strumento a questo scopo è l'inserimento di risorse giovani, portatrici di nuovi saperi, meno legate culturalmente al passato e più abituate a dialogare con le nuove tecnologie, ma anche di risorse specialistiche in grado di portare nuove competenze professionali, per ampliare il bagaglio tecnico disponibile e permettere di vedere le cose con occhi nuovi, creando il giusto *mix* di esperienza e innovazione.

Riguardo ai progetti sviluppati si sottolineano invece due concetti.

Il primo è legato alla necessità di avere a disposizione nuove competenze e figure professionali come appena illustrato. Per tutte le attività occorre valutare quali siano le competenze strategicamente significative da sviluppare in azienda e quali siano quelle sulle quali conviene ricorrere a *partner* specialistici esterni in grado di dare un apporto determinante in termini di *know how* ed esperienza. In quest'ottica si riporta la rilevanza, più volte sottolineata nei capitoli sui progetti, di collaborare con integratori di sistema che supportino lo sviluppo delle

soluzioni permettendo di ottenere risultati migliori e in maniera più rapida. Il secondo concetto è legato alla natura delle soluzioni individuate che non per forza richiedono investimenti elevati o lo sviluppo di sistemi complessi. A questo riguardo progetti come quello costruito a JNAP mostrano come sia possibile con costi relativamente ridotti e architetture semplici da implementare e gestire, attaccare perdite di alcuni ordini di grandezza maggiori.

La frontiera del costo ideale che costituisce il campo di lavoro nello sviluppo di soluzioni di Industria 4.0, in questo, come nella possibilità mostrata di generare una lunga serie di progetti secondari a partire da una singola soluzione implementata, restituisce un orizzonte ampio nel quale costruire il futuro.

Infine sono fondamentali i *feedback* ricevuti dall'azienda, che restituiscono una valutazione sul lavoro svolto e sulla effettiva appetibilità delle soluzioni immaginate.

In questo senso sono molto positivi traguardi come l'inserimento del progetto sviluppato a JNAP nelle *best practices* di stabilimento e la valutazione in corso di un inserimento dello stesso tra gli *standard* aziendali, l'applicazione della soluzione studiata a SSP e la sua espansione con un'attenzione a future implementazioni in materia di *front loading*, ma anche il giudizio sulle valutazioni svolte a Mirafiori Presse che hanno evidenziate molte aree su cui lavorare.

Acronimi

AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
AoA	<i>Angle of Arrival</i>
BIW	<i>Body In White</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CD	<i>Cost Deployment</i>
CIM	<i>Cartellino Identificativo del Materiale</i>
CPS	<i>Cyber Physical System</i>
DDT	<i>Documento Di Trasporto</i>
EMEA	<i>Europe Middle East Africa</i>
FCA	<i>Fiat Chrysler Automobiles</i>
FI	<i>Focus Improvement</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
GDPR	<i>General Data Protection Regulation</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HF	<i>High Frequencies</i>
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
ICE	<i>Impact Cost Easyness</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IRD	<i>Inefficient Route Design</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
JNAP	<i>Jefferson North Assembly Plant</i>

