

POLITECNICO DI TORINO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Quality 4.0 – Digitalizzazione del processo di controllo qualità in un'impresa manifatturiera



*Fabio Tenaglia*

Anno Accademico 2019/2020

POLITECNICO DI TORINO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

LAUREA MAGISTRALE  
in Ingegneria Meccanica

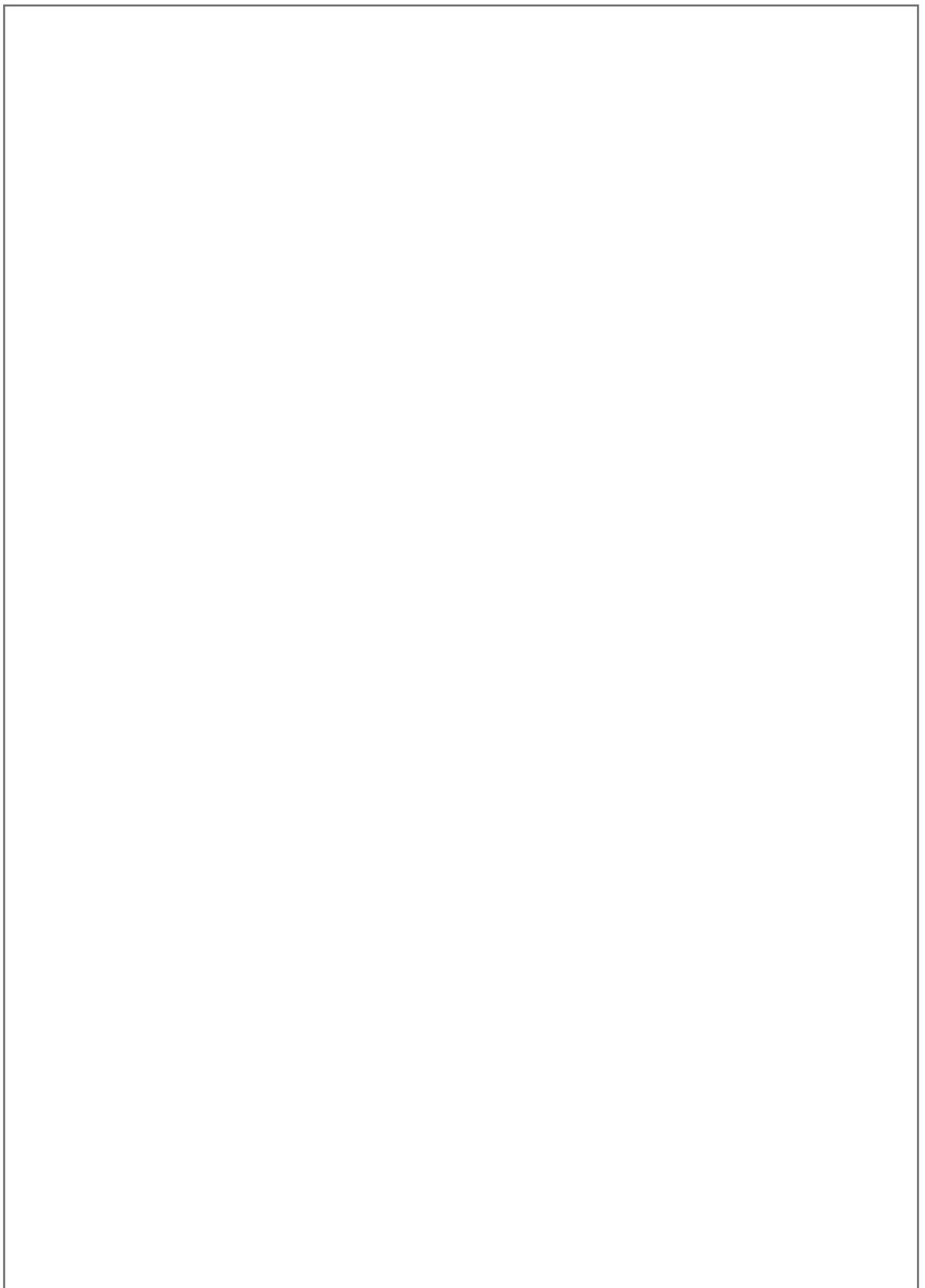
Quality 4.0 – Digitalizzazione del processo  
di controllo qualità in un'impresa  
manifatturiera



*Relatrice:*  
*Prof.ssa Eleonora Atzeni*

*Candidato:*  
*Fabio Tenaglia*

Anno Accademico 2019/2020



## Ringraziamenti

*Rieccomi qui, seduto alla mia scrivania, davanti al mio computer, come altre migliaia di volte... ma a questo giro è diverso, perché è per scrivere finalmente l'ultimo paragrafo di questo lavoro di tesi e l'ultimo capitolo del mio percorso universitario... sì, ancora non mi sembra vero, è arrivato il momento dei ringraziamenti!!*

*Il primo grazie è dedicato alla mia compagna, Martina. Ci conosciamo da una vita, ed in tutti questi anni è sempre stata al mio fianco per sorreggermi ed aiutarmi. È stata la motivazione più grande che potessi avere, ed è grazie a Lei, e soprattutto per Lei, se sono arrivato fino a questo punto, senza non sarei mai andato avanti.*

*Una dedica speciale è per i miei genitori, per i sacrifici che hanno fatto, e fanno, per me, che hanno sempre creduto nella mia persona, mi hanno spronato e guidato, anche quando chiunque altro ci avrebbe rinunciato. È per questo che voglio dirgli grazie, di cuore. Spero un giorno di poterli ripagare di tutti gli sforzi che hanno fatto.*

*Grazie a mio fratello Simone, che da quando siamo piccoli è sempre stato per me fonte di ispirazione e modello a cui ispirarmi, nella vita, nello sport e nello studio. Grazie alla sua fidanzata Denise, che assieme mi han regalato la mia bellissima nipotina Irene, un tornado di energia ed allegria. Grazie anche per il prossimo nipotino che è in arrivo!*

*Questo lavoro lo dedico anche a mia nonna Rosa, che purtroppo questa volta non sarà al mio fianco in questo ultimo traguardo, ma sono sicuro che sarebbe stata molto orgogliosa di me.*

*Grazie ai miei amici, che nonostante le strade piano piano si dividono, rimangono comunque un punto fisso nella mia vita. Grazie a tutti i compagni di università che ho incontrato lungo il mio percorso, in particolare il mio compagno Davide Marino, amico prima che collega, col quale ho affrontato "mille battaglie", ed i ricordi che rimarranno indelebili sono le giornate passate in aula studio e le nottate passate a preparare gli esami!*

*Per ultima, ma non per importanza, ringrazio la Professoressa Atzeni per la sua professionalità e la disponibilità nei miei confronti, sia per quanto riguarda il tirocinio curricolare sia per il lavoro di tesi.*

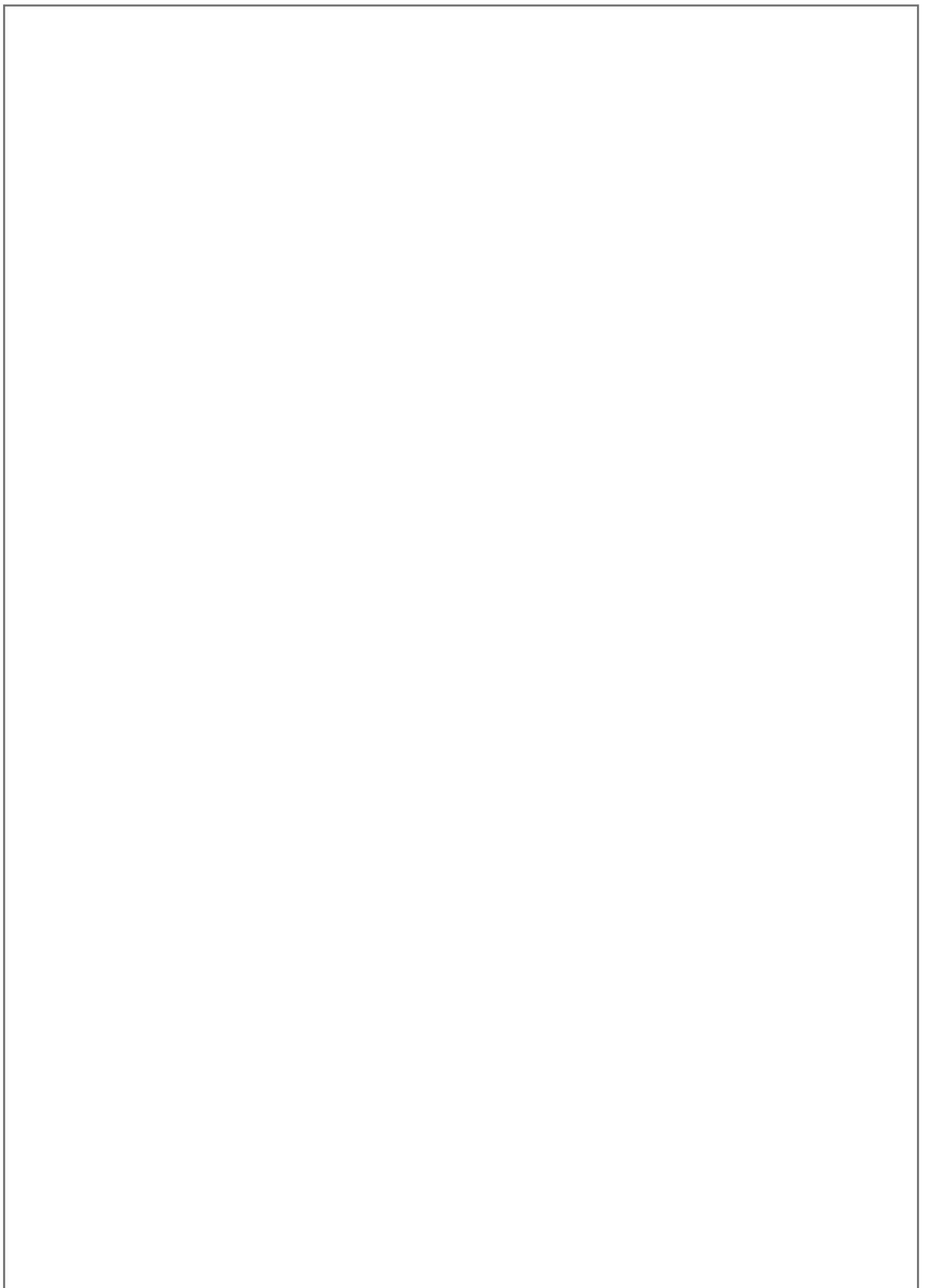
*Alla fine dei conti (da buon ingegnere!), voltandomi indietro e guardando tutta la strada che ho fatto, gli ostacoli superati e le difficoltà incontrate, posso dire CE L'HO FATTA!*

# Abstract

Il presente lavoro di tesi vuole avere lo scopo di mostrare cosa sia la quarta rivoluzione industriale, cosa si intenda per trasformazione digitale di un'impresa manifatturiera e presentarne un'applicazione reale. Nel primo capitolo della presente elaborato verrà trattata una parte più teorica e storiografica, in particolare si definirà che cosa si intenda per rivoluzione industriale, quali siano state nella storia dell'uomo le rivoluzioni ed i momenti che han cambiato il concetto di società, fino ad arrivare ai giorni nostri. In seguito, verrà descritto più nel dettaglio cosa si intenda per industria 4.0 e quali siano le linee guida generali per definire quali caratteristiche di un'azienda sono in grado di attribuire ad essa l'etichetta di *digital factory*. Nel secondo paragrafo del primo capitolo verranno pertanto descritte queste caratteristiche, che risiedono nell'utilizzo di specifiche tecnologie, chiamate abilitanti, quali per esempio l'internet of things (IoT), i sistemi di realtà aumentata, l'additive e l'advanced manufacturing e un cloud per l'immagazzinamento dei Big Data. Per ognuna di queste verrà fornita una panoramica, presentando le principali caratteristiche.

La seconda parte della tesi invece avrà taglio più pratico, in quanto verrà mostrata e descritta un'esperienza condotta all'interno di un'azienda nella quale è stato avviato un processo di digitalizzazione per far fronte alle richieste sempre più stringenti da parte di importanti clienti riguardanti il livello di qualità dei prodotti offerti, chiedendo necessariamente che una raccolta dati in formato digitale venga realizzata. Si parlerà di *digital quality*, e verranno presentate le manovre ed i processi che sono stati implementati nel plant, si mostrerà da dove si è partiti, dove si è arrivati fino a questo momento e quali siano gli obiettivi ancora da raggiungere. Nella prima parte dell'anno 2020, infatti, è stato condotto un lavoro di tirocinio curricolare presso la TE Connectivity S.r.l., nella sede di Collegno (TO), con inserimento nella squadra incaricata di occuparsi del progetto "Digital Factory", il cui compito è stato quello di apportare delle modifiche alla metodologia classica di controllo qualità della produzione e di trasformarlo in un processo digitale, tramite

il quale sia possibile realizzare una raccolta dati che siano utilizzabili per effettuare un'analisi dettagliata che permetta di tenere sotto controllo l'andamento del processo produttivo. Verranno mostrati quali sono stati i software utilizzati, quale è la road map da seguire ed i piani d'azione prefissati e come è stata organizzata l'architettura costitutiva del sistema fisico e virtuale. Nella parte finale del testo verranno invece mostrate le conclusioni e le considerazioni a cui si è giunti al termine della prima parte di trasformazione digitale dell'impresa in cui è stato condotto lo stage curricolare e quali sono i futuri obiettivi su cui ci si vuole concentrare e quali le possibili implementazioni per il plant.



# Indice

Introduzione .....	1
Capitolo 1 .....	3
INDUSTRIA 4.0 .....	3
1.1 - Le rivoluzioni industriali .....	3
1.2 - Le tecnologie dell'Industria 4.0 .....	8
1.2.1 - Advanced Manufacturing Solution .....	10
1.2.2 - Additive Manufacturing .....	12
1.2.3 – Realtà virtuale e aumentata .....	16
1.2.4 – Integrazione verticale ed orizzontale .....	20
1.2.5 – Internet of Things .....	28
1.2.6 – Big data, Cloud e Cyber security .....	32
Capitolo 2 .....	37
Digital Quality .....	37
2.1 – Descrizione azienda .....	37
2.2 - Digital transformation – Digital Quality .....	44
2.3 - SPC – Statistical Process Control .....	46
2.3.1 - Carte X medio – R .....	52
2.3.2 - Carte X medio – S .....	55
2.3.3 - Carte per l'Individual and Moving Range Chart .....	57
2.3.4 - Indici di capacità del processo .....	59
2.4 - MES – Manufactory Execution System .....	62
2.5 - QIP – Quality Inspection Plan .....	66
2.6- dQIP – digital Quality Inspection Plan .....	69
2.7 - Capability levels .....	82
2.8 – Andon e Agnostic Andon .....	86
2.9 - Legge di Pareto – Analisi QCPC .....	100
2.10 – FRB – AP .....	107
Capitolo 3 .....	114
Conclusioni .....	114
3.1 – Risultati ottenuti e stimati .....	114
3.2 – Considerazioni finali .....	120
Indice delle figure .....	123

Bibliografia e Sitografia.....	127
--------------------------------	-----

# Introduzione

*“Non è la specie più forte o la più intelligente a sopravvivere, ma quella che si adatta meglio al cambiamento.”*

- Leon C. Megginson -

Questa citazione, riportata all'ingresso della California Academy of Sciences, è da attribuire al professore universitario statunitense Leon C. Megginson, che la scrisse nel suo libro *Lessons from Europe for American Business*, per descrivere il pensiero di Charles Darwin sull'evoluzione della specie. Tale concetto è ben applicabile alla condizione delle imprese manifatturiere, e non, ai giorni nostri, poiché per poter sopravvivere e rimanere competitivi è necessario adattarsi al cambiamento, che in questo momento è rappresentato dalla quarta rivoluzione industriale e dal diffondersi delle tecniche e degli strumenti digitali. È inoltre fondamentale mutare e cambiare le proprie convinzioni, le abitudini ed i processi che fino ad ora hanno potuto funzionare efficacemente, ma che non è detto che continueranno ad esserlo nel futuro prossimo. Questo è il caso, per esempio, della multinazionale TE Connectivity S.r.l., colosso mondiale per la produzione di connettori elettrici, che si è trovata nella condizione di dover apportare delle modifiche al proprio processo produttivo per poter far fronte alle richieste sempre più stringenti in termini di controllo qualità da parte di grossi ed importanti clienti. Una mancata risposta a tali esigenze potrebbe comportare una perdita dei clienti stessi, con la conseguente riduzione di una grossa parte del fatturato aziendale, rischiando così il fallimento del plant. Pertanto, il processo di digitalizzazione è stato avviato a febbraio 2020 tramite un progetto pilota nella sede di Collegno (TO) per modificare il processo di controllo qualità, il quale, una volta messo in piedi testatene l'efficacia, sarà implementato grazie ad importanti ed ingenti investimenti da parte degli azionisti, su tutte le sedi sparse nel mondo. Questo rende molto bene l'idea dell'importanza che questo tema ricopre nel panorama industriale: colossi mondiali sono disposti ad investire ingenti quantità di denaro per rimanere al passo coi tempi. Un altro aspetto che aiuta a comprendere la dimensione del cambiamento in corso è dato dalla messa in atto del Piano Nazionale Industria 4.0 del ministero dello sviluppo italiano,

lanciato nel 2017 per promuovere attivamente ed incentivare concretamente il passaggio da industria tradizionale a digital factory tramite forti incentivi fiscali, investimenti sostanziosi di capitali pubblici e privati, per aiutare le grandi e le piccole-medie imprese italiane ad adattarsi al cambiamento. Il processo di digitalizzazione è un cambiamento inevitabile che investe quotidianamente ogni aspetto della nostra vita, per esempio possiamo pensare alle abitazioni private e al concetto di domotica o al concetto di smart city per la connettività delle autovetture per la gestione del traffico cittadino e del trasporto pubblico.

# Capitolo 1

## INDUSTRIA 4.0

### 1.1 - Le rivoluzioni industriali

Il termine “rivoluzione” identifica la trasformazione delle strutture produttive e sociali determinata dall’affermazione di nuove tecnologie. La storia dell’uomo ha visto numerose rivoluzioni durante la propria esistenza, uno dei primi e più significativi cambiamenti, per esempio, è stata la transizione dalla caccia all’agricoltura, che si è verificato circa 10.000 anni fa grazie all’addomesticamento degli animali. In seguito, la rivoluzione agricola ha combinato la forza degli uomini e degli animali per attività quali la produzione, il trasporto e la comunicazione. Lentamente, questi cambiamenti hanno portato alla crescita della popolazione e alla nascita di massicci insediamenti umani e, in un secondo tempo, all’urbanizzazione e la nascita delle città (Klaus, 2016)<sup>1</sup>.

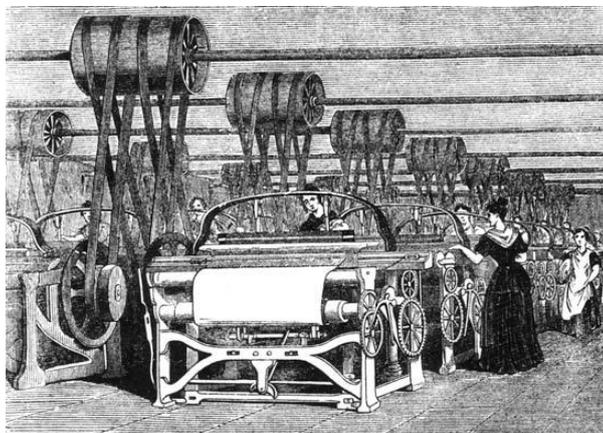


Figura 1.1. 1 - Telaio a vapore – [www.storiadellatecnologia.com](http://www.storiadellatecnologia.com)

A partire dagli ultimi decenni del XVIII secolo e gli inizi del XIX, lo sviluppo e la ricerca tecnologica in Inghilterra permisero il passaggio dall’utilizzo della forza fisica a quella meccanica e, grazie all’impiego del vapore, venne creata e perfezionata (tra il 1765 ed il 1781) la macchina a vapore ad opera di James Watt,

---

<sup>1</sup> (La quarta rivoluzione industriale Di Klaus Schwab)

dando vita alla prima rivoluzione industriale. In ambito industriale questa trovò principale applicazione nel campo tessile grazie alla nascita del telaio meccanico idraulico. Ma anche altri aspetti della vita quotidiana furono influenzati, per esempio nel campo dei trasporti grazie all'invenzione delle locomotive e dei vaporetti, nel 1819 si ebbe la prima traversata dell'oceano Atlantico di una nave a vapore e nel 1825 venne inaugurata in Inghilterra la prima linea ferroviaria (Treccani, s.d.)<sup>2</sup>.



*Figura 1.1. 2 - Catena di montaggio Ford – [www.treccani.it](http://www.treccani.it)*

Gli storici fanno riferimento alla seconda rivoluzione industriale con il periodo che inizia dagli ultimi decenni del XIX secolo e l'inizio della Prima guerra mondiale, in questi anni nuove fonti di energia vennero scoperte per sostituire l'impiego del vapore, ovvero l'energia elettrica ed il petrolio. La prima comportò l'impiego delle macchine elettriche nelle fabbriche che diedero vita alle prime catene di montaggio e alla produzione in serie, la seconda comportò per esempio la nascita dei primi motori a combustione rivoluzionando il sistema di trasporto. Le catene di montaggio permisero la nascita della produzione in serie massiva di prodotti, non più limitato al cibo ed al vestiario, ma anche di beni durevoli quali biciclette,

---

<sup>2</sup>[https://www.treccani.it/export/sites/default/scuola/lezioni/storia/SECONDA\\_RIVOLUZIONE\\_INDUSTRIALE\\_lezione.pdf](https://www.treccani.it/export/sites/default/scuola/lezioni/storia/SECONDA_RIVOLUZIONE_INDUSTRIALE_lezione.pdf)

automobili, macchine per scrivere, elettrodomestici, ecc. Si creò così l'innovativo circuito della produzione, mercato e consumo di massa che avviene in stretta relazione con la crescita dei ceti medi, con l'aumento dei salari e degli stipendi, consentendo così a quella fetta della popolazione che prima era esclusa dall'acquisto dei beni di consumo alimentando così le dimensioni del mercato interno favorendo il fenomeno crescente dell'urbanesimo.



*Figura 1.1. 3 - Robot industriali – [www.automazione.it](http://www.automazione.it) (integrata, 2017)*

La terza rivoluzione industriale storicamente viene fatta iniziare dagli inizi degli anni '60 dello scorso secolo fino agli anni 2000, periodo in cui iniziarono a svilupparsi e diffondersi i Personal Computer e la robotica. Queste due tecnologie furono la base di un ulteriore sviluppo manifatturiero in quanto l'automazione che queste portarono nel panorama produttivo fu davvero impattante. Vennero infatti create le prime linee produttive automatizzate in grado di sostituire parzialmente l'uomo per alcune mansioni, vennero create le prime macchine a controllo numerico che potevano essere controllate direttamente da computer, vennero sviluppati i primi software CAD per la progettazione e l'ingegnerizzazione del prodotto.