KAI *Key Activity Indicator*

KET *Key Enabling Technologies*

KPI *Key Performance Indicator*

LCD *Logistic Cost Deployment*

LF *Low Frequencies*

MaaS *Manufacturing as a Service*

MEP *Mach Engine Plant*

MES *Manufacturing Execution System*

MISE *Ministero dello Sviluppo Economico*

MRP *Material Requirements Planning*

NAFTA *North American Free Trade Agreement*

NVAA *Non Value Added Activity*

PaaS *Platform as a Service*

PD *People Development*

PDCA *Plan Do Check Act*

QC *Quality Control*

RFID *Radio Frequency IDentification*

RSSI *Received Signal Strenght Indication*

RTLS *Real Time Location System*

SaaS *Software as a Service*

SGPP *Sistema di Gestione Produzione Presse*

SHAP *Sterling Heights Assembly Plant*

SLA *Stereo Lithography Apparatus*

SLM *Selective Laser Melting*

SLS	Sinterizzazione Laser Selettiva
SSP	<i>Sterling Stamping Plant</i>
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
SVAA	<i>Semi Value Added Activity</i>
TCF	<i>Trim Chassis Final</i>
TCT	Tempo Ciclo Totale
TDoA	<i>Time Difference of Arrival</i>
TIE	<i>Total Industrial Engineering</i>
ToA	<i>Time of Arrival</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TT	<i>Takt Time</i>
UHF	<i>Ultra High Frequencies</i>
URA	<i>Umbalanced Route Assignment</i>
UTE	Unità Tecnologica Elementare
UWB	<i>Ultra Wide Band</i>
VAA	<i>Value Added Activity</i>
WCM	<i>World Class Manufacturing</i>
WO	<i>Workplace Organization</i>
WTAP	<i>Warren Truck Assembly Plant</i>

Bibliografia (Harvard Style Reference)

Testi

Ketter, S. and Massone, L. , (2007). *World Class Manufacturing, Metodi e strumenti per il Fiat Auto Production System*, Fiat Group Automobiles

Ketter, S. and Massone, L., (2007). *World Class Manufacturing towards excellence in safety quality productivity delivery: Technical Pillars' Guide*, Fiat Group Automobiles

Ketter, S. and Massone, L., (2007). *World Class Manufacturing towards excellence in safety quality productivity delivery: Management Criteria's Guide*, Fiat Group Automobiles

Ketter, S. and Massone, L., (2007). *World Class Manufacturing towards excellence in safety quality productivity delivery: Benchmark*, Fiat Group Automobiles

Evans, P. C. and Annunziata, M. , (2012). *Industrial Internet: pushing the boundaries of minds and machines*, General Electric

Kagermann, H., Wahlster, W. and Dr. Helbig, J. , (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, Forschungsunion and Acatech

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. and Harnisch, M. , (2015). *Industry 4.0: the Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, The Boston Consulting Group

Baur, C. and Wee, D. , (2015). *Manufacturing's next act*, McKinsey & Company

Labaye, E. , (2014). *Perspectives on manufacturing, disruptive technologies and Industry 4.0*, McKinsey & Company

Roland Berger strategy Consultants, (2014). *Industry 4.0 as a major opportunity*, Roland Berger Strategy Consultants

Weghofer, F. (2016). *Smart Factory*, MAGNA STEYR

automotiveIT International, (2014). *Automotive 4.0 – The Digital Revolution Views from the Top*, automotiveIT International

Westerman, G., Bonnet, D. and McAfee, A., (2014). *Leading Digital*, Harvard Business Review Press

Wyman, O. , (2017). *The Harbour Report 2017*, The Harbour Report

Macii, E. , (2017). *Industry 4.0: challenges, opportunities and perspectives*, Politecnico di Torino

Flores, M., Golob, M., Maklin, D., Tucci, C. and Flores, K. , (2017). *Lean Product Development Best Practices: ten industrial success stories*, Lean Analytics Association

Cipriani, A., Gramolati, A. and Mari, G. , (2018). *Il lavoro 4.0: la quarta rivoluzione industriale e le trasformazioni delle attività lavorative*, Firenze University Press

Assolombarda, (2016). *Approfondimento sulle tecnologie abilitanti Industria 4.0*, Assolombarda, Confindustria Milano Monza e Brianza

Boschi, F. and De Carolis, A. and Taisch, M. , (2017). *Nel cuore dell'Industria 4.0: I Cyber-Physical Systems*, www.industriaitaliana.it

Rodič, B. , (2017). *Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm*, Ljubljanska: Organizacija

Vercellis, C. and Piva, A. , (2017). *Rapporto dell'Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence 2017*, Politecnico di Milano

Infosys, (2015). *Industry 4.0: the state of the nations*, Infosys

Kontakt.io, (2017). *Kontakt.io Official Website*. [online] Available at: <https://kontakt.io/> [Accessed Oct. 2017]

Estimote, (2017). *Estimote Official Website*. [online] Available at: <https://estimote.com/> [Accessed Oct.2017]

Beacon Line, [2017]. *Beacon Line Official Website*. [online] Available at: <http://www.beacon-line.com/> [Accessed Oct. 2017]