Figura 1.1. 4 - schema industria 4.0 – [www.convertinmagazine.it/it](http://www.convertinmagazine.it/it)

Con il termine Industria 4.0 si fa riferimento al periodo storico compreso dall'inizio degli anni 2000 e che arriva fino ai giorni nostri, tempo nel quale alcuni tipi di tecnologie, nate soprattutto durante la terza rivoluzione industriale, hanno raggiunto un tale livello di maturità che hanno portato ad una nuova rivoluzione, ovvero la quarta. Questa è caratterizzata, a differenza delle precedenti, non tanto appunto dall'utilizzo di nuove tecnologie o nuovi materiali, ma è il connubio e il mix di tecnologie già esistenti che creano un nuovo paradigma produttivo. L'espressione "Industria 4.0" viene coniata per la prima volta alla Fiera di Hannover nel 2011 in Germania. Dalle raccomandazioni stilate qualche mese più tardi da un gruppo di lavoro dedicato all'Industria 4.0, presieduto da Siegfried Dais della multinazionale di ingegneria ed elettronica Robert Bosch GmbH e da Henning Kagermann della Acatech (Accademia tedesca delle Scienze e dell'Ingegneria), nasce un report finale che sarà poi diffuso nel 2013, sempre all'annuale Fiera di Hannover (Borsa Italiana, 2020)<sup>3</sup>. La persona che ha etichettato i progressi odierni come nuova rivoluzione è Klaus Schwab, fondatore e direttore esecutivo del World Economic Forum e autore di un libro intitolato *La quarta rivoluzione industriale*. In un articolo del 2016, Schwab ha scritto che "come le rivoluzioni che l'hanno preceduta, la quarta rivoluzione industriale ha il potenziale di innalzare i livelli globali di reddito e migliorare la qualità della vita per i popoli di tutto il mondo".

<sup>3</sup> <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/rivoluzione-252.htm>

Le possibilità di miglioramento offerte dalle innovazioni tecnologiche per le imprese si ripercuoteranno su diversi aspetti:

- Aumento della produttività: in un'impresa 4.0 la costante supervisione del funzionamento dei macchinari comporterà una miglior tempestività di intervento in caso di guasto.
- Miglior comunicazione: grazie ad un aumento della velocità del flusso di informazioni dovuto all'impiego di Internet con un conseguente miglior utilizzo delle risorse.
- Aumento dell'efficienza: miglioramento dovuto all'impiego di software dedicati per l'assistenza alla pianificazione della produzione.
- Qualità: il monitoraggio costante della condizione di salute della produzione si ripercuoterà su un miglior controllo della stessa e la miglior qualità dei prodotti realizzati comporterà una riduzione degli scarti e degli sprechi.

Unitamente a previsioni molto ottimistiche del futuro in termini economici, è possibile che parallelamente diventi sempre più marcata ed accentuata la possibilità di disuguaglianza sociale, in particolar modo in ambito lavorativo in cui si potrebbe rafforzare la differenza fra i ruoli a bassa competenza, con relativo minor stipendio, e alta competenza, ed alto stipendio, aumentando così le tensioni sociali. Sempre secondo Schwab le possibilità che abbiamo davanti ed i cambiamenti possibili hanno un duplice aspetto quindi, da un lato un potenziale enorme di miglioramento e dall'altro un pericoloso aumento delle disparità sociali (Schwab, 2016)<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Klaus Schwab è un ingegnere ed economista tedesco, professore di economia politica all'Università di Ginevra, è il fondatore ed attuale direttore esecutivo del World Economic Forum, detto anche "Forum di Davos".

## 1.2 - Le tecnologie dell'Industria 4.0

Con Digital factory si fa riferimento ad un'impresa che adotta delle particolari tecnologie nel suo processo produttivo in maniera tale da rendere la propria attività del tutto automatizzata ed interconnessa grazie all'impiego di internet. Un'azienda digitalizzata utilizza tecnologie come l'Internet of Things, l'intelligenza artificiale e l'analisi delle informazioni con i Big Data. La necessità della Digital Factory è quella di convertire le macchine normali in macchine consapevoli di sé e ad autoapprendimento per migliorare le proprie prestazioni complessive e la gestione della manutenzione tramite l'interconnessione.



Figura 1.2. 1 – rivoluzioni industriali - [www.mise.gov.it](http://www.mise.gov.it)

Un'impresa per poter essere considerata Digital deve aver implementato nel suo sistema produttivo una serie di tecnologie, chiamate tecnologie abilitanti, come vengono anche indicate nel documento rilasciato dal Ministero dello sviluppo italiano nel 2016 riguardante l'industria 4.0 (Ministero dello sviluppo economico Italiano, 2016)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> [https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Piano\\_Industria\\_40.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Piano_Industria_40.pdf)

Queste tecnologie sono nove:

- Advanced Manufacturing Solution. Cioè l'utilizzo di robot collaborativi.
- Additive Manufacturing. Cioè l'utilizzo di stampanti 3D.
- Augmented Reality. L'utilizzo di sistemi di visione per la realtà aumentata.
- Simulation. L'utilizzo della realtà virtuale per la simulazione ed il testing.
- Horizontal and Vertical Integration. L'integrazione delle informazioni all'interno dell'azienda (verticale) e fra le filiere che concorrono alla creazione del valore, quindi dai fornitori ai consumatori (orizzontale).
- Internet of things - Industrial internet. L'utilizzo di internet per permettere la comunicazione multidirezionale fra processi produttivi e prodotti.
- Cloud. L'utilizzo di sistemi cloud per l'immagazzinamento di grandi moli di dati.
- Cyber security. Utilizzando internet e immettendo in rete un grande quantità di dati sensibili dell'azienda è necessario curare molto attentamente l'aspetto della sicurezza informatica.
- Big Data and Analytics. Analizzare i dati raccolti dalle macchine in maniera corretta in modo da poter estrapolare informazioni importanti per il processo produttivo.

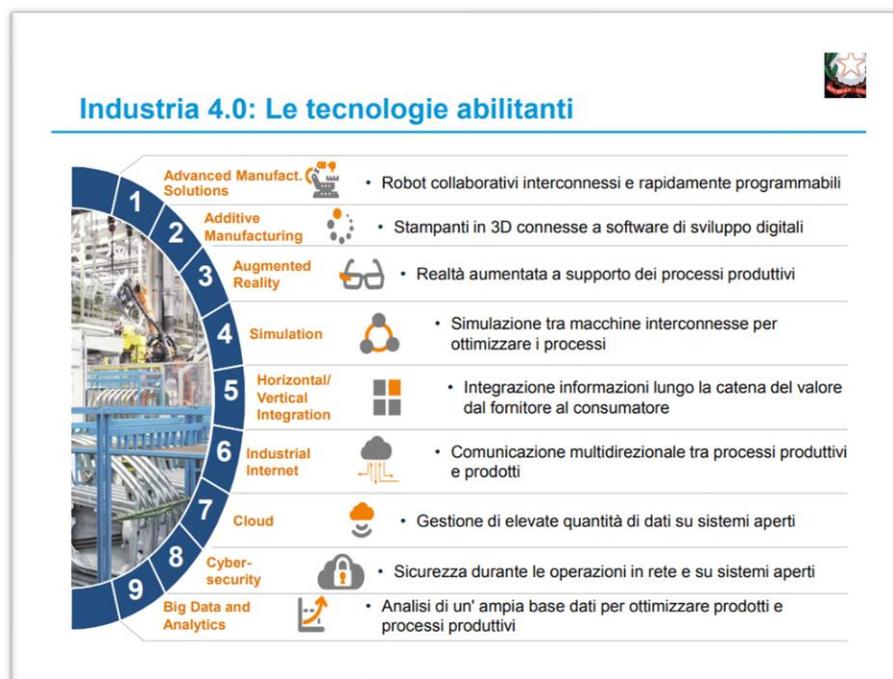


Figura 1.2. 2 – Tecnologie abilitanti - [www.mise.gov.it](http://www.mise.gov.it)

### 1.2.1 - Advanced Manufacturing Solution

I robot industriali sono stati introdotti nelle industrie manifatturiere già a partire dalla seconda metà dello scorso secolo, non sono pertanto una nuova scoperta. Essi sono stati impiegati lungo le catene di montaggio come elementi a sé stanti, rilegati in specifiche aree delimitate, in modo tale da non poter interagire durante l'attività con l'uomo per garantirne la sicurezza.



*Figura 1.2. 3 – Robot industriali – [www.Eurobots.it](http://www.Eurobots.it) (Giroldo, 2016)*

Il progresso tecnologico nel campo della robotica ha portato alla nascita di robot detti collaborativi, ovvero robot che sono stati creati per poter lavorare a fianco dell'operatore in tutta sicurezza. Non sono più robot che compiono un determinato compito sostituendo effettivamente l'uomo, ma sono al suo servizio aiutandolo alleggerendogli i compiti più gravosi. Questi robot, detti anche cobot, lavorano al fianco dell'operatore in condivisione di spazio e di tempo in tutta sicurezza, essendo dotati di sensori che ne impediscono l'urto o che, in caso di accidentale contatto, si bloccano. Essi possono essere utilizzati per esempio in fase di assemblaggio, in cui il cobot si occupa dell'avvitatura mentre l'operatore si può occupare di altre fasi di lavorazione, oppure in fase di asservimento di machine utensili, dove il cobot può caricare in maniera automatizzata il pezzo grezzo da lavorare e scaricare il prodotto finito in maniera ordinata nella zona di confezionamento. Un'altra importante applicazione dei robot di nuova generazione è nel campo chirurgico, un esempio è il robot Da Vinci.



*Figura 1.2. 4 – Robot medico Da vinci – [www.lastampa.it](http://www.lastampa.it) (Di Todaro, 2018)*

Il chirurgo, fisicamente lontano dal campo operatorio e seduto a una postazione dotata di monitor e comandi, muove i bracci del robot, collegati agli strumenti endoscopici, che vengono introdotti attraverso piccole incisioni. Il campo operatorio è proiettato tridimensionalmente, con immagini ferme e ad altissima risoluzione. Il robot conferisce al gesto chirurgico una precisione non confrontabile con altre tecniche e permette di superare i limiti legati alla difficoltà di trattare, con la laparoscopia, malattie in sedi anatomiche difficili da raggiungere. Inoltre, la possibilità di una doppia postazione consente di poter effettuare un'eccellente formazione professionale (Di Todaro, 2018)<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Considerazioni di Walter Artibani, direttore dell'unità operativa urologica dell'azienda ospedaliero-universitaria di Verona e segretario generale della Società Italiana di Urologia. – Intervista a La Stampa, "Italia leader in Europa nell'utilizzo della chirurgia robotica, installato il centesimo robot Da Vinci."

## 1.2.2 - Additive Manufacturing

Con il termine manifattura additiva si intende un processo di lavorazione di un prodotto che non avviene attraverso l'asportazione di materiale da un pezzo grezzo ma attraverso l'aggiunta di materiale, strato dopo strato, fino alla realizzazione della forma desiderata. Le più comuni tecniche di fabbricazione tradizionale sono per esempio quelle che utilizzano macchine ad asportazione di truciolo, quali per esempio la tornitura o la fresatura. Si parte da un blocco di materiale grezzo e, attraverso l'asportazione di materiale, gli si conferisce la forma progettata. Con l'additive manufacturing invece si utilizzano le stampanti 3D che, tramite differenti meccanismi di funzionamento in funzione del materiale utilizzato, partendo dal progetto modellato tramite software CAD tridimensionale, scompongono il modello in strati, chiamati layer, ed uno ad uno depositano materiale come una comune stampante rilascia l'inchiostro sul foglio di carta.

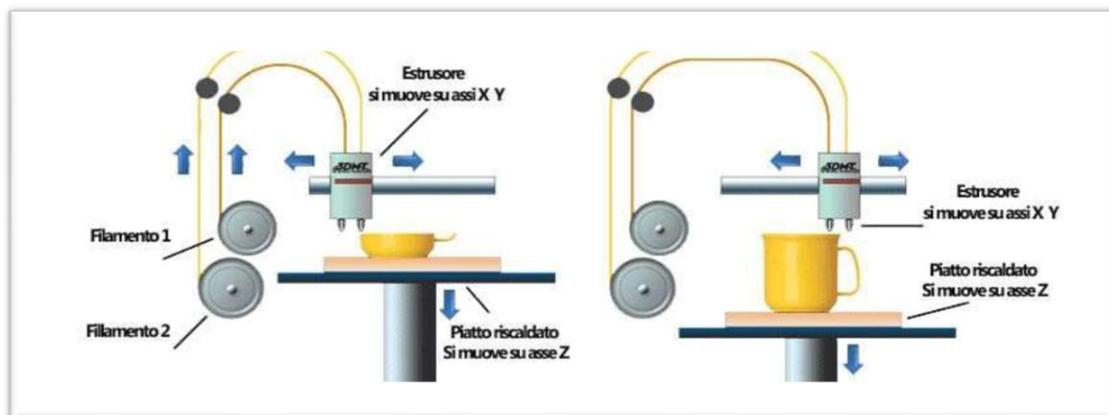


Figura 1.2. 5 – schema stampante 3D - [www.3dprint-av.com](http://www.3dprint-av.com)

Questa tecnologia di produzione non è assolutamente una nuova scoperta, infatti il primo brevetto per il lancio sul mercato della prima stampante SLA (stereolitografia) fu di Chuck Hull, attuale presidente della 3D System (azienda leader di mercato nella produzione di stampanti in ambito industriale) negli anni '80. L'additive manufacturing si è affermata nel panorama industriale nel giro di una decina di anni con il consolidarsi delle tecniche nel campo polimerico.

L'impiego di materiali metallici invece si è iniziato a diffondere a partire dagli anni 2000 ed ora è utilizzato per la realizzazione di componenti finali ad alte prestazioni. Negli ultimi anni le stampanti 3D hanno ottenuto una discreta diffusione, dovuta principalmente alla riduzione del loro costo rendendole ormai disponibili per tutti, anche per i privati che possono acquistarne tranquillamente alcuni modelli al di sotto dei mille euro. Uno dei più grossi vantaggi della stampa 3D è quello di permettere la progettazione di oggetti svincolandosi da alcuni vincoli imposti dalla fabbricazione tradizionale ad asportazione di truciolo, uno dei quali è per esempio la presenza di angoli troppo acuti o sottosquadri, la possibilità di realizzare oggetti che per la loro complessità necessiterebbero di essere prodotti in pezzi separati ed in seguito assemblati, realizzare in un'unica battuta oggetti contenenti elementi mobili. Un altro grosso vantaggio è dovuto al fatto che non prevedendo appunto lavorazioni per asportazioni di materiale, si eliminano gli scarti di lavorazione in quanto non si genera sfrido se non quello dovuto ad una eventuale post lavorazione delle superfici. Essendo infatti il processo di aggiunta di materiale layer by layer, realizzare una superficie curva non è possibile, questa risulterà realizzata come una serie di gradini che quindi andranno smussati tramite una lavorazione aggiuntiva per la finitura della stessa rendendola liscia.



*Figura 1.2. 6 – Esempio di oggetto stampato 3D in cui si vedono gli strati stampati (dx), e modello che si vorrebbe ottenere (sx) – [www.anterem.it](http://www.anterem.it)*

Inizialmente l'applicazione delle stampanti 3D ha trovato luogo principalmente in sede di prototipizzazione in quanto i costi elevati non ne permettevano un impiego

in vasta scala. Ora invece sono quotidianamente impiegate nel processo produttivo effettivo. Esistono diverse tecnologie per effettuare un prodotto in stampa 3D, alcune delle quali sono:

- FDM – Fused Deposition Modeling: è il metodo più utilizzato per le stampanti 3D ad impiego privato, un ugello deposita su di una struttura di supporto un filamento fuso di resina termoplastica che strato dopo strato solidifica fino al raggiungimento del profilo voluto.
- BJ – Binder Jetting: è la tecnologia di stampa a getto d'inchiostro. Il rullo della stampante deposita uno strato di polvere composta da gesso o resina, successivamente viene applicato un legante (binder) nei punti che appartengono al pezzo da produrre solidificando così lo strato. Il procedimento è assimilabile a quello di una comune stampante in cui il foglio è rappresentato dalla polvere e l'inchiostro dal legante. Successivamente il piano di costruzione del pezzo viene abbassato ed un secondo strato di polvere viene distribuito. Alla fine del processo la polvere che non è stata solidificata viene rimossa e rimane il pezzo completo. Un successivo trattamento d'infiltrazione permette di ridurre la porosità del prodotto e conferire proprietà meccaniche ed elastiche.
- SL – Stereolitografia: la creazione della parte solida avviene attraverso l'indurimento di una resina fotopolimerica, che si trova allo stato liquido, in seguito all'esposizione a raggio ultravioletti. La piattaforma di costruzione si trova immersa nella resina liquida, una volta indurito il primo strato, questa si abbassa in modo che nuovo materiale sia disponibile per la lavorazione.
- DLP – Digital Light Processing: il procedimento è simile alla stereolitografia, cambiano i materiali polimerici e le luci utilizzate che in questo caso sono inattiniche.
- SLM/PBF – Selective Laser Melting/ Powder Bed Fusion: questa tecnologia di stampa 3D impiega un laser per portare localmente a fusione un letto di polvere metallica in maniera tale da generare uno strato solido.

- SL – Sheet Lamination: strati di fogli di metallo, materiale ceramico o carta, vengono incollati assieme e tagliati tramite una lama o un laser fino alla realizzazione della forma desiderata.
- EBM – Electron beam melting: un materiale metallico sottoforma di granuli o polvere viene investito da un raggio emesso da una sorgente ad alta energia, composto da elettroni, che ne provoca la fusione ([www.ilprogettistaindustriale.it](http://www.ilprogettistaindustriale.it), 2014)<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> <https://www.ilprogettistaindustriale.it/ladditive-manufacturing-tra-prototipi-e-produzione-di-massa/>

### 1.2.3 – Realtà virtuale e aumentata

Con realtà virtuale si intende quella tecnologia che consente di riprodurre un ambiente qualsiasi, reale o immaginario, in modalità virtuale all'interno della quale una persona è in grado di immergersi attraverso l'utilizzo di particolari dispositivi ottici. Utilizzando dei joystick è possibile anche muoversi ed interagire con l'ambiente stesso. Questa tecnologia ha riscosso particolare successo negli ultimi anni in quanto è stata utilizzata per implementare l'esperienza di gioco nell'ambito del gaming: un utente non si trova più ad interagire con il gioco attraverso un monitor, ma proverà l'esperienza immersiva di ritrovarsi all'interno dell'ambiente virtuale e di potercisi muovere come se si trovasse nella realtà. Questo concetto è utilizzato anche in ambito turistico, per esempio è possibile visitare virtualmente musei e città tramite l'utilizzo dei visori a realtà virtuale, per esempio utilizzando Google Earth VR è possibile raggiungere qualsiasi posto sulla terra.



*Figura 1.2. 7 – Esempio di esperienza immersiva 3D offerta da google – [www.arvr.google.com](http://www.arvr.google.com)*

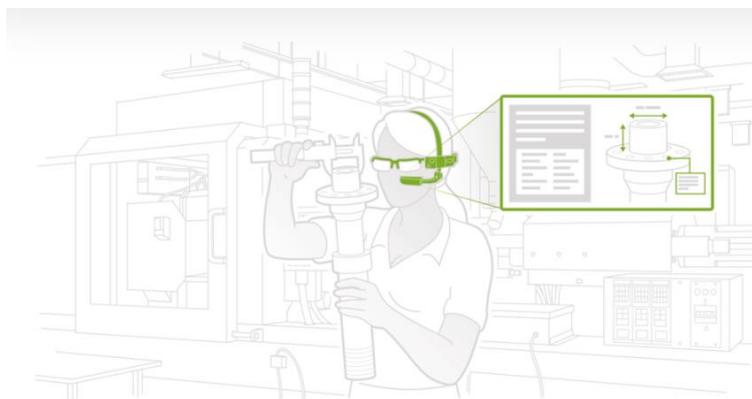
In ambito industriale questa tecnologia può essere utilizzata per aggiungere un ulteriore step al processo di progettazione di un prodotto. Infatti, grazie ai normali software di modellazione cad 3D è possibile poi inserire i modelli virtuali in un ambiente anch'esso virtuale e testarne effettivamente l'utilizzo in ambiente test. Oppure in fase di progettazione, per esempio, di un impianto intero, o prima di allestire un cantiere, è possibile attraverso la realtà virtuale, immergersi attivamente nel modello in modo da poterne testare effettivamente le dimensioni e le funzionalità.



*Figura 1.2. 8 – Esempio di esperienza immersiva 3D nel progetto di un plant industriale in corso di progetto. - [www.cmprojecting.de](http://www.cmprojecting.de)*

Un altro utilizzo della realtà virtuale, già ampiamente usata, è per esempio quella del training e dell'addestramento. È possibile, infatti, ricreare virtualmente delle simulazioni di volo in cui addestrare piloti di aerei o scenari per istruire del personale per l'utilizzo di particolari macchinari o veicoli senza la necessità della presenza fisica.

Con il termine realtà aumentata invece si intende una tecnologia che aggiunge qualcosa alla realtà effettiva. Questo avviene sempre grazie all'utilizzo di dispositivi indossabili come gli occhiali, oppure semplicemente utilizzando la videocamera di uno smartphone, ma che non creano un ambiente virtuale immersivo, ma ricreano in alcune zone del campo visivo degli ologrammi riportanti per esempio informazioni riguardanti un oggetto inquadrato.



*Figura 1.2. 9 – Realtà aumentata a servizio dell'operatore – [www.headapp.it](http://www.headapp.it)*

Questa possibilità può rivelarsi molto fruttuosa in campo manifatturiero, dalla produzione alla manutenzione: un operatore dotato di dispositivi per la realtà aumentata può avere sempre sott'occhio per esempio un progetto e tutta la documentazione di cui ha necessità senza il bisogno di staccarsi dal proprio lavoro, incrementando così produttività e rischio di errore. In fase di manutenzione, grazie all'utilizzo di videocamere, è possibile richiedere assistenza al personale specializzato non presente, in modo da ricevere assistenza tecnica in remoto. L'esperto, che può trovarsi dall'altra parte del mondo, grazie alla proiezione del campo è in grado di impartire istruzioni per la riparazione, per esempio, di un impianto e, eventualmente, proiettare sui dispositivi ottici dell'operatore in presenza istruzioni dettagliate e schemi di funzionamento, riducendo così tempi d'attesa per l'arrivo del tecnico, ridurre il tempo di fermo dell'impianto e ridurre il periodo di improduttività dovuta al guasto.



Figura 1.2. 10 – esempio di applicazione di supporto della realtà aumentata per manutenzione motore - [www.headapp.it](http://www.headapp.it)

Per esempio, può essere anche utilizzato in campo medico durante un'operazione chirurgica: il medico indossando un dispositivo per la realtà aumentata può avere riprodotto nel proprio campo visivo i parametri vitali del paziente, senza la necessità appunto di doversi muovere per controllare il monitor, oppure è possibile proiettare procedure particolarmente complesse in modo da poter evitare possibili dimenticanze. Altri campi d'impiego della realtà virtuale che si possono citare:

- Industria aeronautica: Boeing ha utilizzato la realtà aumentata per fornire con maggiore precisione e puntualità ai propri tecnici le istruzioni per gli schemi di cablaggio del velivolo, consentendo loro di avere entrambe le mani libere in fase di installazione. La scelta tecnologica è stata vincente: il sistema ha consentito non solo di ridurre il cablaggio ma anche di aumentare la velocità dell'attività del 25%, di aumentare la produttività del 40% e di eliminare i tassi di errore.
- Automotive: Ford utilizza la realtà virtuale a supporto degli operatori che lavorano in catena di montaggio, aumentando sia la produttività degli operatori che i livelli di sicurezza. Durante la fase di assemblaggio dell'attrezzatura il movimento umano viene scansionato da una serie di sensori di movimento per essere supportato in modo tale da ridurre il rischio di lesioni e aumentare i livelli di produttività. L'uso della realtà virtuale in Ford ha comportato un calo del 70% degli infortuni dei dipendenti e una riduzione del 90% delle criticità legate a problemi di ergonomia.
- Utility: TOMS (TRMUA) utilizza realtà virtuale e realtà aumentata per supportare gli operatori sul territorio nell'identificare guasti nascosti nei condotti dell'acqua potabile e del gas, così come nei sistemi elettrici e fognari. Queste tecnologie, infatti, simulano la vista a raggi X, permettendo di vedere attraverso il terreno: un'applicazione elabora i dati del GIS (Geographic Information System) che, mediante l'uso di Microsoft HoloLens, si trasformano in una proiezione olografica del sottosuolo che tiene conto della posizione e dell'orientamento dell'utente. Questa innovazione aumenta la produttività giornaliera degli operatori sul campo, supportando al meglio gli interventi nelle situazioni di emergenza come incendi o allagamenti (Zanotti, 2018)<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> <https://www.zerounoweb.it/mobility/realta-aumentata-versus-realta-virtuale-differenze-ed-esempi-applicativi/>

## 1.2.4 – Integrazione verticale ed orizzontale

### 1.2.4.1 – integrazione verticale

Lo sviluppo esponenziale tecnologico avvenuto nella seconda metà del '900, durante la terza rivoluzione industriale, ha portato l'attenzione del mondo manifatturiero ad orientarsi sempre di più verso l'ottica di automatizzare il più possibile i processi produttivi ripetitivi tramite l'ausilio di PC, macchine a controllo numerico, PLC e robot. La struttura di una fabbrica automatizzata può essere rappresentata schematicamente in maniera piramidale, riferendosi generalmente, appunto, alla piramide dell'automazione, come rappresentata in figura 1.2.11.

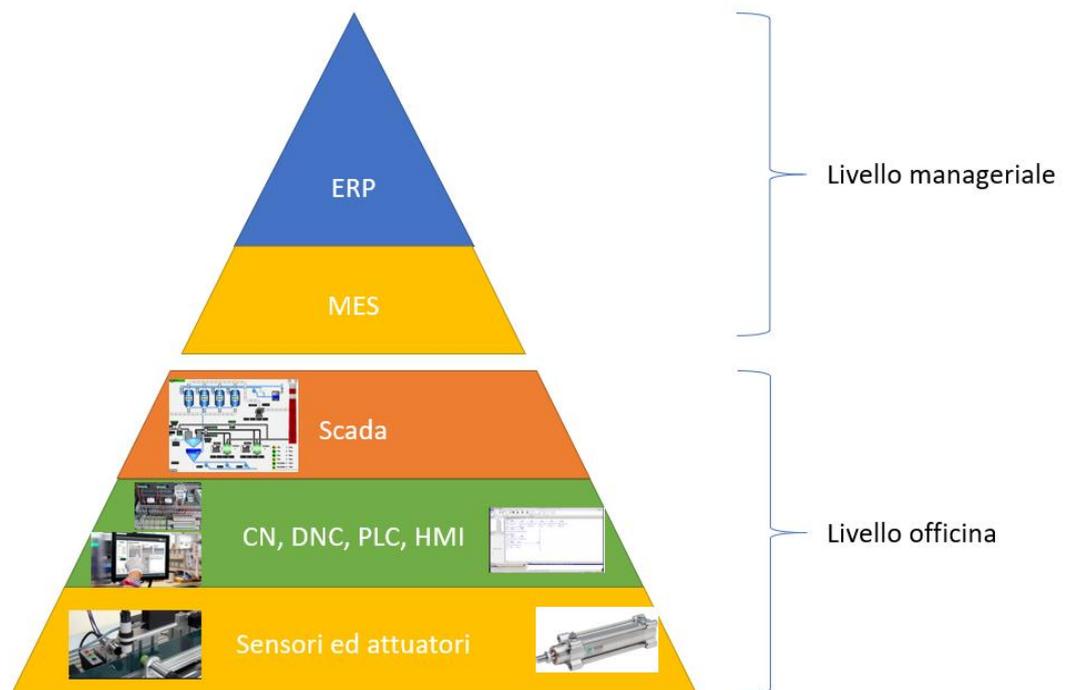


Figura 1.2. 11 – Piramide dell'automazione a 5 livelli

È possibile suddividere la piramide in cinque livelli:

1. Il primo livello della scala, ovvero la base, è costituito dai sensori e gli attuatori. Questi sono gli organi che controllano e movimentano effettivamente i singoli macchinari ed i rispettivi utensili. Questi lavorano al piano della singola macchina.
2. Il secondo livello è occupato dai gestori degli attori del primo livello, troviamo quindi, per esempio, le macchine a controllo numerico (CN), le DNC (macchine a controllo numerico diretto), i PLC (i controllori logico programmabili) e gli HMI (le interfacce grafiche per l'interazione uomo-macchina). Queste lavorano a livello di macchina o di linea. Il loro compito è quello di governare gli attuatori ed i sensori sulla base delle loro programmazioni impostate dai programmatori per la gestione delle macchine ed eseguire le lavorazioni volute. Gli HMI forniscono un agevole utilizzo da parte dei tecnici e degli operatori.
3. Al terzo livello troviamo i sistemi SCADA, ovvero "Supervisor Control and Data Acquisition", il cui compito è quello di supervisionare le lavorazioni, cioè devono controllare che tutti i parametri impostati e le condizioni di lavorazione siano corretti e rispettati, acquisire dati relativi alla produzione, collezionare dati e fornire eventualmente segnalazioni d'errore agli operatori. Il campo di competenza di questo livello è quello di settore o di reparto.
4. Il quarto livello è il piano dell'manufactory execution system (MES), qui viene gestita la produzione, ovvero viene decisa la sua pianificazione, su quali macchine allocare le diverse produzioni e controllarne il procedimento in maniera tale da poter pianificare le successive. Questo piano agisce a livello del plant intero affinché ogni processo sia sincronizzato e tracciabile ed è solitamente affidato a personale con alto grado di specializzazione in campo amministrativo e direzionale, infatti si trova quasi al vertice della scala.
5. Il quinto livello, ovvero la cima della piramide, è occupato dall'ERP, ovvero l'"Enterprise resource planning". Qui il compito è puramente manageriale

e contabile. Vengono infatti gestiti, per esempio, gli ordini in ingresso, quindi tutta la parte di vendita, le materie prime acquistate dai fornitori, i flussi di magazzino e la gestione del personale. È chiaro che questo livello opera per l'appunto ai vertici direttivi dell'azienda stessa, che si occupa pertanto non solo del proprio plant, ma deve coordinare il tutto relazionandosi anche con il mondo esterno (fornitori e clienti). Per questo compito è ormai largamente diffuso l'utilizzo di software per la gestione d'azienda, uno dei più famosi ed utilizzati è SAP.

Osservando la piramide è possibile osservare che possono essere distinte due grandi zone:

- La zona più bassa definita “a livello officina”, che riguarda tutto ciò che avviene nella zona operativa e produttiva dell'impresa.
- La zona più alta che riguarda il livello manageriale, ovvero tutto ciò che avviene nelle zone direttive e amministrative dell'azienda.

Queste due zone generalmente sono sempre state distinte e separate, manca una linea di congiunzione fra le due parti in ottica di comunicazione e flussi di informazioni. La direzione d'azienda ha bisogno di avere i dati provenienti dall'officina per poter provvedere ad una pianificazione efficiente della produzione, i sensori ed i connettori, che sono coloro dai quali ha inizio il flusso di informazioni, comunicano direttamente con i PIC che a loro volta comunicano con gli SCADA. Da qui al livello successivo esiste una lacuna nel flusso di informazioni, generalmente colmato dall'operato di esperti che manualmente tracciano l'andamento della produzione, per poi poter procedere alla pianificazione successiva e sulla base di ciò, far proseguire il flusso fino alla cima della piramide. Viceversa, l'officina ha la necessità di conoscere le direttive e le decisioni provenienti dall'amministrazione per poter lavorare. Esiste quindi un doppio flusso di informazioni con direzione opposta, una dal basso verso l'alto e una dall'alto verso il basso. Anche in quest'ultimo caso, le informazioni trovano un muro fra il quarto ed il terzo livello. Per poter caricare effettivamente in macchina gli ordini di

produzione pianificati è necessario andare fisicamente alla postazione di lavoro in officina per poter avviare la lavorazione. Uno schema del flusso di informazioni è riportato in figura 1.2.12.

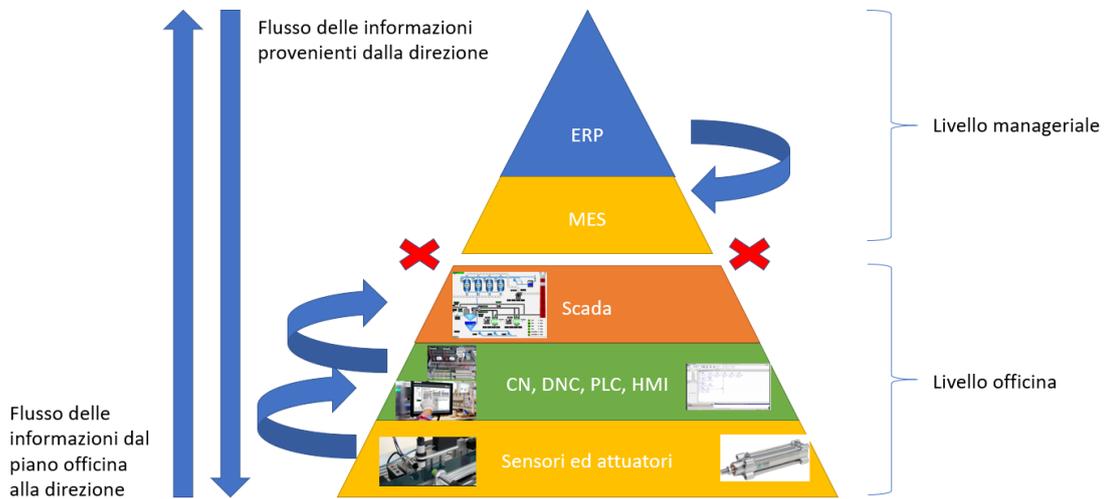


Figura 1.2. 12 – Flusso delle informazioni lungo la Piramide dell'automazione

Un aiuto per risolvere parzialmente questo divario fra il mondo del piano officina e del piano manageriale proviene dall'utilizzo e dall'impiego di software dedicati alla gestione del MES, i quali sono in grado di mostrare e fornire una panoramica diretta in modalità remota della produzione. Questi aiutano notevolmente la pianificazione della produzione e permettono al flusso di informazioni provenienti dal piano officina di sormontare il muro che separava i due mondi. Quando si parla di Industria 4.0 e di integrazione verticale delle informazioni, ci si riferisce per l'appunto a questo concetto: fare in modo che queste non vengano bloccate in nessun punto e che possano circolare facilmente. Creare così un flusso di informazioni lineare non è però ancora sufficiente per poter parlare di Digital Factory. Quello che si vuole realmente ottenere è smontare la piramide dell'automazione e creare al suo posto una rete di informazioni, ci si vuole cioè svincolare dal blocco esistente fra i vari livelli che comunicano fra di loro layer by

layer attraverso l'utilizzo di cavi fisici ed ottenere una rete di informazioni generata da dispositivi che siano in grado di relazionarsi a vicenda e che sia accessibile da parte di qualunque figura aziendale in maniera agevole e comoda. Per fare questo sono necessarie due componenti chiave:

- Internet
- Cloud

L'utilizzo di Internet consente l'interconnessione dei dispositivi, questi però devono essere adattati e abilitati a svolgere tale compito. Si parla quindi di dispositivi smart, ovvero che siano predisposti ad una comunicazione via wireless o tramite cavo ethernet, con la rete. In questo modo sensori e plc possono comunicare fra di loro anche a distanza, fra reparto e reparto, per esempio, in modo da coordinarsi, oppure, tramite dispositivi come PC, smartphone o tablet connessi alla stessa rete, controllare lo stato delle macchine e della produzione. In questo modo non è più strettamente necessario muoversi fisicamente all'interno della fabbrica per operazioni di verifica, controllo e pianificazione, ma può essere comodamente effettuato da remoto. Si risparmia così tempo e si migliora l'efficienza produttiva. Quando si parla di dispositivi, che non siano appunto dei pc o smartphone, connessi ad internet si parla di *dispositivi smart* e di *Internet of things* (IoT). Il secondo requisito necessario è il *cloud*, ovvero uno spazio dedicato alla memorizzazione di immense quantità di dati provenienti dai dispositivi connessi. L'utilizzo del cloud, e non di una memoria fisica, permette l'accesso ai dati da qualunque parte del mondo e da qualunque dispositivo mobile. Si viene così a creare una rete appunto di informazioni e non più una piramide. Un esempio di rete di informazioni è riportato nello schema in figura 1.2.13.

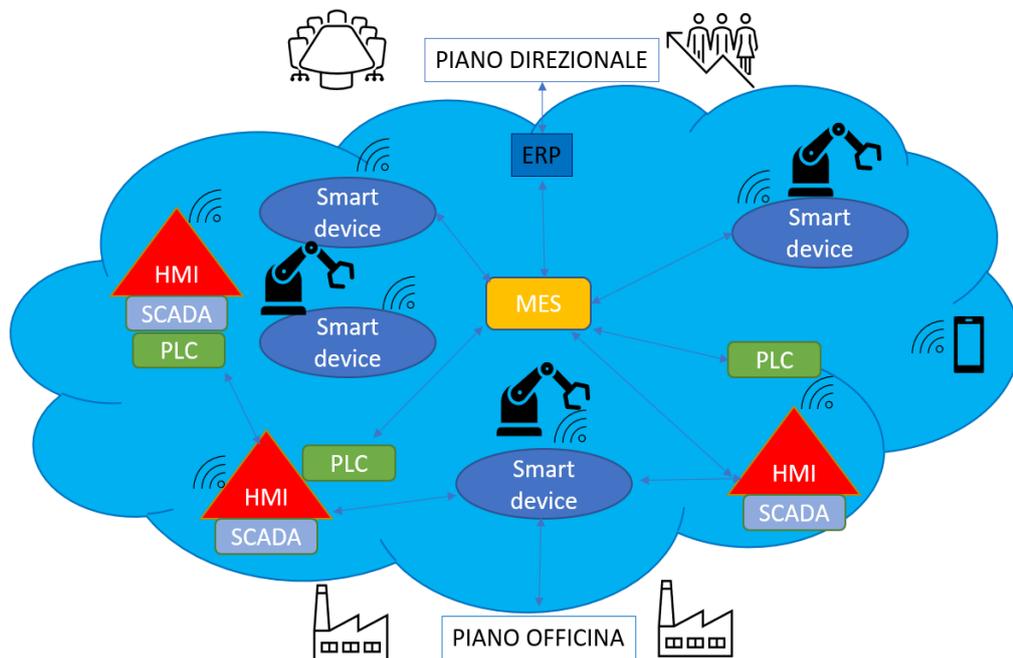


Figura 1.2. 13 – Rete di informazioni nell'industria 4.0

Si parla così di integrazione verticale dell'azienda, le informazioni sono in grado di viaggiare velocemente attraverso quelli che erano stati definiti come livelli della piramide. I dati sono così più facilmente disponibili da parte della direzione aziendale, semplificando e velocizzando in questo modo le fasi decisionali di pianificazione del processo produttivo e la loro attuazione. Inoltre, grazie all'utilizzo di un cloud per la memorizzazione dei dati, tramite un'analisi specifica di questi, è possibile ottenere informazioni importanti riguardanti lo stato produttivo dell'azienda.

#### ***1.2.4.2 – Integrazione orizzontale***

Con integrazione orizzontale si intende l'implementazione di tecnologie volte ad agevolare lo scambio di informazioni fra l'azienda e il mondo esterno, cioè interfacciarsi con le fonti che generano valore aggiunto ad un prodotto durante tutta la catena di produzione e per tutto il ciclo di vita dello stesso tramite lo scambio e la condivisione di dati. Con fonti esterne si intendono per esempio le filiere dei fornitori, le aziende che collaborano, il sistema di trasporto delle merci, quindi la logistica, sia in ingresso per le materie prime che in uscita per la spedizione dei prodotti finiti, ed i riscontri provenienti dai consumatori. Per esempio, un'azienda interconnessa con i propri fornitori, di materie prime o di qualunque altra cosa, può essere in grado tramite l'utilizzo del cloud e dello scambio dati, di effettuare tempestivamente ordini di approvvigionamento, sempre in ottica di migliorare il processo produttivo e non doversi fermare. Può scambiare informazioni e dati con altre sedi della stessa filiera se per esempio questa conta più di un plant, questo permette di spostare eventualmente intere produzioni in tempo reale nel caso di guasti a certe linee produttive. È in grado di adattare il processo produttivo in funzione delle esigenze dei clienti in maniera veloce e tempestiva, spostando l'orientamento della produzione verso le necessità di questi e non più verso una produzione massiva. Un sistema di integrazione orizzontale prevede anche lo scambio di informazioni con aziende che operano in settori affini, in modo da poter condividere risorse in seno all'obiettivo della riduzione di sprechi. Può anche condividere servizi e mettere a disposizione materiale destinato allo scarto che per altre imprese potrebbero essere importanti materie prime. Si migliora così l'aspetto legato all'ambiente e all'inquinamento. Pertanto, parlare solo di industria 4.0 potrebbe essere riduttivo, perché la digitalizzazione non avviene solamente all'interno della fabbrica, la trasformazione è più ampia e riguarda anche, e soprattutto elementi esterni. Si deve parlare quindi anche di supply chain 4.0 perché appunto tutto ciò che concorre alla creazione di un prodotto deve essere smart, dalla materia prima all'utente finale. Il prodotto deve essere smart, per soddisfare il più possibile le esigenze del consumatore. Soprattutto deve essere smart l'utilizzo e l'impiego delle risorse energetiche al fine di migliorare l'impatto ambientale delle imprese tramite l'utilizzo sempre più profondo di fonti rinnovabili di energia

limitandone gli sprechi. In figura 1.2.14 viene riportata una slide di Roland Berger<sup>9</sup> in cui viene sintetizzata l'integrazione orizzontale e verticale di un'azienda 4.0.

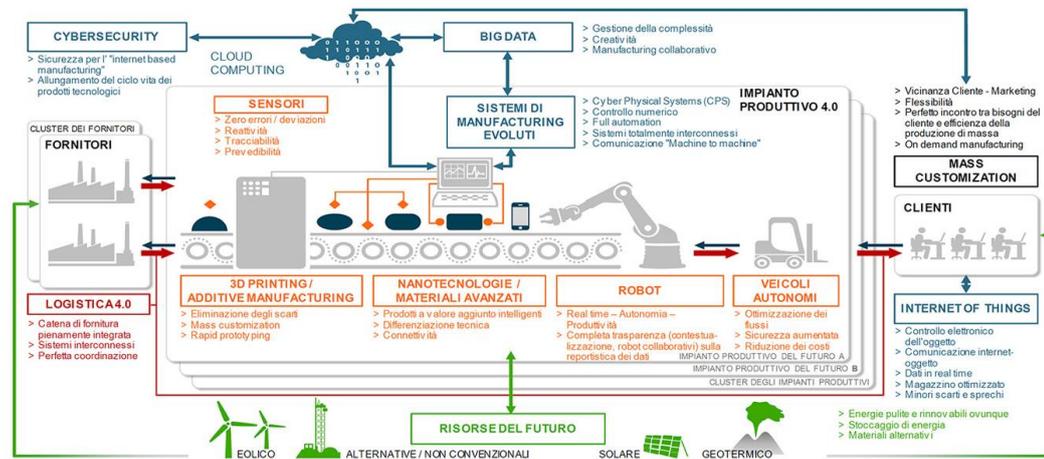


Figura 1.2. 14 – Schema riassuntivo integrazione orizzontale e verticale –  
Fonte: Roland Berger

<sup>9</sup> Ronald Berger – Fondatore della società di consulenza strategica ed aziendale tedesca Ronald Berger GmbH.

## 1.2.5 – Internet of Things

Quando si parla di Industry 4.0 ci si riferisce fondamentalmente al periodo storico in cui ci troviamo, ovvero nella quarta rivoluzione industriale. Quando si parla di Digital Factory invece si intende la fabbrica fisica che è entrata nella classificazione 4.0 ed ha adottato tutte, o parte, delle tecnologie abilitanti, e ciò che la rende effettivamente tale, ciò che è alla base di tutto, è sicuramente L'IoT (*l'Internet of Things*), ovvero l'internet delle cose. Con rete internet si intende quel network virtuale attraverso il quale è possibile ricevere ed inviare dati attraverso un dispositivo che vi possa accedervi, quindi un PC, un tablet o uno smartphone. Lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha permesso la realizzazione di sensori e dispositivi sempre più piccoli e soprattutto economici. È possibile, infatti, con una spesa davvero minima, poter dotare qualsiasi oggetto che ci circonda di sensori che rilevino qualsiasi cosa, possiamo mettere sensori sulla nostra porta di casa e sapere quante volte questa viene aperta e chiusa, mettere sensori su frigoriferi, su dispositivi medici e su automobili. Una volta che un oggetto sia stato dotato di questi sensori per la rilevazione di grandezze generiche, è necessario che questo sia in grado di comunicare a qualcuno quello che ha contato, misurato o rilevato, in modo da informare e tenere traccia di ciò che si vuole analizzare. Per fare questo quindi un oggetto, oltre che ad una componente sensoristica ha bisogno di un sistema software che sia in grado di collegarsi alla rete internet, via Wi-Fi o cavo, e comunicare i dati. Quando un dispositivo qualsiasi è in grado di eseguire queste operazioni in autonomia, allora può essere definito come *smart*, cioè un oggetto intelligente, dotato di indirizzo IP per l'identificazione univoca, in grado di comunicare con il mondo che lo circonda attraverso internet, ed essendoci svincolati dal fatto che solo pc e telefoni possano connettersi alla rete, allora si parla di Internet delle cose poiché qualsiasi cosa può essere connessa. Un campo di applicazione dell'Internet of Things può essere per esempio:

- *L'ambiente domestico*: dove l'impiego di dispositivi connessi permette il monitoraggio ed il controllo per esempio dei consumi elettrici, permette una programmazione di funzionamento ed un controllo da remoto, per esempio

azionando via smartphone il riscaldamento di casa prima di rincasare o controllare l'accensione e lo spegnimento di luci. L'applicazione di dispositivi smart in ambito domestico prende il nome di *domotica*. Un esempio di dispositivo smart può essere per esempio il frigorifero, in grado di rilevare gli alimenti ed i prodotti inseriti al suo interno, tenendo traccia, in base alle date di scadenza, di quelli che stanno per scadere oppure no. Attraverso sistemi di intelligenza artificiale possono anche definire le abitudini dei nuclei familiari, registrando i prodotti con maggior consumo, prevedendone tempestivamente un loro esaurimento e compilando automaticamente una lista della spesa. Un altro impiego può essere per esempio quello di accendere il forno per preriscaldarlo prima di arrivare a casa in modo da essere più veloci nella preparazione di cibi, inoltre, un forno smart è in grado, grazie sempre a sistemi di intelligenza artificiale, di cercare su internet ricette e procedure di cottura, in modo da impostare autonomamente tempi e temperature per la realizzazione dei piatti.