Immagini

1.1 Fonte FCA: WCM Development Center

- 2.1 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.2 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.3 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.4 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.5 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.6 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.7 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.8 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.9 Fonte FCA: WCM Development Center
- 2.10 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.1 Roser, C. , (2017). [online] Available at: <https://www.allaboutlean.com/> [Accessed Apr. 2017]
- 3.2 Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. and Harnisch, M. , (2015). *Industry 4.0: the Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, The Boston Consulting Group
- 3.3 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.4 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.5 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.6 Vercellis, C. and Piva, A. , (2017). Rapporto dell'Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence 2017, Politecnico di Milano
- 3.7 Vercellis, C. and Piva, A. , (2017). Rapporto dell'Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence 2017, Politecnico di Milano
- 3.8 Vercellis, C. and Piva, A. , (2017). Rapporto dell'Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence 2017, Politecnico di Milano
- 3.9 Westerman, G., Bonnet, D. and McAfee, A. (2014). *Leading Digital*, Harvard Business Review Press

- 3.10 Westerman, G., Bonnet, D. and McAfee, A. (2014). *Leading Digital*, Harvard Business Review Press
- 3.11 *Infosys, (2015). Industry 4.0: the state of the nations*, Infosys
- 3.12 *Infosys, (2015). Industry 4.0: the state of the nations*, Infosys
- 3.13 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.14 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.15 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.16 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.17 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.18 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.19 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.20 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.21 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.22 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.23 Fonte FCA: WCM Development Center
- 3.24 Fonte FCA: WCM Development Center
- 4.1 Fonte FCA: WCM Development Center
- 4.2 Elaborazione personale
- 4.3 Elaborazione personale
- 5.1 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.2 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.3 Gallo, P. , (2018). Sito Università di Palermo. [online] Available at: www.unipa.it [Accessed Nov. 2018]
- 5.4 Kontakt.io, (2017). *Kontakt.io Official Website*. [online] Available at: <https://kontakt.io/> [Accessed Oct. 2017]

- 5.5 Estimote, (2017). *Estimote Official Website*. [online] Available at: <https://estimote.com/> [Accessed Oct.2017]
- 5.6 Estimote, (2017). *Estimote Official Website*. [online] Available at: <https://estimote.com/> [Accessed Oct.2017]
- 5.7 Beacon Line, [2017]. *Beacon Line Official Website*. [online] Available at: <http://www.beacon-line.com/> [Accessed Oct. 2017]
- 5.8 Beacon Line, [2017]. *Beacon Line Official Website*. [online] Available at: <http://www.beacon-line.com/> [Accessed Oct. 2017]
- 5.9 Beacon Line, [2017]. *Beacon Line Official Website*. [online] Available at: <http://www.beacon-line.com/> [Accessed Oct. 2017]
- 5.10 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.11 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.12 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.13 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.14 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.15 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.16 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.17 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.18 Kontakt.io, (2017). *Kontakt.io Official Website*. [online] Available at: <https://kontakt.io/> [Accessed Oct. 2017]
- 5.19 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.20 Elaborazione personale
- 5.21 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.22 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.23 Elaborazione personale
- 5.24 Elaborazione personale
- 5.25 Elaborazione personale

- 5.26 Elaborazione personale
- 5.27 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 5.28 Fonte FCA: Jefferson North Assembly Plant
- 6.1 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.2 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.3 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.4 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.5 The IT Law Wiki, (2018). Wikia [online] Available at: http://itlaw.wikia.com/wiki/RFID_tag [Accessed Nov. 2018]
- 6.6 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.7 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.8 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.9 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.10 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.11 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.12 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.13 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.14 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.15 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.16 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 6.17 Fonte FCA: Sterling Stamping Plant
- 7.1 Fonte FCA: Mirafiori Presse (stabilimento)
- 7.2 Fonte FCA: Mirafiori Presse (stabilimento)
- 7.3 Fonte FCA: Mirafiori Presse (stabilimento)
- 7.4 Elaborazione personale

- 7.5 Fonte FCA: Mirafiori Presse (stabilimento)
- 7.6 Elaborazione personale
- 7.7 Fonte FCA: Mirafiori Presse (stabilimento)