- *L'ambiente cittadino*: quando si parla di internet delle cose applicato alle città si parla di Smart city, anche in questo caso qualunque oggetto può essere collegato ad internet, pali della luce, semafori, cartelli stradali, ponti e tombini. Un lampione "smart" connesso ad internet è in grado di acquisire dati, per esempio, sul numero di auto che ha vicino, in modo da fornire dati immediati sul traffico, adattare la propria luminosità in funzione della presenza o meno di macchine o persone nelle sue vicinanze e così via. Un semaforo smart può rilevare effettivamente, in base ai flussi del traffico, quando far scattare un verde o un rosso, riducendo code e lunghi tempi d'attesa al semaforo e può anche essere in grado di fornire informazioni su incidenti. Anche un parcheggio può essere smart fornendo informazioni su posti liberi e occupati. Tutte queste informazioni provenienti dalle fonti smart della città possono poi venire analizzate in modo da adattare istantaneamente ed in tempo reale i tragitti calcolati da navigatori, tipo google maps che in funzione del traffico può fornire strade più agevoli, aiutando quindi il traffico ed anche il sistema di trasporto pubblico. Questi sistemi inoltre permettono un grande risparmio di energia elettrica, un minor

inquinamento ambientale causato dalle auto accese ferme in coda e da una riduzione dell'uso delle auto private in favore di sistemi di trasporto pubblici più efficienti.

- *Il settore medico:* Anche in questo caso l'impiego di internet è fondamentale in quanto sono stati sviluppati dispositivi wearables, cioè indossabili dai pazienti ed in grado di tenere sotto controllo parametri e funzioni vitali, costantemente connessi con il proprio medico curante che in caso di necessità e criticità può essere tempestivamente avvertito. Oppure possono essere condivise e scambiate cartelle cliniche, aggiornate situazioni e condizioni direttamente on line, modificate terapie o parametri di somministrazione di medicinali sempre da remoto. Dispositivi quali pacemaker possono avvertire preventivamente l'insorgere di un guasto, oppure, sull'analisi dei parametri vitali, di un'imminente attacco di cuore.
- *Il settore sportivo:* ormai siamo immersi completamente in dispositivi sempre connessi, come orologi e bracciali dedicati completamente allo sport tracker, con semplici dispositivi, a volte anche poco costosi, è possibile tenere sotto controllo i propri progressi, le proprie statistiche ed i parametri vitali durante l'attività fisica.
- *Il mondo automotive:* anche nel campo automobilistico si sono raggiunti elevatissimi livelli di connettività, autovetture connesse ad internet che comunicano costantemente con i dispositivi della smart city e con le macchine in torno a lei, in modo da fornire informazioni su traffico e anche prevenire incidenti grazie a sensori di prossimità che aiutano il guidatore in caso di pericolo o di distrazione.
- *L'ambito industriale:* che è quello di nostro maggior interesse. Allo stesso modo degli elettrodomestici della domotica e delle auto della smart city, anche nel mondo manifatturiero o nei centri logistici, è possibile creare un mondo interamente connesso. In questo caso non si parla più di IoT ma di IIoT ovvero di Industrial Internet of Things, in cui ad essere connessi sono i macchinari presenti nell'azienda, che comunicano fra di loro, scambiano informazioni e producono dati. In particolare, una Smart Factory utilizza questi dati per analizzare ed ottimizzare i consumi, prevedere l'accadimento

di guasti o la segnalazione tempestiva di malfunzionamenti di macchine in modo da ridurre al minimo gli sprechi. Questo sarà uno dei principali temi trattati nel prossimo capitolo. L'utilizzo di internet per le aziende consente anche di organizzare in maniera più efficiente i propri flussi di lavoro, le materie prime ed i prodotti finiti in stock grazie alla tracciabilità degli oggetti. L'Internet of Things è l'elemento che permette la completa integrazione orizzontale e verticale di un'impresa come mostrato nel paragrafo precedente.

## 1.2.6 – Big data, Cloud e Cyber security

Dopo aver descritto rapidamente cosa sia l'Internet of Things, è chiaro che questa connessione viene effettuata per estrapolare informazioni sotto forma di dati digitali provenienti da qualsiasi oggetto che ci circonda. Questo implica un aumento esponenziale del flusso di dati attraverso la rete ed una notevole difficoltà di stoccaggio di queste all'interno di sistemi fisici tradizionali, pertanto si parla di Big Data quando a causa del volume, della velocità e della varietà di generazione di questi, è richiesta una tecnologia innovativa ed economica per la loro elaborazione per aumentare la comprensione, la presa di decisioni e l'automazione dei processi. Questa è una definizione di big data fornita da Gartner<sup>10</sup>: *“Big data is high-volume, high-velocity and/or high-variety information assets that demand cost-effective, innovative forms of information processing that enable enhanced insight, decision making, and process automation”* (Gartner Inc., 2020). Da questa definizione vengono messe in evidenza tre caratteristiche:

- L'elevato volume: la mole di dati trasferiti attraverso la rete internet è aumentata enormemente negli ultimi anni, in particolar modo in seguito all'affermarsi dei social network e dei messaggi di posta privata. Con l'avvento degli smart device la quantità di dati da salvare è diventata talmente elevata che sono stati coniati nuovi termini per le unità di misura, il nome per descrivere la più grande unità di misura era il terabyte, ovvero 1000 Gb, ora si parla anche di yottabyte che corrisponde a  $10^{24}$  byte. Uno yottabyte corrisponde all'enorme quantità di dati accumulati nel 2012 dall'agenzia nazionale di sicurezza americana (NSA – National Security Agency) in seguito all'intercettazione e allo stoccaggio di un numero compreso fra i 15 ed i 20 trilioni di messaggi privati e aziendali legati all'utilizzo di internet in nome della sicurezza nazionale (Greenberg, 2012). Per comprendere l'enormità di questo dato, uno yottabyte è in grado di contenere 9 miliardi di anni di materiale video in qualità Blu Ray. Come

---

<sup>10</sup> Gartner Inc. è una delle società per azioni multinazionale che si occupa di consulenza strategica, ricerca e analisi nel campo della tecnologia dell'informazione.

abbiamo detto, data la continua espansione della connettività e del numero esorbitante di dispositivi “inanimati” connessi alla rete, nuove unità di misura dovranno essere coniate per quantità ancora maggiori, si parla di brontobyte, ovvero  $10^{27}$  Byte (Laskow, 2012). Per capire l’entità della svolta informatica viene presentati alcuni esempi: il Large Hydron Collider (Cern di Ginevra) produce un petabyte al secondo (un petabyte corrispondono a 1000 terabyte); i sensori di un Boeing accumulavano 20 terabyte all’ora (Minto, 2012).

- L’elevata velocità: riguarda la velocità con cui vengono generati nuovi dati, più la diffusione di internet è grande e più sorgenti di dati ci sono, pertanto è necessario che anche la rete si adatti alla gestione di questi in modo tale da evitare ritardi e sovraccarichi di rete, per questo è stata sviluppata la rete 5G. In alcune circostanze non è accettabile che le informazioni non vengano trasmesse in maniera praticamente istantanea, si pensi all’ambito medico, in cui è necessario che una situazione di pericolo per un paziente venga notificata con ritardi, oppure durante il compimento di transizioni finanziarie in cui il controllo antifrode deve avvenire in porzioni di tempo molto limitate.
- La varietà: i dati generati non sono tutti dello stesso tipo, anzi sono molto diversi gli uni dagli altri, possono essere messaggi, tabelle, fotografie, video o altro.

Pertanto, è chiaro che tutti questi dati generati dai dispositivi smart spesso necessitano di spazi di memoria che non siano interni ai device ma utilizzano dei servizi esterni per la memorizzazione dei dati, che prendono il nome di Cloud. Un Cloud è uno servizio messo a disposizione da aziende come Amazon, google o Microsoft, che dedicano enormi server fisici per lo stoccaggio di dati ai quali i clienti possono inviare dati per la memorizzazione. In questo modo gli utenti sono in grado di avere la memoria dei dispositivi sempre leggera e possono accedere ai propri dati salvati nel cloud in qualunque momento e luogo semplicemente attraverso una linea internet. Questo è quello che fanno anche le aziende, utilizzare dei server cloud per la memorizzazione dei dati aziendali e dei dati prodotti dalla

sensoristica delle macchine operatrici nelle fabbriche per esempio. Una volta che questi dati sono stati generati e memorizzati è necessario che vengano anche analizzati. L'analisi dei big data prende il nome di *big data analytics*, cioè l'utilizzo di tecniche di analisi su grandi volumi di dati in modo da estrapolare informazioni relative alla descrizione di eventi o situazioni, identificare dei pattern, delle correlazioni o delle tendenze, in modo da fornire un valido strumento di supporto per la presa di decisioni sulla base di dati certi, dati che prima risultavano inaccessibili senza l'impiego dell'internet of things. Esistono vari tipi di analisi:

- analisi descrittiva: fornisce una panoramica riassuntiva e descrittiva di una situazione accaduta fornendo una visione globale del contesto.
- Analisi predittiva: è uno dei metodi di analisi più utilizzata in quanto ha lo scopo di mettere in relazione accadimenti, tendenze e di identificare delle connessioni causa-effetto fra i dati. Un'analisi di questo tipo serve per prevedere eventuali scenari futuri in differenti contesti e situazioni.
- Analisi prescrittiva: grazie ad innovazioni come il *machine learning* e dell'intelligenza artificiale, oggi è possibile non solo fare delle previsioni riguardo a cosa può succedere, ma si può anche prevedere uno scenario di risposta, cioè cosa può succedere in funzione di azioni che potremmo intraprendere, in questo modo è possibile, per esempio, sapere "cosa succederebbe se scegliessimo l'opzione x?". In questo modo si andrebbero a risparmiare una grande quantità di risorse che andrebbero inutilmente investite nel tentativo di provare tutte le differenti soluzioni possibili.
- Analisi diagnostica: è l'analisi che serve per identificare nello specifico il perché di qualcosa o di un dato evento, consentendo di trovarne le cause che hanno portato alla situazione attuale. A tale scopo le aziende spesso usano tecniche come il drill-down ed il data-mining per determinare le cause di trend o avvenimenti e per poter così identificare, ripetere ed ottimizzare le azioni che hanno portato a dei risultati positivi (www.insidemarketing.it, 2019)

I dati sono il nuovo petrolio e per le aziende il futuro si gioca sulla capacità di estrarre questi dati e di trarne valore. Questo è un compito difficile in quanto le fonti di dati diventano sempre più numerose con il passare del tempo. Nel 2012 la EMC-Dell prevedeva che fino al 2020 la produzione di dati nel panorama digitale si sarebbe sviluppato di 10 volte, da 4.4 milioni di miliardi di gigabytes a 44, raddoppiandosi in volume ogni due anni, ma i fatti hanno doppiato le previsioni (d'Adda, 2019). Già nel 2012 i dati raccolti dall'analisi degli acquisti di Walmart ammontavano a 150 volte quelli contenuti dalla American Library of Congress, l'ultimo report di IDC (International Data Corporation) stima che i 41.6 miliardi di device connessi dall'internet of things produrranno nel 2025 dati pari a 13.3 miliardi di volte la Library stessa. Vince chi è appunto in grado di valorizzare queste biblioteche elettroniche. Sempre l'IDC calcola che nel 2013 solo il 5% dei dati estratti fornisce informazioni utili, e che la quota salirà al 10% entro il 2020. Saper raccogliere, catalogare, gestire, analizzare in tempi sempre più rapidi questi dati è una necessità, ma anche una leva strategica (d'Adda, 2019). Se importante è quindi riuscire ad ottenere dati ed informazioni da essi, altrettanto, se non di più, vale per il discorso legato alla loro sicurezza e custodia in quanto un sistema informatico può essere oggetto di hackeraggi per il furto di dati. Per esempio, se un dispositivo è connesso ad internet per il controllo da remoto, se questo non è in maniera appropriata protetto e sicuro, può succedere che dei malintenzionati utilizzino dei sistemi di hackeraggio per l'accesso da remoto per bloccare completamente i sistemi informatici, prevalentemente a scopo di ricatto. Un esempio di questo attacco informatico di tipo ransomware è quello avvenuto nel luglio di quest'anno nei confronti della società Garmin, presa di mira da un gruppo di cybercriminali che han chiesto il pagamento di un riscatto di 10 milioni di dollari per riconsegnare alla società il controllo dei server bloccati e resi inutilizzabili dal lancio del malware (Simonetta, 2020). Attacchi di questo tipo ne sono stati eseguiti molteplici, in particolar modo nei confronti di aziende ospedaliere che, dal momento che un blackout dei sistemi informatici comporta la morte di molte persone, hanno maggior possibilità di riuscita nello scopo di farsi pagare un riscatto per riacquistare il controllo il prima possibile. Un altro esempio di attacco informatico è quello che è stato condotto nei confronti di Fiat Chrysler nel 2015, quando un gruppo di hacker,

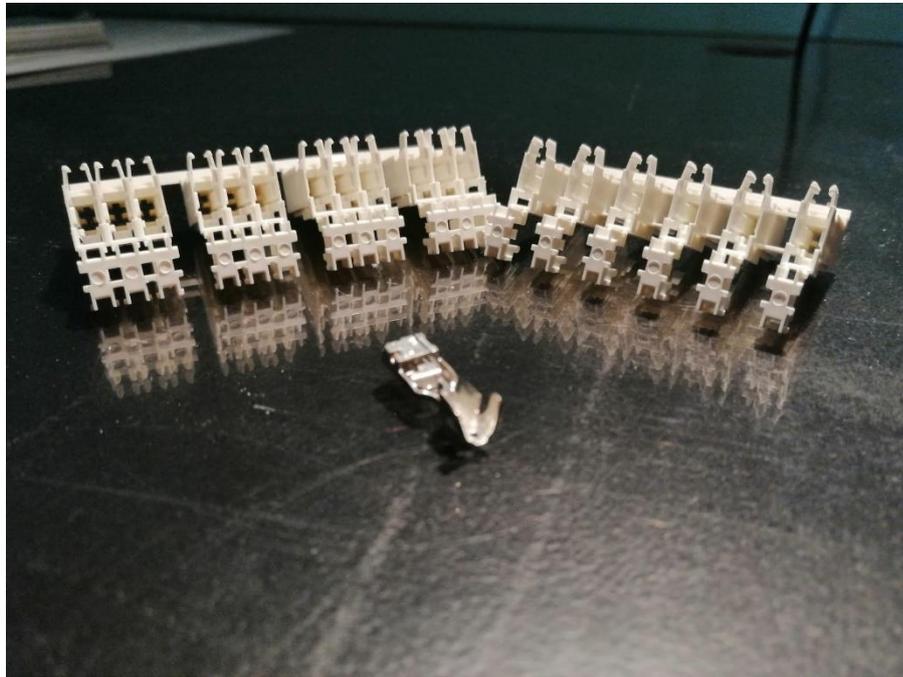
trovata una falla nel sistema di infotainment connesso alla rete delle autovetture, era in grado di bloccare completamente le auto attraverso il sistema di controllo elettronico dell'ABS bloccando completamente le autovetture in strada senza possibilità di muoverle. Per questo motivo la casa costruttrice ha dovuto richiamare 1.4 milioni di autovetture a rischio di attacco informatico. Nell'ambito privato il discorso di violazione dei dispositivi IoT è principalmente legato all'hackeraggio di account bancari o all'incursione di malintenzionati all'interno delle abitazioni attraverso le telecamere che dovrebbero essere di sicurezza. Pertanto, il lato di cyber security riveste un ruolo di massima importanza a qualsiasi livello, dal personale all'aziendale, e non dovrebbe mai essere sottovalutato.

## Capitolo 2

### Digital Quality

#### 2.1 – Descrizione azienda

La sede di Collegno (TO) della TE Connectivity produce, come accennato nell'introduzione, connettori elettrici di piccola dimensione per il settore appliance, ovvero per elettrodomestici quali frigoriferi, lavatrici, forni ecc. Un esempio di connettore elettrico è riportato in figura 2.1.1.



*Figura 2.1. 1 – Esempio di connettori prodotti*

Il connettore è composto da due unità, una parte che costituisce l'involucro esterno in plastica ed il connettore metallico interno. Il primo ha la funzione di contenere il connettore metallico vero e proprio, a permettere l'aggancio con la futura sede di alloggiamento durante il montaggio e a consentire la realizzazione del cablaggio con i fili di corrente. Il secondo, invece, ha lo scopo di condurre la corrente elettrica

e di permetterne il passaggio dalla linea di tensione all'utilizzatore. Il plant presenta quattro reparti principali, lo Stamping (stampaggio trancia), il Molding (lo stampaggio plastica), il Plating (la galvanica) e l'Assembly (settore di assemblaggio).

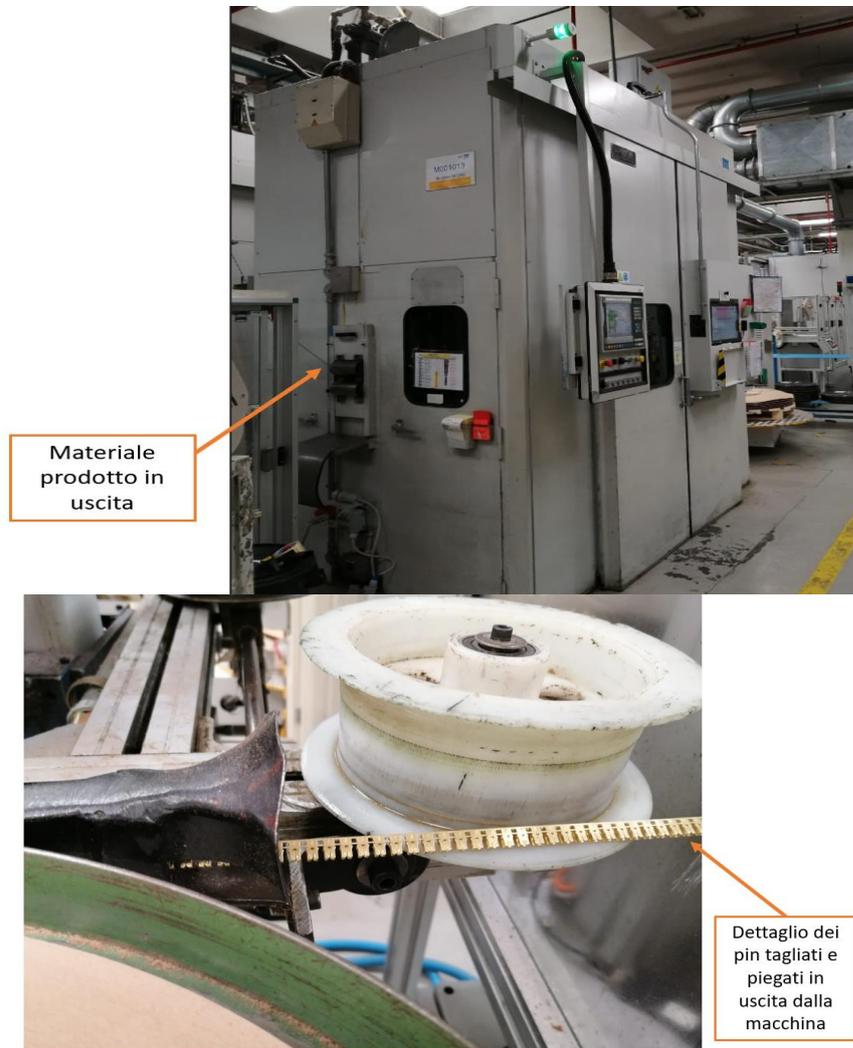
- Stamping: In questo reparto sono presenti le presse di stampaggio che hanno il compito di tagliare e piegare le bandelle di materia prima in modo da ottenere il connettore metallico. La materia prima metallica arriva in forma di bandella arrotolata sopra una grossa bobina, come mostrato nella foto in figura 2.1.2.



*Figura 2.1. 2 – Bandella metallica su pressa reparto Stamping*

Questa viene posizionata in prossimità della pressa che, grazie ad uno svolgitoro e ad un avvolgitoro che fanno scorrere il materiale sotto gli stampi creando i pin metallici. Questi escono dalla macchina sotto forma di catena e vengono nuovamente avvolti attorno ad una seconda bobina. In figura

2.1.3 è riportata una foto di una pressa dello Stamping con il dettaglio dei pezzi prodotti in uscita da essa.



*Figura 2.1. 3 – Pressa reparto Stamping in alto. Dettaglio dei prodotti in basso*

Il prodotto uscente può essere un prodotto finito o ancora grezzo. Nel caso in cui sia un prodotto finito e pronto per essere inviato al reparto Assembly, questo viene arrotolato attorno a delle bobine particolari, di grosse dimensioni, simili a quelle utilizzate per le bandelle di materiale grezzo. In figura 2.1.4 ne è riportato un esempio. Nel caso in cui i pin metallici debbano subire un ulteriore processo di lavorazione, in particolare trattamenti chimici e passare per il reparto Plating, questi vengono avvolte

su apposite bobine comode per il reparto di destinazione. In figura 2.1.5 ne è riportato un esempio.



*Figura 2.1. 4 – Avvolgitore bobina per prodotto finito*



*Figura 2.1. 5 – bobina di connettori metallici*

- Plating: a seconda del tipo di connettore e del tipo di materia prima utilizzata per il connettore metallico, può essere necessaria una ulteriore

lavorazione prima che il prodotto sia pronto per essere assemblato. Per alcune applicazioni è necessario ricorrere ad un trattamento superficiale del metallo di tipo chimico, può essere una zincatura o una cromatura, per esempio, e per eseguire ciò alcuni prodotti uscenti dal processo di Stamping passano per il reparto Plating, dove sono presenti delle grosse macchine con vasche piene di soluzioni di zinco o cromo, all'interno delle quali viene fatto passare il connettore elettrico. Anche in questo reparto sono presenti sulle macchine degli svolgitori per le bobine e degli avvolgitori per ricreare la matassa di prodotto finito. Una volta passati per il Plating i prodotti sono pronti per andare in Assembly.

- **Molding**: questo è il reparto dello stampaggio plastica, anche qui come per lo Stamping, sono presenti delle presse idrauliche, ma questa volta non hanno più il compito di eseguire una tranciatura (taglio del metallo). La materia prima in questo caso arriva sotto forma di materiale solido frantumato che viene introdotto all'interno di grossi silos per lo stoccaggio e successivamente scaldati per permetterne la fusione. Una volta fuso, la plastica viene iniettata ad alta pressione all'interno degli stampi metallici. Una foto di una pressa presente nel reparto Molding è riportata in figura 2.1.6.



Figura 2.1. 6 – Pressa stampaggio plastica reparto Molding

Al termine del processo di stampaggio un braccio robotico provvede alla rimozione delle materozze e dei pezzi finiti. Il processo di stampaggio plastica non necessita di ulteriori eventuali processi di lavorazione, i pezzi prodotti sono pronti per andare in assembly. In figura 2.1.7 è riportata una foto di uno stampo utilizzato sulla macchina in figura 2.1.6.



*Figura 2.1. 7 Stampo chiuso durante l'iniezione del materiale fuso (Sinistra); Stampo aperto con prodotto stampato (destra)*

- Assembly: in questo reparto convergono i flussi di produzione uscenti dallo Stamping e dal Plating con quelli provenienti dal Molding. Delle macchine automatiche provvedono all'assemblaggio dei pezzi in modo da ottenere i connettori finiti e pronti per essere impacchettati e spediti.

L'azienda ha avuto la necessità di avviare un processo di trasformazione digitale riguardante il controllo qualità della produzione. Questo in seguito alla richiesta di alcuni clienti che venisse effettuata una raccolta dati in formato digitale delle verifiche di conformità al fine di garantire una migliore qualità dei prodotti offerti. La TE Connectivity ha colto l'occasione per avviare un progetto, oltre che per la raccolta dati in formato digitale, anche per il controllo stesso del processo produttivo, costituendo un team che si occupasse della trasformazione digitale

dell'impresa in questo senso. A tal fine sono state aperte delle posizioni per partecipare come stagista al lavoro di questo progetto. La parte seguente del presente elaborato ha lo scopo di mostrare cosa è stato fatto, cosa si è ottenuto e quali azioni sono ancora in corso d'opera.

## 2.2 - Digital transformation – Digital Quality

L'inserimento in azienda è avvenuto grazie alla necessità dell'impresa di creare un team di collaboratori che si occupasse dell'implementazione digitale dell'azienda e dell'avvio della trasformazione della stessa in un'industria 4.0. Questa necessità di cambiamento è scaturita dalla richiesta da parte di grossi clienti (quali, per esempio Bosh, Whirlpool, Miele, ecc), che venisse condotta una raccolta dati sul controllo qualità dei componenti prodotti. Al momento il controllo qualità viene condotto in maniera "analogica", ovvero gli addetti alla qualità esaminano manualmente i pezzi da campionare e riportano su schede cartacee i valori controllati sulla base delle specifiche dei disegni dei progettisti. Un modo di operare di questo tipo rende la raccolta dati molto inefficiente in quanto i valori misurati vengono riportati su carta e, grazie anche all'elevata frequenza di controllo e al numero di grandezze da controllare, ciò che si viene a creare è una montagna di fogli che non possono essere analizzati con facilità. Inoltre, le misure rilevate manualmente possono essere anche soggette ad errori imputabili all'operatore, errori di distrazione, per esempio, o di errata lettura della misura o un errore nel riportare la misura letta sulla scheda qualità. Da qui nasce la necessità di avviare un cambiamento ed il primo passo è stato mosso proprio in direzione della qualità, attuando una *digital quality transformation* in modo non solo da poter ottenere una raccolta dati, ma anche di poter analizzare gli stessi e poter identificare prontamente se un processo in corso è in controllo oppure no. Può capitare infatti che durante la produzione di un determinato componente ci siano delle impostazioni della macchina operatrice errate, oppure che ci sia un malfunzionamento della stessa, che genera dei prodotti non conformi alle specifiche di progetto. Con un modus operandi di tipo non digitale, ciò che succede è che l'operatore addetto al controllo qualità, eseguirà un'ispezione sul prodotto e riporterà le grandezze misurate errate sulla scheda qualità. Così facendo non vi è possibilità immediata di notare, misura dopo misura, in maniera tempestiva, una produzione di un ordine non conforme, che comporta perdite in termini di tempo e di materia prima, ovvero, perdite economiche in quanto i pezzi prodotti saranno da scartare. Adottando un controllo qualità digitale invece è possibile far sì che la macchina stessa controlli in autonomia i pezzi che

produce (tramite l'utilizzo di telecamere, per esempio, che rilevano istantaneamente le misurazioni) e di tracciare simultaneamente l'andamento delle grandezze caratteristiche assicurando un controllo continuo. In caso di processo fuori controllo sarà la macchina stessa ad inviare un segnale all'operatore addetto al controllo qualità, al line inspector, o all'operatore di macchina, in base al tipo di errore rilevato, e a fermare la produzione in modo da evitare perdite inutili di materiale.

## 2.3 - SPC – Statistical Process Control

Il modello tradizionale di controllo qualità della produzione viene generalmente eseguito tramite il collaudo dei pezzi prodotti in modo tale da individuare le unità non conformi che non rispettano le specifiche di progetto. Un modello di questo tipo è poco efficiente ed economicamente svantaggioso in quanto la verifica avviene in seguito alla produzione che realizza quindi anche pezzi di scarto ed il danno è già stato fatto. Più conveniente risulta essere il controllo del processo stesso, in quanto evidenziando anomalie o malfunzionamenti in maniera tempestiva è possibile ridurre i costi imputabili allo scarto di produzioni sbagliate, arrestando e correggendo i problemi che sono causa degli errori prima che questi generino difetti. Per fare questo è possibile ricorrere all'utilizzo delle carte di controllo e ad una loro rappresentazione grafica in maniera tale da poter ricorrere a tecniche statistiche per l'analisi di processo. Il primo ad introdurre nel panorama industriale, e a proporre l'utilizzo, è stato Walter Shewhart nel 1924 (Shewhart, 2015)<sup>11</sup>. L'idea di fondo è che nessun processo, in nessun ambito, è in grado di assicurare un'accuratezza ed una ripetibilità perfetta e identica al 100%. Le cause per cui questo non avviene possono essere fondamentalmente di due tipi:

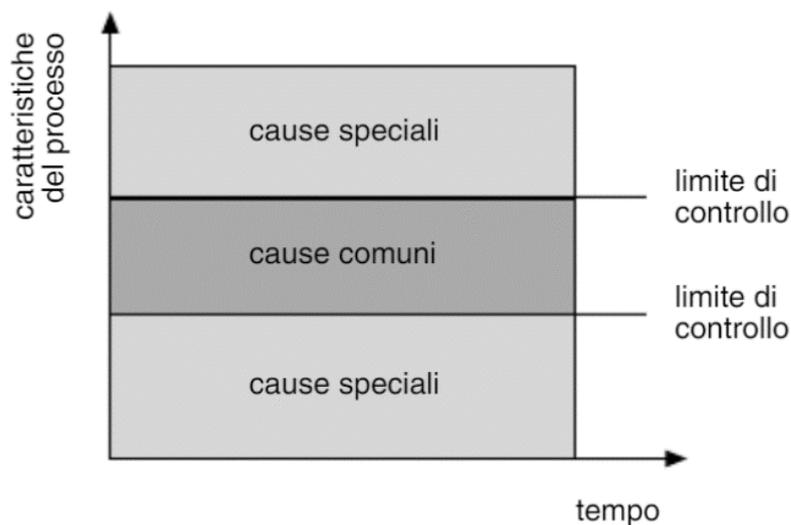
- Cause comuni: queste sono cause proprie del processo produttivo, sono difficilmente individuabili ma la somma dei loro contributi è identificabile e può essere misurata, il loro impatto infatti oscilla fra un massimo ed un minimo. Questi nel corso di una progettazione di un prodotto vengono tenuti in considerazione definendo i limiti di tolleranza ammissibili. Esempi di cause comuni possono essere la disomogeneità della materia grezza utilizzata, le vibrazioni causate dagli organi in movimento di un macchinario o le condizioni ambientali lavorative. L'unico intervento che si può effettuare per ridurre le cause comuni, che appunto sono intrinseche del

---

<sup>11</sup> Walter Shewhart (1891 - 1967), conosciuto da tutti come il padre del controllo statistico della qualità, è diventato famoso, oltre che per essere stato il maestro di Deming, per aver sviluppato le sue conoscenze nel campo della statistica e per aver elaborato la teoria delle cause comuni e di quelle speciali di varianza. Nel suo libro "Economic control of quality of manufactured product" descrive i principi base del controllo statistico di processo.

processo, è quello di investire per apportare significative ed impattanti modifiche al processo produttivo, per esempio sostituire i macchinari.

- Cause speciali: sono quelle che determinano una variabilità del processo non desiderata o anomala rispetto al naturale processo di svolgimento del processo. Queste sono definite come cause identificabili e possono essere attribuite per esempio all'usura di utensili, errori umani da parte degli operatori, procedure non eseguite correttamente ecc. Queste sono le cause di variabilità che si vogliono osservare e cercare il più possibile di eliminarle.



*Figura 2.3. 1 – cause comuni e speciali -  
www.managementacademy.it*

Le carte di controllo sono utilizzate per raccogliere dati relativi alle ispezioni di tipo dimensionale e visivo su campioni prelevati dalla linea produttiva in modo da poterli confrontare con i limiti di tolleranza (o di specificazione) riportati sui disegni tecnici di progetto. L'SPC si basa sull'analisi di questi dati fornendo una panoramica ed una previsione statistica del processo in funzione dei limiti di controllo. Un processo, in cui sia presente esclusivamente una variabilità naturale, può essere descritto da una distribuzione normale dei dati.

Definendo  $\mu$  la media delle misure effettuate e  $\sigma$  la deviazione standard:

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

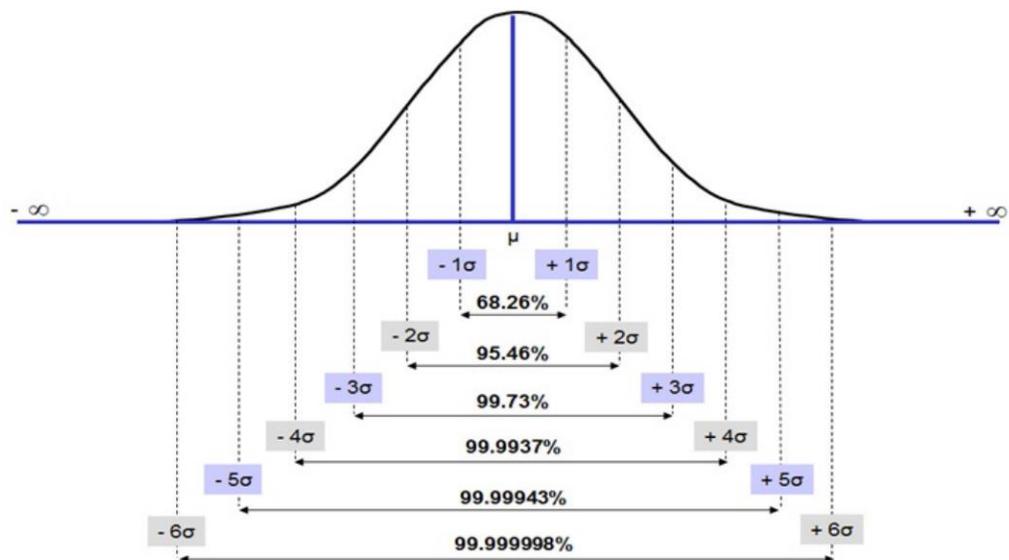


Figura 2.3. 2 – Distribuzione normale di una popolazione di dati (International Six Sigma Institute)

È possibile affermare che:

- Nel campo  $2\sigma$ , delimitato quindi inferiormente da  $\mu - \sigma$  e superiormente da  $\mu + \sigma$ , ricade il 68.26% della popolazione misurata.
- Nel campo  $4\sigma$ , delimitato quindi inferiormente da  $\mu - 2\sigma$  e superiormente da  $\mu + 2\sigma$ , ricade il 95.46% della popolazione misurata.
- Nel campo  $6\sigma$ , delimitato quindi inferiormente da  $\mu - 3\sigma$  e superiormente da  $\mu + 3\sigma$ , ricade il 99.73% della popolazione misurata.
- Nel campo  $8\sigma$ , delimitato quindi inferiormente da  $\mu - 4\sigma$  e superiormente da  $\mu + 4\sigma$ , ricade il 99.9937% della popolazione misurata.

- Nel campo  $10\sigma$ , delimitato quindi inferiormente da  $\mu - 5\sigma$  e superiormente da  $\mu + 5\sigma$ , ricade il 99.99943% della popolazione misurata.
- Nel campo  $12\sigma$ , delimitato quindi inferiormente da  $\mu - 6\sigma$  e superiormente da  $\mu + 6\sigma$ , ricade il 99.999998% della popolazione misurata.

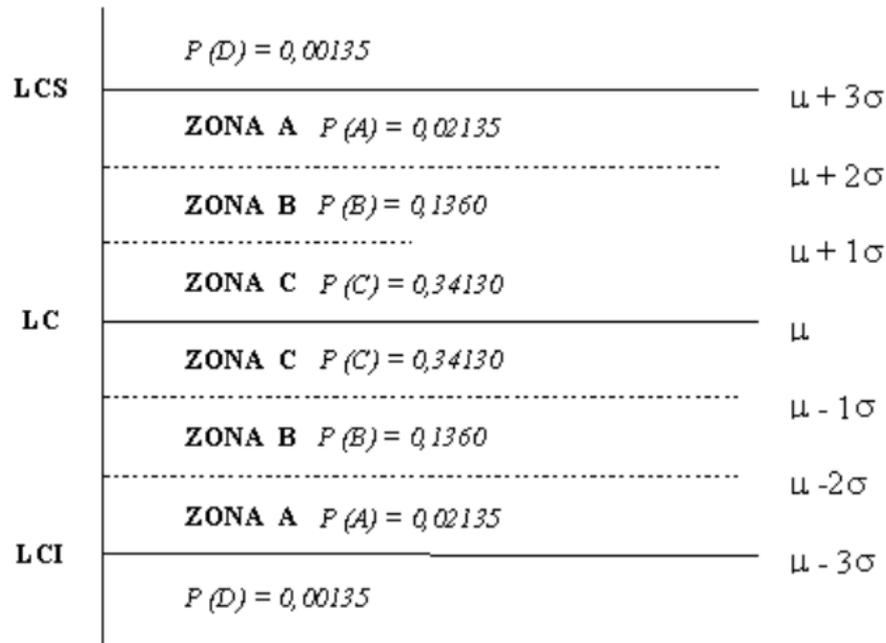


Figura 2.3. 3 – probabilità che i punti ricadano nelle diverse zone – [www.qualityi.it](http://www.qualityi.it)

Generalmente, nei processi produttivi in cui si vuole garantire un'ottima qualità di prodotto controllando il processo produttivo, si adopera una metodologia a sei deviazioni standard ( $\pm 3\sigma$ ), assicurando statisticamente così un quantitativo di prodotti conformi alle specifiche del 99.73%, oppure si può dire che vi è la probabilità che lo 0.27% dei prodotti realizzati cadano al di fuori dei limiti di controllo. Come riportato in figura 2.3.3, per lo studio statistico di processo vengono definiti tre tipi di limiti, l'LC, ovvero il limite centrale pari al valore della media  $\mu$ , l' $LCI = \mu - k\sigma$ , cioè il limite di controllo inferiore, e l' $LCS = \mu + k\sigma$ , ovvero il limite di controllo superiore. Il valore  $k$  può assumere valore  $\pm 1$ ,  $\pm 2$  e  $\pm 3$  (quest'ultimo come detto definisce i limiti di controllo) ed è possibile distinguere quattro zone sulla base dello studio delle proprietà della densità di probabilità di una gaussiana:

- Zona A compresa fra  $\mu \pm 2\sigma$  e  $\mu \pm 3\sigma$ : la probabilità che un punto ricada in quest'area è pari a  $P(A) = 2 * 0.0213 = 0.0426$
- Zona B compresa fra  $\mu \pm 1\sigma$  e  $\mu \pm 2\sigma$ : la probabilità che un punto ricada in quest'area è pari a  $P(B) = 2 * 0.1360 = 0.2720$
- Zona C compresa fra  $\mu$  e  $\mu \pm \sigma$ : la probabilità che un punto ricada in quest'area è pari a  $P(C) = 2 * 0.34130 = 0.6826$
- Zona D compresa fra LCI/LCS  $\pm \infty$ : la probabilità che un punto ricada in quest'area, cioè al di fuori dei limiti, è pari a  $P(D) = 2 * 0.00135 = 0.00270$

Calcolando la somma delle probabilità associate alle zone A, B e C si ottiene:

$$P_{tot} = P(A) + P(B) + P(C) = 0.0426 + 0.2720 + 0.6826 = 0.9973$$

Che rappresenta appunto la garanzia statistica che si riportava ad inizio pagina del 99.73% di ottenere prodotti entro i limiti. È importante notare che affermare ciò non implica necessariamente che lo 0.27% dei prodotti sia fuori tolleranza di progetto, in quanto i limiti di controllo non coincidono assolutamente con i limiti di specificazione. Dire che una misura è fuori dai limiti di controllo significa affermare che il processo stesso è fuori controllo e alle normali cause comuni di processo sono subentrate anche delle cause speciali, pertanto è necessario avviare un processo d'indagine per capire il motivo di tale variabilità ed intervenire in maniera tale da eliminare la sorgente del problema. In determinati campi produttivi, un controllo del tipo sei sigma può non essere sufficiente, per esempio in campo medico o aeronautico possono essere adottati sistemi anche ad  $8 - 10\sigma$ . Esistono diversi tipi di carte di controllo che vanno utilizzate in base alla modalità di raccolta dei dati, infatti è possibile fondamentalmente eseguire un controllo qualità di due tipi:

- Programmando  $m$  prelievi ad intervalli di tempo regolari con un numero prefissato di campioni  $n$ . Vengono cioè prelevati dei lotti di quantità fisse di pezzi prodotti in maniera consecutiva.

- Programmando il prelievo di un singolo campione da analizzare, è possibile considerarlo come un lotto con  $n = 1$ .

Nel primo caso vengono utilizzate in accoppiata le carte di controllo chiamate *X medio – R* e *X medio – S*. Le prime utilizzano come grandezze per il calcolo dei limiti di controllo il range R di scarto di ogni campione, inteso come differenza fra la misura massima e minima del campione stesso, e la media dei range dei diversi campioni  $\bar{R}$ . Le seconde, invece, utilizzano lo scarto esistente fra i diversi range calcolati per i diversi gruppi di campioni.

Il secondo tipo di carte di controllo, come detto, viene utilizzato per analizzare un processo utilizzando un singolo componente come campione, questo può essere necessario nel caso in cui le prove da eseguire per il controllo siano di tipo distruttivo, se i tempi di produzione dei pezzi sono particolarmente lunghe o se per esempio le misurazioni vengono eseguite tramite l'uso di telecamere per la rilevazione di grandezze su ogni singolo componente prodotto. In questi casi vengono utilizzate le carte chiamate *Carte X per individui* e le *X moving range*. La prima calcola i valori di controllo in funzione della media delle misure effettuate mentre la seconda calcola la variazione mobile come indice di dispersione, ovvero calcola il valore assoluto della differenza fra due misure consecutive.

### 2.3.1 - Carte X medio – R

Per la compilazione di questo tipo di carte di si procede nel seguente modo:

- Si definisce il numero di campioni  $n$  da prelevare per ogni lotto di ispezione  $m$
- Si calcola la media  $\bar{x}_i$  per ogni lotto  $m$  ed il range  $R_i$ .

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$R_i = x_{imax} - x_{imin}$$

- Si calcolano i limiti centrali per la carta x medio e la carta R, la prima è rappresentata dalla media delle medie delle  $x$  misurate nei vari lotti  $m$ , la seconda è la media dei range di scarto dei diversi lotti.

$$LC_x = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m}$$

$$LC_R = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

- Si calcolano i limiti di controllo superiori e inferiori sia per la carta X che per la carta R, che dovrebbero essere rispettivamente  $LCS_x/LCI_x = LC_x + 3\sigma_x$  e  $LCS_R/LCI_R = LC_R + 3\sigma_R$ . Per quanto riguarda il calcolo della  $\sigma_x$  per  $n$  non troppo elevati (indicativamente al di sotto di 5) si può utilizzare la formula della deviazione standard, se invece il numero  $n$  è elevato (fra 5 e 10) si ricorre ad una stima della deviazione standard di processo  $\bar{\sigma}$  e successivamente, applicando il teorema del limite centrale, si ricava  $\sigma_x$ :

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cong \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{\bar{R}}{d_2 \cdot \sqrt{n}}$$

Dove  $d_2$  è un parametro tabulato funzione di  $n$ , figura 2.3.4.

Campione $n$	Carta $\bar{x}$			Carta $S$						Carta $R$						
	Fattori per i limiti			Fattori per il centro		Fattori per i limiti				Fattori per il centro		Fattori per i limiti				
	$A$	$A_2$	$A_3$	$c_4$	$1/c_4$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$d_2$	$1/d_2$	$d_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
2	2.121	1.881	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.687	0	3.269
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.357	0	2.574
4	1.5	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.88	0	4.699	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.94	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0509	0.03	1.97	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0424	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.205	5.203	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.0362	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.82	0.387	5.307	0.136	1.864
9	1	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.97	0.3367	0.808	0.546	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0253	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.023	0.354	1.646	0.346	1.61	3.258	0.3069	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716
13	0.832	0.249	0.85	0.9794	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.77	1.026	5.646	0.308	1.692
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.762	1.121	5.693	0.329	1.671
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.288	0.755	1.207	5.737	0.348	1.652
16	0.75	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.44	1.526	3.532	0.2831	0.749	1.285	5.779	0.364	1.636
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.743	1.359	5.817	0.379	1.621
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.64	0.2747	0.738	1.426	5.854	0.392	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.014	0.497	1.503	0.49	1.483	3.689	0.2711	0.733	1.49	5.888	0.404	1.596
20	0.671	0.18	0.68	0.9869	1.0132	0.51	1.49	0.504	1.47	3.735	0.2677	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.606	5.95	0.425	1.575
22	0.64	0.167	0.647	0.9882	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.72	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.71	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548
25	0.6	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.42	3.931	0.2544	0.709	1.804	6.058	0.459	1.541

Per  $n \geq 25$ :  $A = \frac{3}{\sqrt{n}}$ ,  $A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$ ,  $c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$ ,  $B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$ ,  $B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$ ,  $B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$ ,  $B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$ .

Figura 2.3. 4 – coefficienti per il calcolo dei limiti delle carte di controllo - (Montgomery, 2000)

Pertanto, si ottiene:

$$\begin{cases} LCS_x = LC_x + 3\sigma_x = LC_x + 3 \frac{\bar{R}}{d_s \cdot \sqrt{n}} = LC_x + A_2 \cdot \bar{R} \\ LCI_x = LC_x - 3\sigma_x = LC_x - 3 \frac{\bar{R}}{d_s \cdot \sqrt{n}} = LC_x - A_2 \cdot \bar{R} \end{cases}$$

Essendo  $A_2$  funzione di  $d_2$ , anche lei è costante e funzione di  $n$ . I valori sono riportati nella tabella in figura 2.3.4.

Il calcolo di  $LCS_R/LCI_R$  è analogo:

$$\sigma_R = \bar{\sigma} \cdot d_3 = \frac{\bar{R}}{d_2} \cdot d_3$$

$$\begin{cases} LCS_R = \bar{R} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} d_3 = \bar{R} \cdot \left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2}\right) = \bar{R} \cdot D_4 \\ LCI_R = \bar{R} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2} d_3 = \bar{R} \cdot \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right) = \bar{R} \cdot D_3 \end{cases}$$

Anche i valori  $D_4$  e  $D_3$  sono tabulati.

- I limiti così calcolati vanno disegnati sulle carte di controllo e se vengono rilevati dei punti di fuori controllo allora è necessario risalire all'errore o al problema che lo causa.

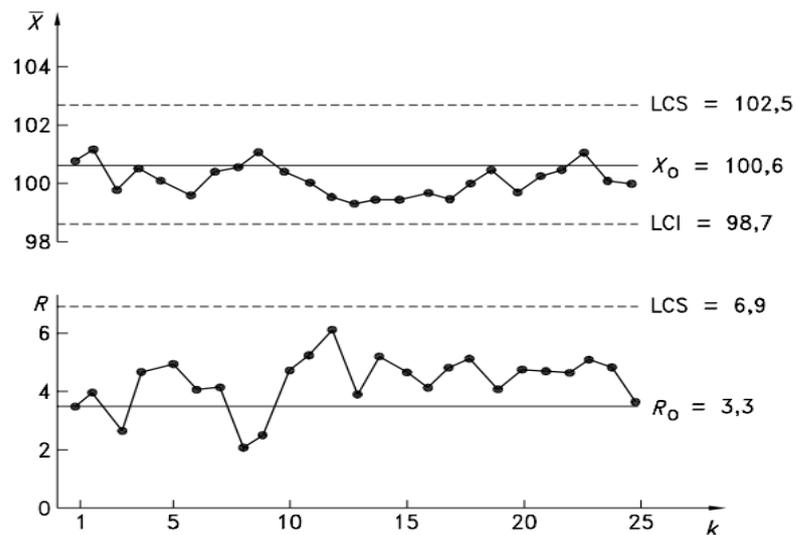


Figura 2.3. 5 – esempio di carta di controllo  $X - R$  – norma tecnica: UNI ISO 8258:2004 (Metodi statistici per la gestione dei PR, 2004)

### 2.3.2 - Carte X medio – S

Quando il numero dei componenti dei campioni risulta particolarmente elevato, approssimativamente  $n > 10$ , allora le carte di controllo realizzate tramite l'utilizzo del range perdono di efficacia e di accuratezza e, pertanto, si preferisce utilizzare le carte X medio – s che tengono conto della deviazione standard della popolazione del campione. Questo perché se  $n$  è troppo grande, ed essendo il range definito come la differenza fra il valore massimo ed il valore minimo della popolazione, tutte le informazioni derivanti dai valori intermedi vengono ignorate. Di seguito viene riportata una tabella, figura 2.3.6, con i valori di efficienza relativa delle carte R in relazione alla dimensione del campione.

<b><math>n</math></b>	<b>Efficienza relativa</b>
2	1.000
3	0.992
4	0.975
5	0.955
6	0.930
10	0.850

*Figura 2.3. 6 – efficienza al crescere del numero di campioni  $n$*

Per il calcolo di  $\sigma$  di un campione viene utilizzata una formulazione leggermente modificata rispetto a quella mostrata in precedenza che prende il nome di varianza campionaria. Questo viene fatto perché calcolare la deviazione standard su un campione della popolazione, e non sulla popolazione completa, implica un errore concettuale se lo si pone alla  $\sigma$  della popolazione intera. Andando a considerarne solo una parte, questa mostrerà una dispersione minore rispetto a quella della popolazione intera in quanto presenta ovviamente una probabilità di rientrare nell'intorno del valor medio inferiore, meno campioni acquisisco e meno concentrato sarò sul valor medio del totale. Pertanto, il denominatore della deviazione standard normale viene modificato sostituendo ad  $n$  il valore  $n - 1$ , in modo tale da riallineare il valore della deviazione standard del campione a quello della popolazione intera.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Se la distribuzione oggetto di studio è normale, allora  $s$  stima il valore della deviazione standard della popolazione pari ad un fattore  $c_4$ , funzione sempre del numero  $n$  del campione e tabulato.

$$s = c_4 \sigma$$

Come per le carte R, anche per le carte S è necessario calcolare la media delle varianze campionarie e la deviazione standard delle deviazioni dei singoli campioni  $\sigma_s$ .

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}$$

$$\sigma_s = \bar{\sigma} \sqrt{1 - c_4^2} = \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

Pertanto, per il calcolo del limite centrale:

$$CL = s$$

$$\begin{cases} UCS_s = \bar{s} + 3\sigma_s = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = \bar{s} \cdot \left( 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \right) = \bar{s} \cdot B_4 \\ LCS_s = \bar{s} - 3\sigma_s = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = \bar{s} \cdot \left( 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \right) = \bar{s} \cdot B_3 \end{cases}$$

### 2.3.3 - Carte per l'Individual and Moving Range Chart

Come detto, quando l'analisi di processo prevede il rilievo delle misurazioni su singoli campioni, è opportuno utilizzare le carte individuali e quelle per il calcolo del range di scostamento delle misure fra un punto di ispezione ed il successivo. Lo scostamento fra le misure viene calcolato come:

$$MR_i = |x_{i+1} - x_i|$$

Per creare la carta di controllo si procede calcolando il limite centrale  $LC_{MR}$ :

$$LC_{MR} = \overline{MR} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} MR_i}{m-1}$$

Essendo che alla prima misura non è possibile calcolare la differenza  $MR$  è ovvio che i punti che si possono misurare sono  $m-1$  che quindi troviamo al denominatore per il calcolo del limite centrale.

Per il calcolo dei limiti superiori e inferiori valgono le stesse assunzioni fatte per le carte  $X-R$ .

$$\begin{cases} LCS_{MR} = LC_{MR} \cdot D_4 \\ LCI_{MR} = LC_{MR} \cdot D_3 \end{cases}$$

Dove  $D_4$  e  $D_3$  vengono sempre ricavati da tabella e valgono, per  $n = 2$ , essendo considerate due misure consecutive, rispettivamente 3.267 e 0. Anche per quanto riguarda l'Individual Chart, il procedimento per il calcolo dei limiti di controllo è simile alle altre carte, assumendo  $\sigma_x = \frac{\overline{MR}}{d_2}$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} LC_X = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \\ LCS_x = LC_X + 3 \cdot \sigma_x = \bar{x} + 3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2} \\ LCI_x = LC_X - 3 \cdot \sigma_x = \bar{x} - 3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2} \end{array} \right.$$

### 2.3.4 - Indici di capacità del processo

Le carte di controllo sono un ottimo strumento per il controllo della stabilità di processo, infatti media delle misure, deviazioni standard e coefficienti correttivi sono strumenti molto potenti ed efficaci, però bisogna prestare attenzione a non dimenticarsi di considerare i limiti imposti dalle specifiche di progetto quali valore nominale e limiti di tolleranza. Infatti, un processo produttivo può essere definito sotto controllo, ovvero non vi sono cause apparenti specifiche che interferiscono. Questo però non basta, perché può essere che il mio processo produttivo, per quanto stabile sia, non sia in grado di rispettare le strette tolleranze imposte, può succedere che i limiti di controllo siano maggiori dei limiti di specificazione. Per aiutare i manager a capire se il proprio sistema produttivo sia in grado di sostenere la produzione viene utilizzato un indicatore chiamato  $c_p$ , questo parametro, adimensionale, mette in relazione l'ampiezza del campo di tolleranza con quello di controllo. Questo parametro viene definito come segue:

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Con  $USL$  e  $LSL$  rispettivamente il limite superiore e inferiore di specifica. Possono verificarsi tre casi fondamentalmente, come riportato in figura 2.3.7.

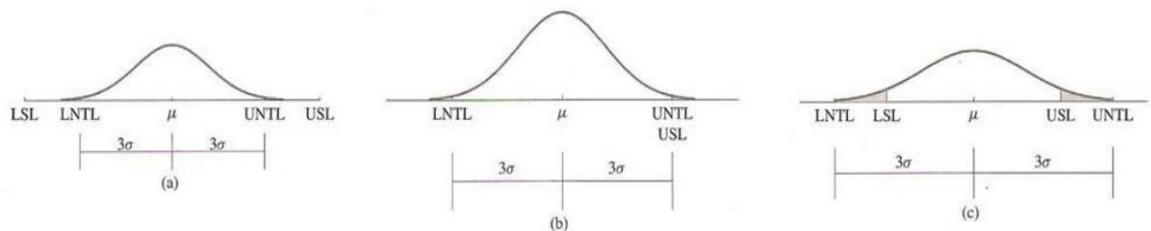


Figura 2.3. 7 – diversi tipologie di  $c_p$

- a)  $c_p > 1$ : Il campo di esistenza dei limiti di controllo è maggiore di quello di specifica, quindi è molto probabile che pochi pezzi di scarto siano prodotti.

- b)  $c_p = 1$ : I campi di esistenza coincidono, se il processo ha una distribuzione normale, lo 0.27% dei pezzi prodotti statisticamente sarà scarto che, se espresso in ppm (parti per milione di pezzi) corrisponde a 2700.
- c)  $c_p < 1$ : Il processo ha un campo di esistenza maggiore, ciò significa che non è in grado di soddisfare le esigenze di progetto, non è adatto, la maggior parte dei pezzi prodotti sarà scarto. L'unico modo che si ha per ovviare a questo problema è cambiare completamente processo.

L'indice  $c_p$  da solo però non è molto significativo a meno che non si assuma che il processo abbia una distribuzione normale e che sia soprattutto centrato, cioè la media  $\mu$  coincide con il valore nominale di progetto. In caso contrario, la distribuzione potrà anche essere distribuita in maniera ottimale attorno al valor medio, ma se questo è spostato verso un limite, superiore o inferiore che sia, il processo produttivo non è buono. In questo caso è utile tenere conto dell'indice  $c_{pk}$ , che fornisce un'indicazione riguardo alla centratura della distribuzione. Esso è calcolato come:

$$c_{pk} = \min \left[ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right] = (1 - k) \cdot c_p$$

Come mostrato in figura 2.3.8, un processo con un  $c_p$  di circa uno, che presenta uno scostamento di  $\mu$  (valor medio) di  $1.5 \sigma$  dal valore nominale di specifica, comporta un aumento del numero di scarti fino a 66803 ppm. In questo caso il minimo valore fra le distanze di  $\mu$  dai limiti è pari a  $1.5 \sigma / 3\sigma = 0.5$  (Mitcalc, s. d.)<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> <https://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis1d/help/en/tolanalysis1d.txt.htm>

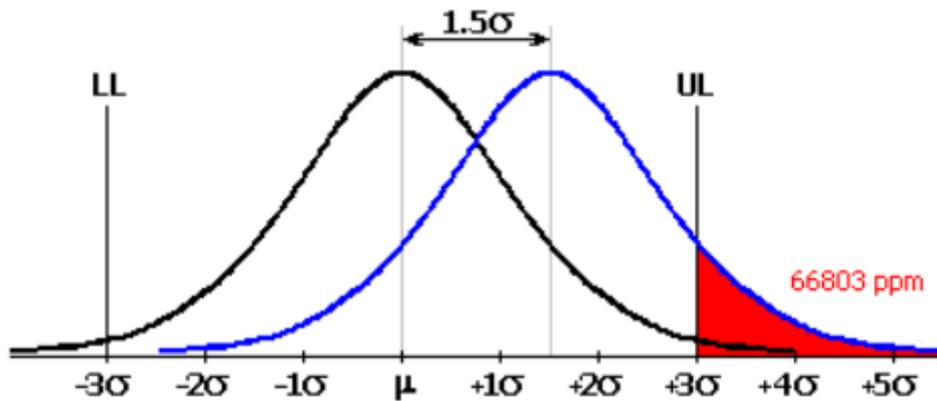


Figura 2.3. 8 – Influenza di uno scostamento di  $\mu$  di  $1.5\sigma$  dal valore nominale - (Mitcalc, s.d.)

Anche per il coefficiente  $c_{pk}$  possiamo definire una serie di condizioni:

- $c_{pk} > 1$ : il processo è buono. I limiti di controllo sono interni ai limiti di tolleranza. Anche un piccolo fuori controllo può essere accettato.
- $c_{pk} = 1$ : si è al limite, il processo è buono ma basta poco per andare fuori controllo. I limiti di controllo coincidono con i limiti di tolleranza.
- $0 < c_{pk} < 1$ : Si lavorano molti pezzi di scarto.
- $c_{pk} = 0$ :  $\mu$  si trova su un limite di tolleranza, statisticamente quindi il 50% dei pezzi prodotti è scarto.
- $-1 < c_{pk} < 0$ : Più del 50% dei pezzi prodotti è scarto.
- $c_{pk} < -1$ : la quasi totalità dei pezzi prodotti è scarto.

## 2.4 - MES – Manufactory Execution System

Come descritto nel paragrafo 1.2.4, attraverso un software MES è possibile controllare ed osservare da remoto lo stato della produzione in corso all'interno dell'officina. Le macchine operatrici sono collegate tramite la rete privata aziendale e ne è possibile osservare lo stato tramite dei terminali video collocati in reparto o a bordo macchina, ai quali è possibile accedere anche da remoto tramite pc collegato alla VPN (Virtual private network). Tramite questi è possibile ottenere una panoramica della produzione e lo stato di una macchina, ovvero se questa sta lavorando oppure è ferma, cosa sta producendo, quanto ha prodotto, quanto ha scartato e quanto ha ancora da produrre. Nel caso sia ferma è possibile conoscere la motivazione per la quale non sta producendo, per esempio può essere terminata la materia prima, può esserci un guasto elettrico o meccanico ecc. Il software MES utilizzato in azienda è Hydra<sup>13</sup>. La gestione dei terminali associati alle macchine è gestito dall'applicativo interno al MES chiamato MOC, ovvero il Manufacturing Operations Center, all'interno del quale è inserita la lista di tutte le macchine presenti sul plant e i terminali ai quali queste sono collegate. Un esempio ne è riportato in figura 2.4.1.

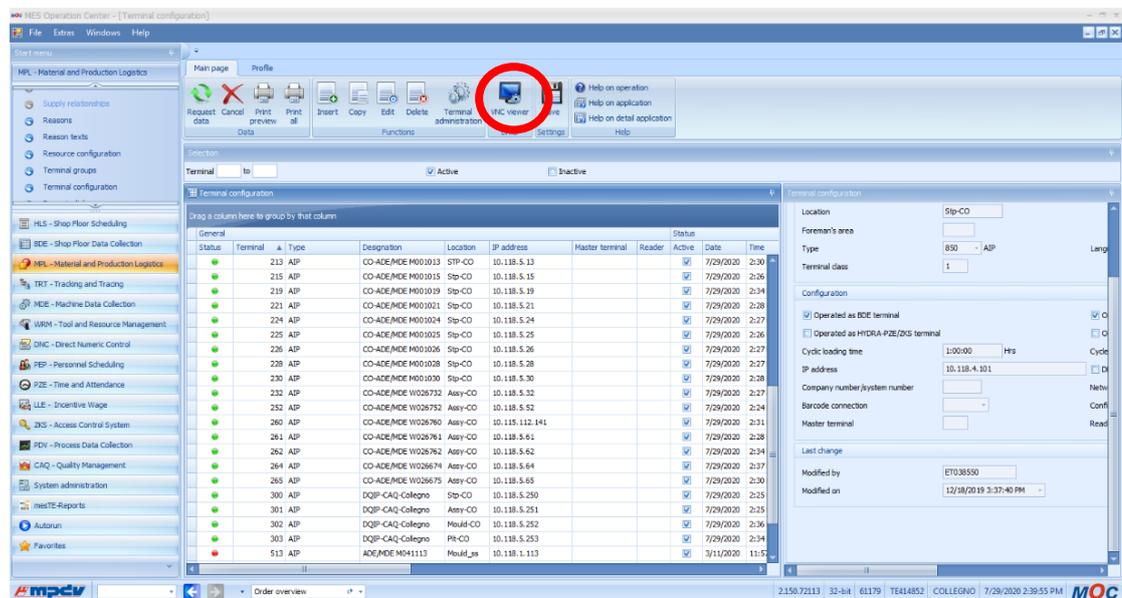


Figura 2.4.1 – schermata Hydra, elenco terminali video delle macchine presenti sul plant

<sup>13</sup> Hydra è un software MES prodotto e distribuito dalla società tedesca MPDV, specializzata nella realizzazione di programmi per la gestione digitale della produzione aziendale.

Nello screenshot riportato in figura 2.4.1 si può notare che è presente un bottone colorato che identifica lo stato della macchina, ovvero se questa è in lavorazione (verde) oppure no (rosso), il numero del terminale alla quale questa è collegata, il suo codice identificativo nella colonna *Designation*, la locazione, ovvero in quale reparto si trova (stamping, moldin, plating o assembly), e l'indirizzo IP del terminale. Selezionando uno qualsiasi dei terminali è possibile accedere alla videata riassuntiva della macchina che viene mostrata in reparto a bordo macchina, come riportato nella figura 2.4.2, utilizzando il tasto VNC viewer, cerchiato in rosso nella figura 2.4.1.

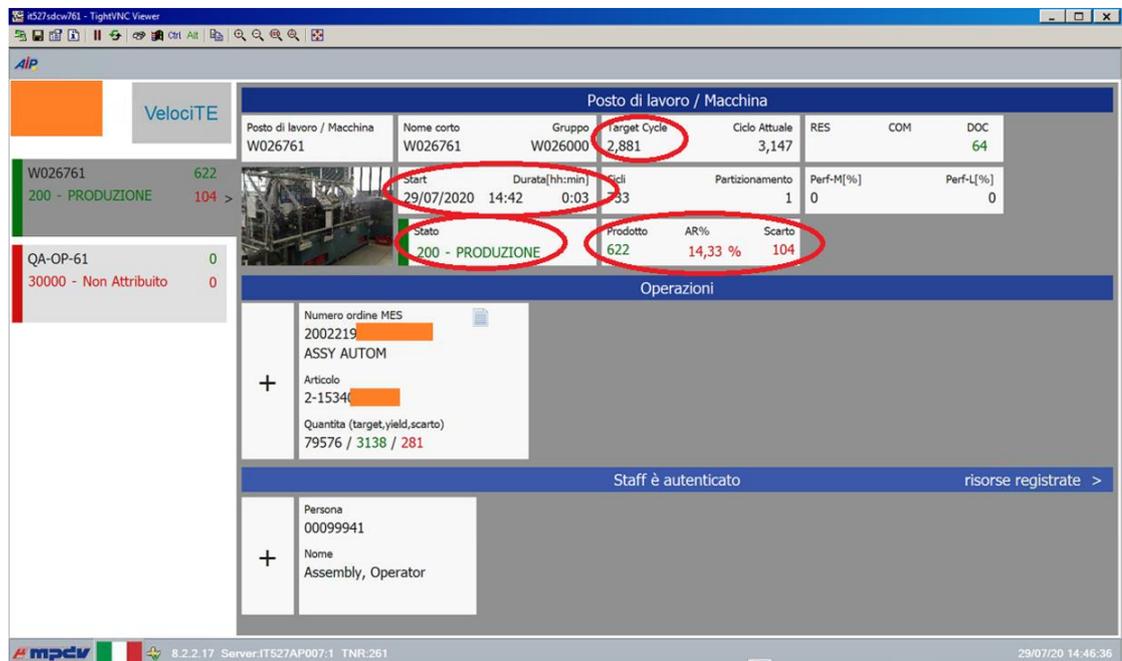
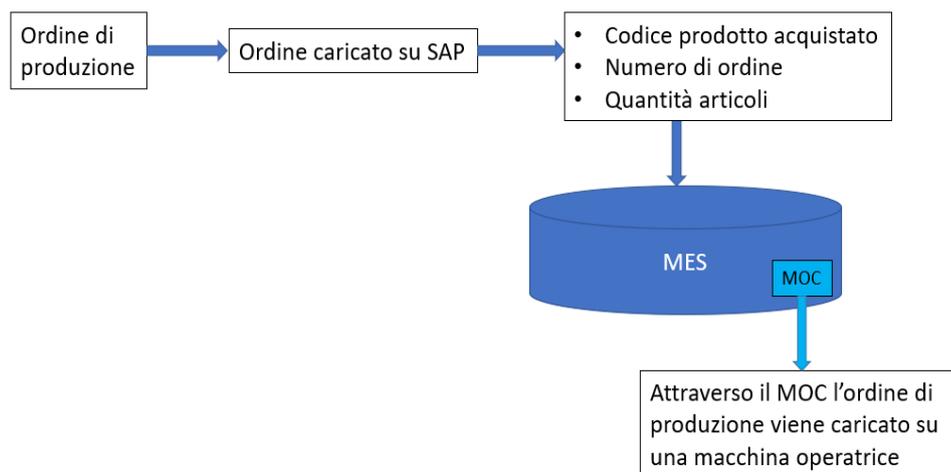


Figura 2.4. 2 – Videata a bordo macchina tramite applicazione MES

Da questa schermata si può tenere sotto controllo lo stato della macchina, la si può bloccare in caso di guasto, la si può avviare nel caso sia stata bloccata, si può tenere d'occhio quanto tempo manca alla fine della produzione dell'ordine in corso in modo da poter pianificare al meglio la lavorazione successiva cercando di ridurre al minimo i tempi di fermo.



*Figura 2.4. 3 – Diagramma riportante il flusso delle informazioni, a partire dall'acquisizione degli ordini fino al caricamento delle macchine operatrici presenti sul plant*

Quando un ordine di acquisto viene registrato sul sistema ERP, nel nostro caso SAP, questo viene caratterizzato da:

- Un codice attribuitogli per identificarlo, chiamato FO (factory order);
- Il codice del prodotto acquistato dal cliente;
- Il numero della quantità dei prodotti acquistati.

Questi dati vengono caricati nel sistema MES e l'addetto alla gestione degli ordini decide su quale macchina caricare la lavorazione, in base alle macchine libere o quelle che stanno per terminare la lavorazione in corso, effettuando così un'accurata ed efficiente pianificazione della produzione. Andando infatti ad eseguire delle ricerche su MOC, per esempio è possibile cercare un FO in particolare e sapere così su quale macchina è in corso, quando è iniziata la lavorazione e quanto manca. Nel caso dell'ordine riportato in figura 2.4.4 si osserva che è associato un numero di operazione 0020, questo è il codice che identifica il processo di lavorazione in macchina, la quantità target da produrre è 120000 e quella target, circa 99000. Pertanto, si può capire in questo modo che la produzione su questa macchina è quasi ultimata e si può procedere alla pianificazione della successiva. È possibile

effettuare la ricerca anche per codice articolo, ottenendo così l'elenco delle macchine sulle quali è in corso la produzione di quello specifico prodotto, oppure filtrare tramite il numero di macchina per sapere cosa sta producendo un determinato macchinario.

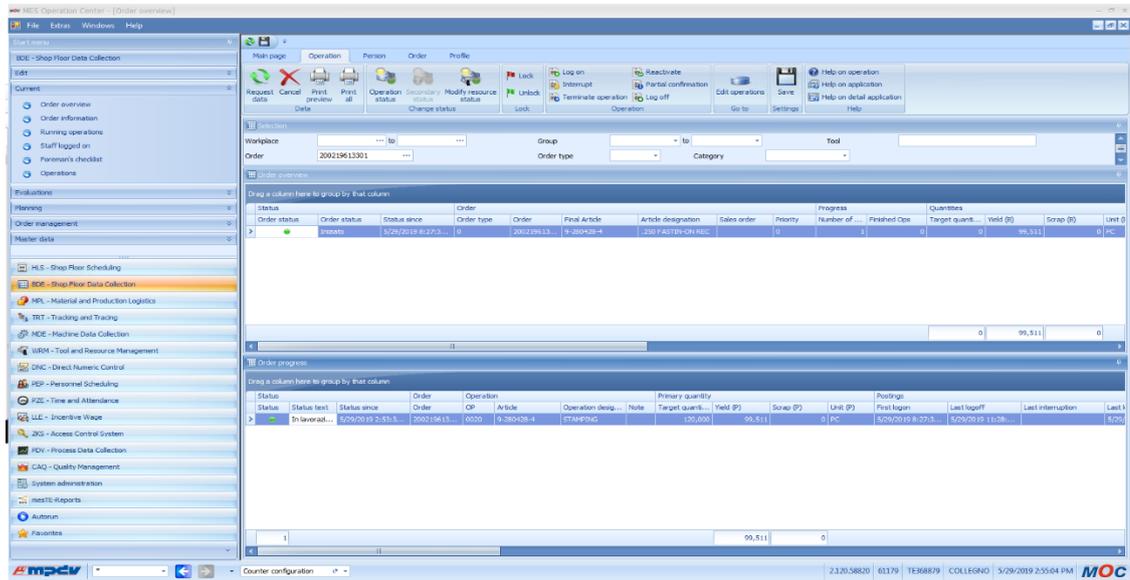


Figura 2.4. 4 – Schermata riassuntiva delle operazioni di un generico ordine di produzione.

Andare ad effettuare una ricerca tramite codice articolo può essere comodo nella pianificazione della produzione in quanto se presenti due ordini di acquisto differenti dello stesso prodotto, questi possono essere messi in coda l'uno all'altro sulla stessa macchina in modo da eliminare i tempi di attesa che nascerebbero per i cambi dei settaggi delle macchine se gli FO venissero caricati su presse diverse che stanno utilizzando stampi per altri connettori.

## 2.5 - QIP – Quality Inspection Plan

Il controllo della produzione e della qualità viene eseguito tramite l'utilizzo di schede cartacee, chiamate carte di benessere e di autocontrollo. Queste sono appunto divise in due parti:

- una parte riguardante il benessere: prima dell'avvio di una produzione per un lotto, per esempio nel reparto stampaggio plastica, in cui sono impiegate delle presse ad iniezione, dopo aver montato gli stampi occorrenti, la macchina viene azionata e viene prodotto un pezzo di test. Su questo vengono misurate le grandezze relative alle caratteristiche di progetto e le si confronta con quelle target. Se le grandezze rilevate coincidono con i limiti di tolleranza imposti, allora viene appunto rilasciato il benessere alla produzione e questa può essere avviata.
- La seconda sezione per l'autocontrollo: viene redatto un piano di ispezione qualità, il QIP – Quality Inspection Plan, in cui viene pianificato durante la produzione, ad intervalli regolari di tempo, in base al tipo di prodotto e di lavorazione, le ispezioni di qualità da eseguire, ovvero vengono prelevati dei campioni dal lotto prodotto e viene eseguita una rilevazione dimensionale del pezzo. Le grandezze misurate vengono riportate sulla tabella e si tiene così sotto controllo l'andamento della produzione controllando il rispetto delle specifiche imposte dai progettisti e la presenza o meno di variabilità di tipo speciale, come trattato nel paragrafo 2.3 riguardante la descrizione dell'SPC.

In figura 2.5.1 viene riportato un esempio utilizzato di carta di controllo. Una metodologia di questo tipo implica l'impiego di molto tempo da parte del personale addetto a tali compiti, in quanto l'osservazione del rispetto delle specifiche di progettazione è molto importante ai fini di un buon livello qualitativo della produzione, pertanto deve essere eseguito in maniera accurata e precisa, non può e non deve essere condotto in maniera superficiale e sbrigativa con il pericolo di errore e di scartare interi lotti realizzati o peggio, di inviare scarto ai clienti.

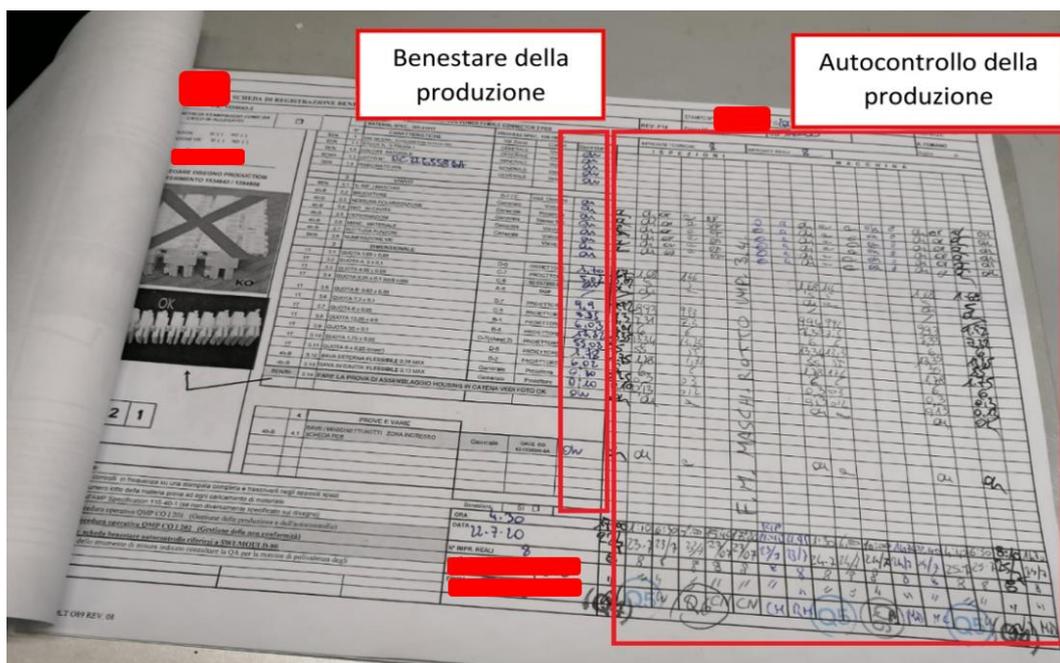


Figura 2.5. 1 – Esempio di scheda di autocontrollo e benessere

Uno step successivo alla compilazione delle schede di controllo dovrebbe essere quello di riportare su grafici i valori misurati in funzione del tempo, in modo da avere un supporto visivo dell'andamento della produzione. Per ogni grandezza misurata dovrebbe essere realizzato un grafico, pertanto, è facilmente intuibile che in caso di grosse produzioni, in cui contemporaneamente vengono realizzati molti tipi differenti di prodotti, e per i quali ognuno richiede, come si vede nell'esempio di carta di controllo riportata in figura 2.5.1, svariate decine di misurazioni, è veramente difficile utilizzare questo approccio. Inoltre, anche dove fosse possibile realizzare il tutto, tenere tutto sotto controllo non solo sarebbe difficoltoso, ma non sarebbe tempestivo. Nel tempo impiegato per eseguire tutto il controllo qualità, dalla misurazione alla rilevazione di errori o difetti, grosse quantità di articoli potrebbero essere già state prodotte e quindi destinate allo scarto. Pertanto, quello che effettivamente viene realizzato, è un controllo manuale cartaceo delle ispezioni qualità, il cui unico scopo risulta essere quello di documentare che effettivamente le ispezioni di qualità sono state fatte, redigere la documentazione necessaria da allegare al lotto da spedire al cliente e, in caso di non conformità, scartare il tutto, con conseguenti ingenti sprechi economici. In seno a quanto detto fino ad ora, la

tecnologia e la digitalizzazione sono le uniche armi che possono venire in soccorso per ottimizzare il processo di controllo qualità rendendo appunto il *Quality Inspection Plan* un *digital Quality Inspection Plan*.

## 2.6- dQIP – digital Quality Inspection Plan

Rendere digitale il processo di controllo qualità significa avere l'obiettivo di eliminare definitivamente la carta e non raccogliere più in formato "analogico" i dati, ma inserirli all'interno di un data base in modo da poterli analizzare ed ottenere informazioni da essi sullo stato della produzione e dei prodotti realizzati. Inoltre, l'acquisizione dati in formato digitale permetterà un'analisi in tempo reale, condotta da un calcolatore, favorendo così tempestivi interventi correttivi al fine di evitare inutili sprechi. In figura 2.6.1 è riportato uno schema della road map da seguire per arrivare alla completa digitalizzazione del processo.

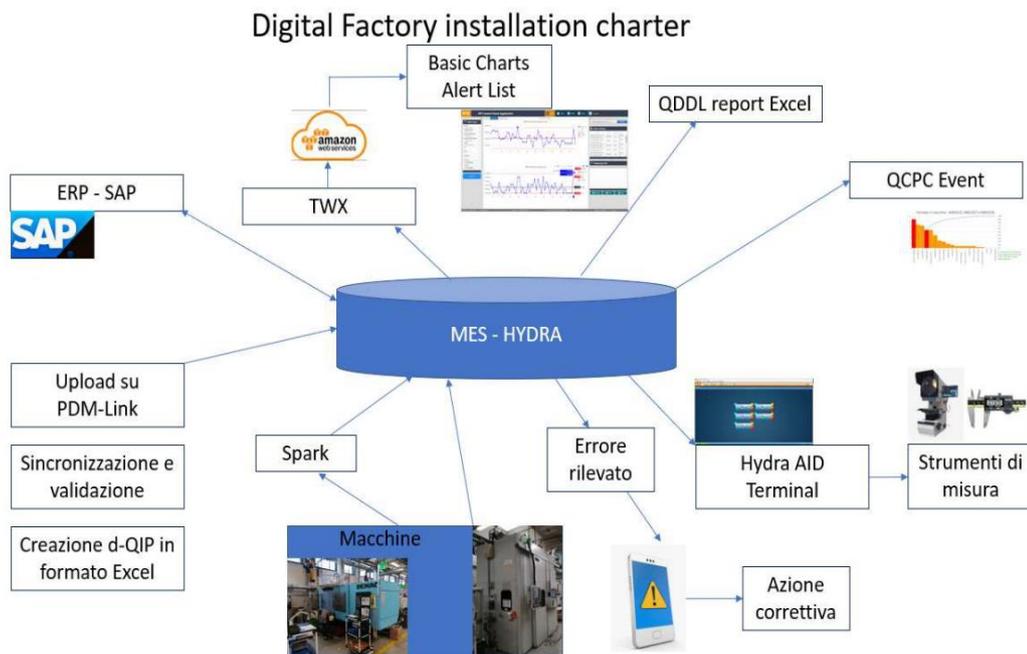
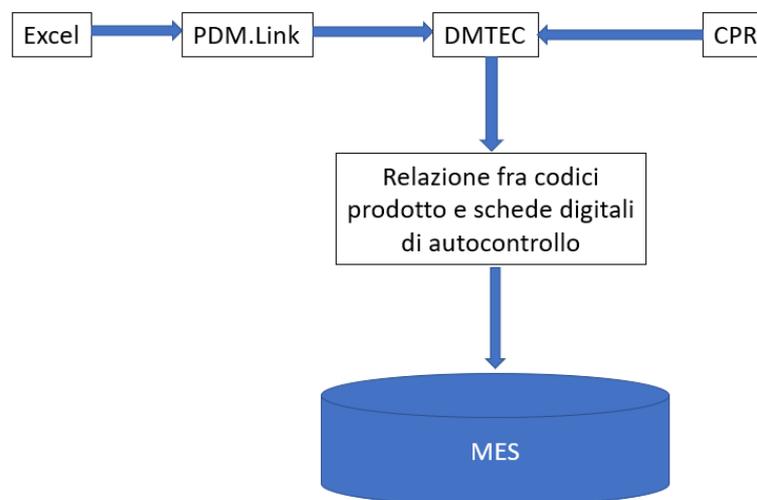


Figura 2.6. 1 – Digital Factory Installation Charter, schema della configurazione del sistema

Per potere eliminare la carta dal controllo di qualità è necessario utilizzare dei dispositivi di interfaccia uomo macchina, ovvero degli schermi o tablet, installati a bordo macchina o nelle postazioni adibite alle ispezioni, in modo tale che l'operatore sia in grado di caricare agevolmente i dati sul sistema. Sui dispositivi verranno generate automaticamente le richieste di ispezione da dover eseguire sui

campioni sulla base dei parametri impostati nelle schede di controllo digitali realizzate su Excel. Il primo passo da muovere è appunto quello di digitalizzare le schede cartacee di autocontrollo e benestare, per fare ciò queste devono essere trascritte in formato Excel e poi trasformate in linguaggio macchina. La traduzione avviene tramite il caricamento del file .xls sul server PDM.link-approval, che svolge il compito di acquisire i valori trascritti in determinati campi del documento, segnalare eventuali errori di compilazione e successivamente associarli al codice prodotto a cui ci si sta riferendo. Il secondo step è quello di creare una relazione fra la documentazione esistente caricata sul sistema interno dell'azienda (disegni tecnici, relazioni, ecc) CPR e PDM. Link, in modo tale che, quando un ordine di produzione viene caricato su una macchina, con il relativo codice prodotto, l'applicativo MES, tramite i suoi link con la documentazione tecnica è in grado di risalire alla scheda digitale di autocontrollo. Per fare questo è stato utilizzato un secondo applicativo, DMTEC.



*Figura 2.6. 2 – Schema di realizzazione, approvazione e caricamento delle schede digitali di controllo*

Verrà di seguito illustrata la modalità utilizzata per creare i file Excel. Questi documenti sono composti da sei fogli:

- 1\_Header

Revision	Date	Description	Changed By
A	20/05/2020	Initial Release	
B	28/07/2020	QIIP revision	TE414852

Figura 2.6. 3 – Screenshot del foglio Header

Questa è la scheda di intestazione, in cui viene riportata una panoramica del prodotto a cui questa si riferisce. Ogni prodotto è caratterizzato da un *base number* e da *diversi part number*. Il primo identifica la famiglia del pezzo, il secondo la configurazione poiché uno stesso prodotto può essere realizzato in colori diversi e con piccole modifiche che lo differenziano dagli altri. Pertanto, nell'*header* viene riportato il base ed i part number, la descrizione del prodotto, il codice identificativo del plant, il numero di badge del tecnico che ha compilato la scheda ed una tabella con riportato l'elenco delle modifiche e degli aggiornamenti che sono stati apportati alla scheda. In questo modo è possibile identificare univocamente il pezzo, chi ha fatto cosa, dove è stato fatto e quando è stato fatto.

- 2\_Event

Event	Description	Event Notes	Sample QTY	Sample Type	Frequency	Interval Type	Inspector	Inspection Type	Process Area	Tool	Workcenter	Operation
1 E1	(Verify): 1 Check(s) / 1 Start of Order(s) : ST @ Molding	Visual	1	Check(s)	1	Start of Order(s)	ST	Verify	Molding			
2 E2	(Measure): 1 Set(s) / 1 Start of Order(s) : ST @ Molding	Dimensional	1	Set(s)	1	Start of Order(s)	ST	Measure	Molding			
3 E3	(Verify): 1 Set(s) / 1 Start of Shift(s) : IN @ Molding	Visual	1	Set(s)	1	Start of Shift(s)	IN	Verify	Molding			
4 E4	(Measure): 1 Check(s) / 1 Start of Shift(s) : IN @ Molding	Dimensional	1	Check(s)	1	Start of Shift(s)	IN	Measure	Molding			

Figura 2.6. 4 – Screenshot del foglio Event

Nella seconda scheda vengono invece definiti i tipi di ispezione qualità che possono essere generati e questi vengono numerati. Come è stato scritto durante la descrizione del *quality inspection plan*, nelle schede di controllo sono riportate le grandezze e le caratteristiche che devono essere misurate, queste



- 4\_Pictures

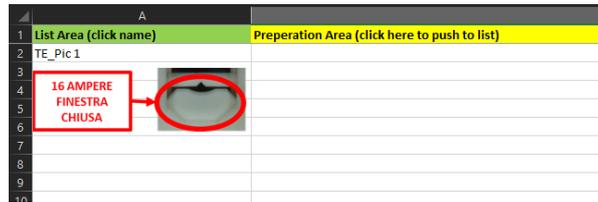


Figura 2.6. 6 – Screenshot del foglio Details table

In questa scheda vengono caricate delle immagini che possono essere prese dai disegni tecnici per mostrare la quota da misurare, possono essere delle foto del pezzo per mostrare per esempio come deve essere posizionato il pezzo in fase di test oppure possono riportare degli esempi di pezzi non conformi. Queste verranno mostrate a video durante l’operazione di controllo qualità, sempre per agevolare il più possibile il lavoro degli addetti ed aiutarli nel loro lavoro. Ad ogni immagine viene attribuito un tag, in modo da poter essere richiamata nella scheda master.

- 5\_Master

Order	Group	Plan ID	Sub-Operation	P	Standard	Feature Name	Type	Dimension	Base Symbol	Param	Min	Max	Lower Tolerance	Upper Tolerance	Action Link	Image Link	Equipment	Tool	Material	Operator	Notes	Area Tag	Lib	Order ID	
1	LEC1	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			1	1
2	LEC2	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			1	1
3	LEC3	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			1	1
4	LEC4	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	RILV. MATERIAL. PARECCHIELE	Visual	1							1	Visual					MATERIAL SPEC. 800-4078-ADDENDUM --- PROCESS SPEC. GLOW WIRE TB-19071 - Colibri Nazionale			1	1
5	LEC5	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Canovella Stagno	Visual	1							1	Visual					Controllo presenza catovella a sezione materiale			3	1
6	LEC6	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Controllo SIDA/ESTERNA	Previsione	2	mm						1	Previsione					Controllo SIDA/ESTERNA - Previsione			4	1
7	LEC7	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Controllo SIDA/RCASTA	Previsione	2	mm		0	0	0,30		1	Previsione					Controllo SIDA/RCASTA - Previsione			4	1
8	LEC8	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Quota -1,20 +/- 0,2	Previsione	2	mm		3,2	-0,2	0		1	Calibro					RZ Zona B-7 - Calibro			4	1
9	LEC9	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Quota -2 +/- 0,2	Previsione	2	mm		3	0	0,2		1	Previsione					RZ Zona B-8 - Previsione			4	1
10	LEC10	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Quota -3 +/- 0,05	Previsione	2	mm		3	-0,05	0,2		1	Previsione					RZ Zona B-7/Foglio 21 - Previsione			4	1
11	LEC11	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Quota -24 +/- 0,1	Previsione	2	mm		24	-0,1	0		1	Previsione					RZ Zona B-2 - Previsione			2	1
12	LEC12	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			4	1
13	LEC13	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			4	1
14	LEC14	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			4	1
15	LEC15	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	QUOTA "Y" (base sup tag)	Previsione	2	mm		19,95	-0,1	0,05		1	Calibro					RZ Zona C-6/Foglio 21 - Calibro			4	1
16	LEC16	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			4	1
17	LEC17	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			4	1
18	LEC18	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			4	1
19	LEC19	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	QUOTA "Y" (base tag)	Previsione	2	mm		19,95	-0,1	0		1	Calibro					RZ Zona B-6/Foglio 21 - Calibro			4	1
20	LEC20	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
21	LEC21	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
22	LEC22	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
23	LEC23	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Quota "Y"	Previsione	2	mm		19	-0,1	0,1		1	Calibro					RZ Zona D-6/Foglio 21 - Calibro			2	1
24	LEC24	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
25	LEC25	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
26	LEC26	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1	Quota -5 +/- 0,1 Passat	Previsione	2	mm		5	-0,1	0,1		1	Previsione					RZ Zona E-6/Foglio 21 - Previsione			2	1
27	LEC27	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
28	LEC28	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1
29	LEC29	RECIPROCO	RECIPROCO	1	1																			2	1

Figura 2.6. 7 – Screenshot del foglio Master

Nella scheda Master vengono create le relazioni fra i fogli compilati. Per ogni part number viene attribuita la lista delle ispezioni da eseguire con il link alla pagina dettagli, viene attribuito uno o più numeri di evento creati nella scheda event ed un link tramite tag con le immagini, se presenti. Nella cella A1 è presente un bottone “validate”, questo serve per effettuare il check del file.

Schiacciandolo viene eseguita una macro che controlla che tutti i link siano stati realizzati in maniera corretta, in caso di errore esso si colorerà di rosso, in caso invece sia tutto giusto, verde.

- 6\_Sincornizzazione

	A	B	C	D	E	F	G
1	Plan ID (sort)	Event (sort)	Part (sort)	Feature ID (sort)	Details Places	Place List (,)	Synchronize
2	UID1	1	3-1	V0101	1		
3	UID2	1	3-2	V0201	1		
4	UID3	1	3-3	V0301	1		
5	UID4	1	3-4	V0401	1		
6	UID26	2	3-1	M0103	1		
7	UID27	2	3-1	M0104	1		
8	UID28	2	3-1	M0105	1		
9	UID20	2	3-2	M0203	1		
10	UID23	2	3-2	M0204	1		
11	UID21	2	3-3	M0303	1		
12	UID24	2	3-3	M0304	1		
13	UID22	2	3-4	M0403	1		
14	UID25	2	3-4	M0404	1		
15	UID11	2	63	M06	1		
16	UID5	3	63	V01	1		
17	UID6	4	63	M01	1		
18	UID12	4	3-1	M0101	1		
19	UID16	4	3-1	M0102	1		
20	UID7	4	63	M02	1		
21	UID13	4	3-2	M0201	1		
22	UID17	4	3-2	M0202	1		
23	UID8	4	63	M03	1		
24	UID14	4	3-3	M0301	1		
25	UID18	4	3-3	M0302	1		
26	UID9	4	63	M04	1		
27	UID15	4	3-4	M0401	1		
28	UID19	4	3-4	M0402	1		
29	UID10	4	63	M05	1		

Figura 2.6. 8 – Screenshot del foglio Sincronizzazione

Come detto, per ogni part number è stata creata una lista di ispezione da eseguire. Essendo che molte delle misurazioni da eseguire sono comuni per prodotti diversi, per garantire l'univocità delle azioni in relazione all'part che si sta analizzando, per ogni riga creata nel foglio details table, viene generato un feature ID, ovvero un codice identificativo dell'azione relativa a quel singolo prodotto. Anche in questo caso è presente un bottone per il lancio di una macro per il controllo della corretta compilazione della scheda, nel caso vengano rilevati degli errori, la casella G1 si colorerà di rosso, in caso invece non venisse rilevato alcun conflitto, verde.

Questo è il procedimento da eseguire per la compilazione dei file Excel per ogni singolo *base number* presente nel catalogo dell'azienda. Una volta completata la realizzazione della scheda, questa può essere caricata e convertita su PDMLink, creando così una libreria digitale di documenti. Una volta caricati, i documenti necessitano di un'approvazione da parte del responsabile del reparto qualità per

controllare la conformità della scheda digitale con la scheda originale cartacea. Man mano che le schede vengono aggiornate, modificate o rielaborate, queste vengono ricaricate e riapprovate, su PDMLink viene tenuta traccia di chi ha apportato le modifiche, da chi è stata caricata la nuova versione e chi l'ha approvata, questo sempre per avere una tracciabilità dei processi.

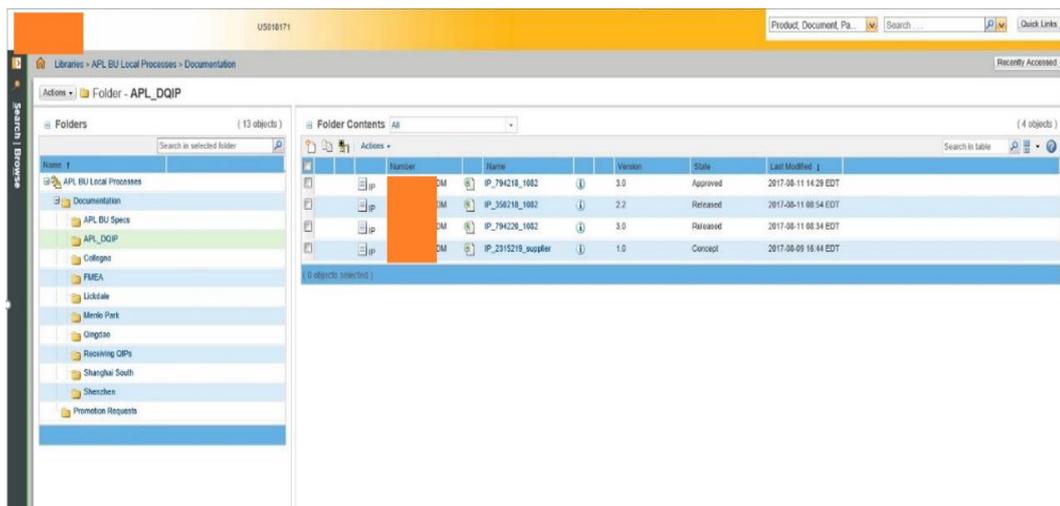


Figura 2.6. 9 – libreria schede dQIP su PDMLink

Una volta che le schede sono state corrette, caricate e approvate, si procede alla correlazione fra la libreria digitale delle schede qualità e CPR, appunto il database della documentazione dei prodotti con cui comunica SAP, il sistema EPR per la gestione degli ordini di produzione.

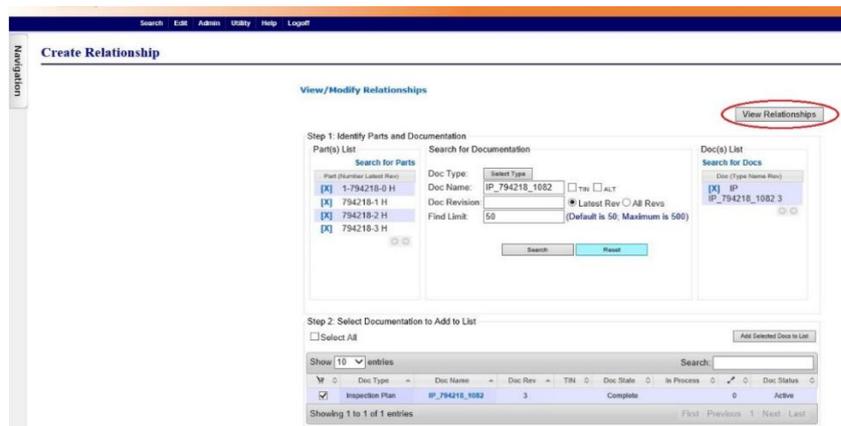


Figura 2.6. 10 – Creazione del link fra dQIP e documentazione relativa PN

È ora possibile mettere tutto in comunicazione, SAP gestisce gli ordini di produzione e tramite il MES questi vengono trasmessi alle macchine operatrici in reparto. In base al codice prodotto è possibile risalire alla scheda di qualità corrispondente che verrà caricata sul terminale a bordo macchina tramite la rete internet.

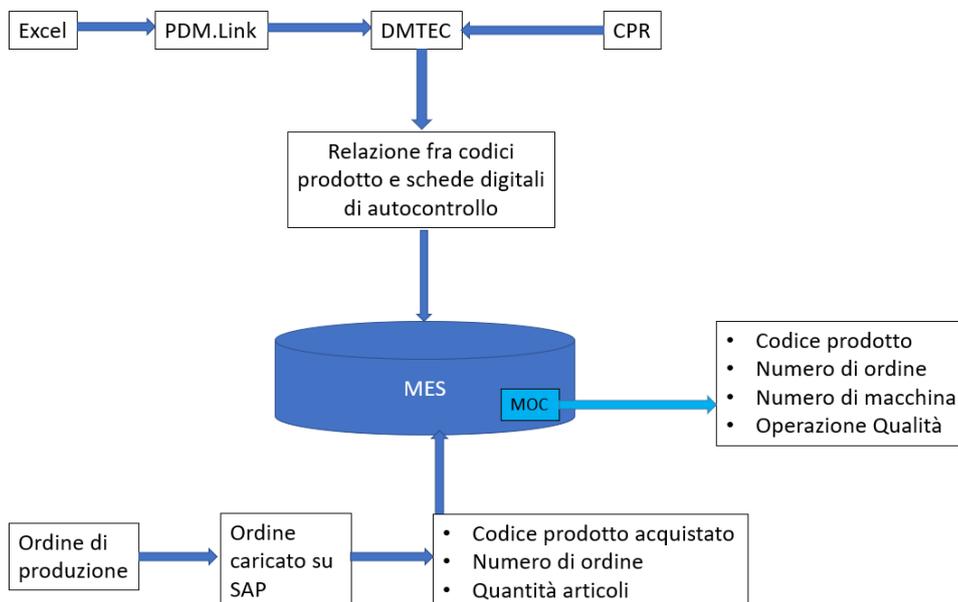


Figura 2.6. 11 – Diagramma completo dell'upload in rete delle schede digitali di benessere e autocontrollo

Sul terminale video di reparto o di quello a bordo macchina, figura 2.4.2, sono stati aggiunti dei bottoni riguardanti la qualità e l'analisi dati, come mostrato nella figura 2.6.12.

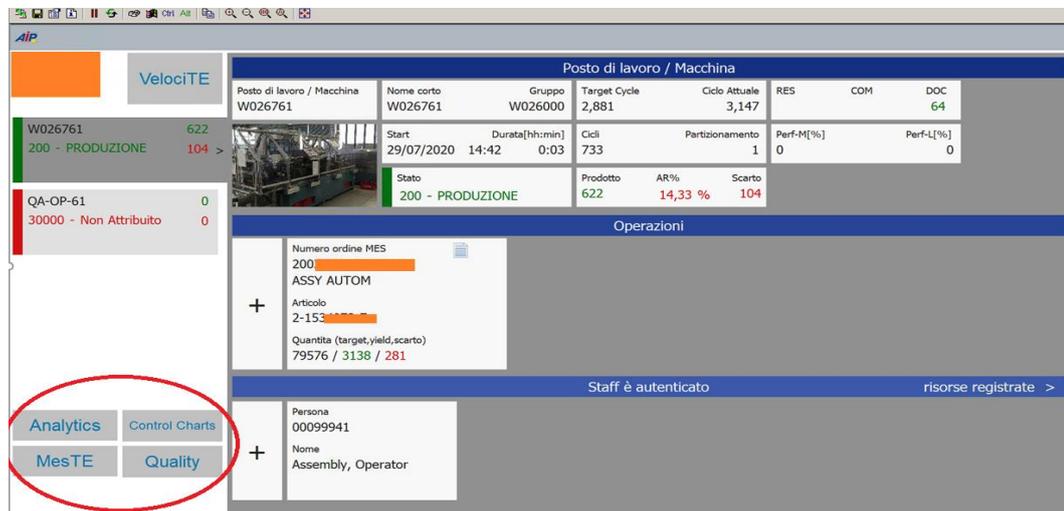


Figura 2.6. 12 – Schermata aggiornata del terminale a bordo macchina

Andando a premere il rettangolo Quality, si aprirà la sezione per il caricamento dei dati rilevati dal controllo qualità. La schermata a cui si accede è riportata in figura 2.6.13.

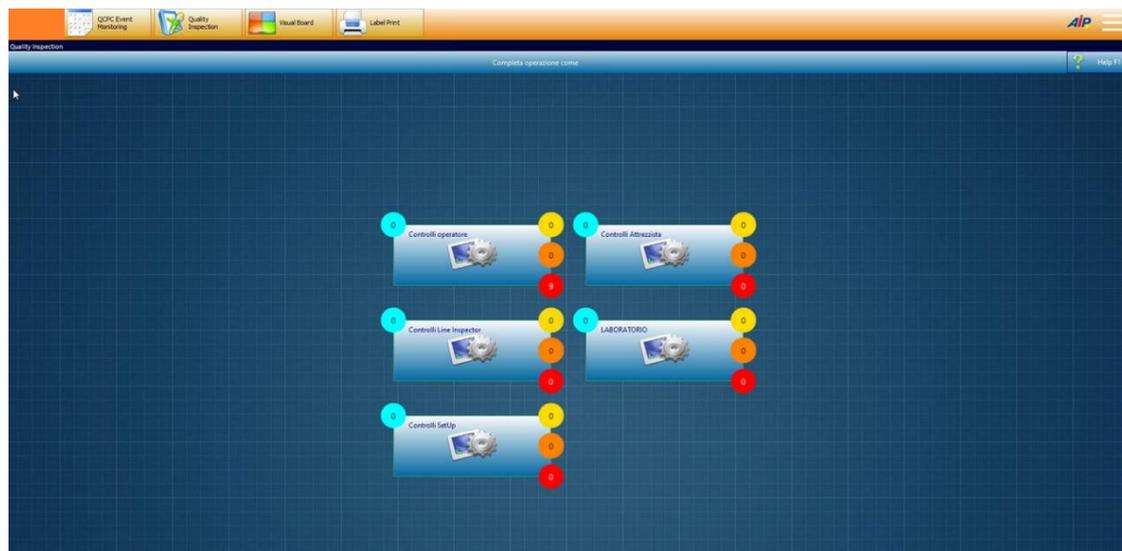


Figura 2.6. 13 – Schermata per l'inserimento dati del controllo qualità



In questo caso sono le ispezioni richieste per il LI. Ogni riga fa riferimento ad una macchina specifica collegata, nell'esempio le macchine 47, 28, 29, 14, 46, 18 e 19, ognuna delle quali tratta uno specifico FO ed un particolare Part Number. Il sistema MES incrociando i dati risale alle schede dQIP e genera, con la frequenza impostata in fase di realizzazione, le ispezioni di misura. Andando ad aprire le diverse linee appartenenti alle macchine compare l'elenco delle ispezioni da eseguire con la data e l'ora di generazione. Nel caso della figura 2.6.14 la frequenza è ogni otto ore ad inizio del turno di lavoro. In altri casi, tipo nel reparto assembly, la frequenza di acquisizione è variabile e funzione del numero di pezzi prodotti, un esempio è riportato in figura 2.6.15.

Macchina in produzione	Part Number	Numero ordine	Descrizione Op.	Stampo in produzione	Puntini di Ispezione Incompleti	Part Description	Insp plan nr	Doc Revision
W026760	15	2002	Controllo operatore		9	MULTIFIT MK2...	481	A

Data / Ora	Ispezione da completare da (minuti)	Campione/impronta	Motivo ispezione	Tipo di ispezione	Stato punto di ispezione	Print Result
27/07/2020 17:50	2685	1	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
27/07/2020 23:14	2361	2	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
28/07/2020 04:59	2016	3	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
28/07/2020 14:53	1422	4	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
28/07/2020 19:50	1125	5	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
29/07/2020 00:17	858	6	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
29/07/2020 04:47	588	7	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
29/07/2020 09:29	306	8	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result
29/07/2020 14:23	12	9	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result

Figura 2.6. 15 – Richiesta ispezioni generate su una macchina del reparto Assembly

Ogni punto di ispezione è composto da una serie di richieste di misurazione, sempre funzione della struttura che gli si è data durante la realizzazione delle schede digitali. Per esempio, aprendo i punti della figura 2.6.15 si arriva alla schermata mostrata in figura 2.6.16.

Macchina in produzione	Part Number	Numero ordine	Descrizione Op.	Stampo in produzione	Punti di Ispezione Incompleti	Part Description	Insp plan nr	Doc Revision
W026760	153	2002219	Controllo operatore		9	MULTIFIT MK2...	481	A
Data / Ora	Ispezione da completare da (minuti)	Campione/impronta	Motivo ispezione	Tipo di ispezione	Stato punto di ispezione	Print Result		
27/07/2020 17:50	2685	1	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result		
Metodo	Descrizione ispezione		Metodo Ispezione	Risultato ispezione	Notes	Show Chart		
	Simmetria contatto -A- Proiettore (RIF.: B3-4), Simmetria contatto -A-		Projector			Show Chart		
	Piantaggio Comparatore (RIF.: D8), Piantaggio		Comparator			Show Chart		
27/07/2020 23:14	2361	2	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result		
28/07/2020 04:59	2016	3	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result		
28/07/2020 14:53	1472	4	Tempo	Caratteristica	Aperto	Print Result		

Figura 2.6. 16 – Elenco delle misurazioni da eseguire per ogni richiesta di ispezione

Ogni ispezione in questo esempio comprende due misurazioni, una per la misura della simmetria del contatto ed una per il piantaggio. In altri reparti, e per altri part number, la quantità di elementi da controllare possono essere maggiori, arrivando anche fino a dieci quindici. L'operatore, andando ad aprire il punto di misura da eseguire, si troverà di fronte alla schermata riportata in figura 2.6.17, qui compariranno le descrizioni e le istruzioni, nonché i valori nominali e le tolleranze di progetto, che sono state trascritte nel file Excel. L'operatore dovrà rilevare la misurazione sul pezzo e salvare la misura, anziché riportarla sul foglio di carta.

Quality Inspection

Salva Annulla Ispezione di qualità - Variabile - Controlli operatore Help F1

Macchina	Part Number	Part Description	Ordine	Descrizione Op.	Stampo
W026762	1534073-2	MULTIFIT MK2 ASSY2P	200220945571	Controllo Scatola - Operatore	

Commento

Caratteristiche Dimensional Check CONTROLLO OGNI SCATOLA - PROIETTORE Rif zona B3-

Sample Size 1 Cavities 0

Test Equipments Dimensionale

Mean Value 0.0000 LTL 0.0000 UTL 0.2000 UOM mm

Description Dimensional Check CONTROLLO OGNI SCATOLA - PROIETTORE Rif zona B3-4, Simmetria contatto rispetto -A-

Current Results

Numero campione/impronta	Risultato del campione/impro...	Comment
1	0	

SPC CHART

Figura 2.6. 17 – Dettaglio della misura da ispezionare che si troverà davanti l'operatore

Così facendo, le misure inserite vengono salvate e queste vengono immagazzinate all'interno del database del sistema MES per essere poi utilizzate per l'analisi di processo. In figura 2.6.18 viene riportato un esempio di report di utilizzo delle dQIP durante la fase di test del sistema in cui gli operatori impegnati nella prova non hanno inserito tutti i dati richiesti.

T	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Inspection Pla	Order Numbr	Part Numbr	Insp	Insp Characteristic Descr	High Pla	High Toll	High Con	Target Val	Low Con	Low Toll	Low Pla	Inspection Create Dat	Sample Val	Sample Date	Sample Inspect	Operation Description	Inspector Point Clo	
1344072-2-A-3	0002	1534	M1	Identificazione housing 1-1,5% (vedi D4)			1,316267	1,2	1,080733			7/20/2020 12:25:20 AM				Controllo incisa compressa Line Inspector	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	V1	Verifica sistemi scarto automatico e sist								7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	V2	Verifica sistema di visione per controllo								7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	V4	Housing Notturno (ECC) (ARBITRO) (Pn. di 1)								7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	V5	Contatto prestaginato piegato (2-969) (8)								7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M4	Lunghezza housing da cover ad alette (P)	29,8	29,893014	29,6	29,509986	29,4			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M5	Angolo cover Proiettore (RF - 07) (Angolo)	91	8,860278	90	8,187121	87			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M6	Larghezza housing (V) Proiettore (RF - C5)	9,95	9,98488	9,95	9,91512	9,8			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M7	Passo totale terminali (X) Proiettore (RF)	0,1	0,046507	0	-0,054993	-0,1			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M8	Taglio carrier lato housing Proiettore (R)	0,15	0,024488	0	-0,025488	0			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M9	Taglio carrier lato cover Proiettore (RF)	0,575	0,621507	0,575	0,528493	0,375			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M10	Tagliatura di taglio contatto Proiettore (R)	0,25	0,058134	0	-0,058134	0			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M11	Gap Proiettore (RF - 8) (L) (Gap)	0,44	0,418603	0,4	0,381397	0,36			7/20/2020 12:25:20 AM				Benestare FO	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/20/2020 4:04:58 PM	0,2	7/20/2020 4:04:58 PM	00099942	Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/21/2020 4:03:08 PM	0,2	7/21/2020 4:03:08 PM	00099999	Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/20/2020 8:10:57 AM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/20/2020 10:52:08 AM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/20/2020 9:39:08 PM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/21/2020 4:03:07 PM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/21/2020 8:56:08 PM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/22/2020 8:39:08 AM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/22/2020 10:21:09 AM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M2	Simmetria contatto -A- Proiettore (RF) - B	0,2	0,046507	0	-0,046507	0			7/22/2020 8:50:13 PM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M3	Piantaggio Comparator (RF - DB) (Piant)	1,8	1,81878	1,75	1,68024	1,5			7/20/2020 4:04:08 PM	1,78	7/20/2020 4:05:06 PM	00099942	Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M3	Piantaggio Comparator (RF - DB) (Piant)	1,8	1,81878	1,75	1,68024	1,5			7/21/2020 4:03:08 PM	1,78	7/21/2020 4:03:48 PM	00099999	Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M3	Piantaggio Comparator (RF - DB) (Piant)	1,8	1,81878	1,75	1,68024	1,5			7/20/2020 8:10:57 AM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M3	Piantaggio Comparator (RF - DB) (Piant)	1,8	1,81878	1,75	1,68024	1,5			7/20/2020 10:52:08 AM				Controllo operatore	GGTA, RTM	
1344072-2-A-3	0002	1534	M3	Piantaggio Comparator (RF - DB) (Piant)	1,8	1,81878	1,75	1,68024	1,5			7/20/2020 9:39:08 PM				Controllo operatore	GGTA, RTM	

Figura 2.6. 18 – Report utilizzo del sistema digitale di controllo qualità

Dalla videata riportata in figura 2.6.12, schiacciando il riquadro Control Charts, è possibile accedere alla sezione grafica riportante l'andamento delle misure rilevate, ovvero alla Run Chart, e all'andamento del processo produttivo, l'I-MR Chart, che sono stati descritti nel capitolo 2.3.

## 2.7 - Capability levels

Come indice per caratterizzare il livello di digitalizzazione del sistema di controllo di qualità del processo produttivo è stato utilizzato una classificazione su quattro livelli, basata sulla capacità di questo di eseguire determinate azioni. In figura 2.7.1 è riportato uno schema della classificazione.

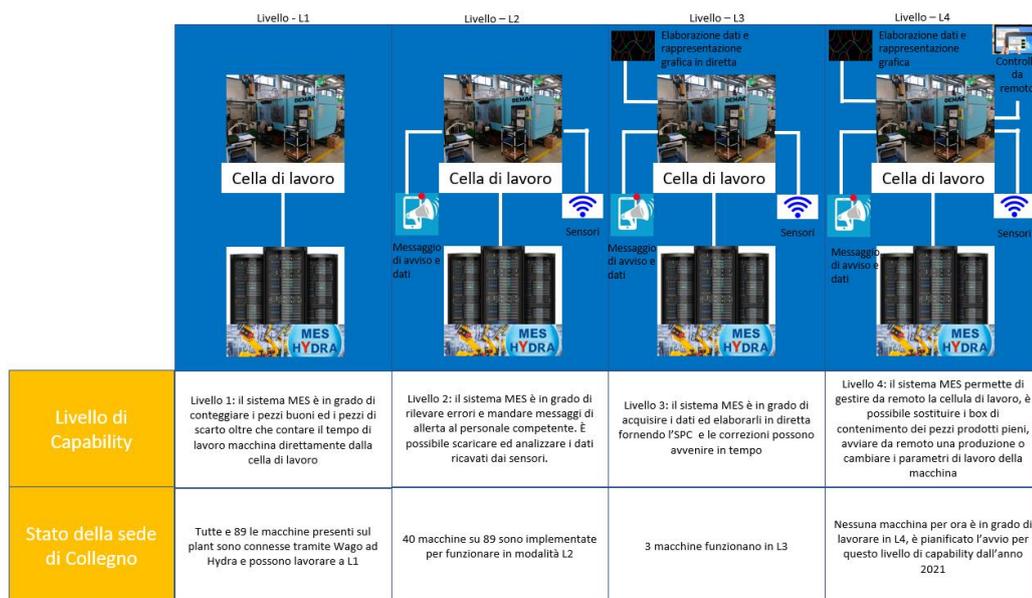


Figura 2.7. 1 – Classificazione dei livelli di capacità del sistema

- livello L1: è il livello più basso della classificazione, tutte le macchine, di tutti i reparti presenti nel plant di Collegno, sono collegate, tramite il PLC Wago, al sistema di assistenza alla pianificazione della produzione MES, Hydra. Il PLC Wago<sup>14</sup> è in grado, sulla base della sua programmazione, di tenere conto sia del numero di pezzi prodotti dalla macchina che controlla, sia dei prodotti di scarto difettosi. Quest'ultima funzione è gestita tramite l'implementazione, su alcune presse, di telecamere in grado di rilevare la non conformità dei pezzi. La sua funzionalità è limitata alla classificazione buono – non buono dei prodotti, non gestisce alcuna forma di controllo di

<sup>14</sup> Wago è una società tedesca che si occupa della produzione e distribuzione di tecnologie per la connessione elettrica, l'automazione e l'elettronica di interfaccia.

processo, fornisce solo i risultati, appunto, in termini di produzione e scarto e di tempo di funzionamento e di fermo della macchina per stimare gli indici di produttività delle linee produttive.

- Livello L2: un macchinario per poter essere considerato appartenente alla categoria L2 di capability, necessita della condizione di dover essere collegato alla rete locale privata aziendale e di essere in grado di fornire la segnalazione di allarmi in caso di problemi. Anche il livello L1 prevede la segnalazione degli allarmi in base al problema esistente, per esempio, assenza di materia prima, problemi meccanici, problemi elettrici ecc. La segnalazione di questi avviene tramite l'*Andon*, che verrà descritto nel dettaglio nel capitolo successivo, che utilizza un sistema visivo e acustico, rispettivamente, una luce rossa si accende sulla macchina in caso di errore ed un allarme suona. Questo tipo di segnalazione non è particolarmente funzionale in quanto, per prima cosa, deve essere notato da qualcuno, una volta che un operatore si accorge della segnalazione deve investigare il problema ed infine rivolgersi ai tecnici o al personale competente per la risoluzione di questo. Il livello L2, invece, prevede l'utilizzo dell'*Agnostic Andon*, ovvero la segnalazione del problema avviene tramite l'invio di una notifica al personale competente sulla base della natura del problema in corso, con una descrizione dello stesso. Le macchine connesse al livello L2 sono anche quelle che hanno implementata la possibilità del caricamento digitale dei dati di controllo qualità come mostrato nel capitolo riguardante le dQIP. Nel caso in cui un processo, sulla base dei dati inseriti dagli operatori, risultasse fuori controllo, un messaggio di allerta verrà inviato ai dispositivi mobili, smartphone o tablet, dei responsabili di reparto o dei Line Inspector, aumentando così la tempestività d'intervento del personale e riducendo i tempi morti della produzione. Quindi, la natura dei messaggi di errore può essere di due tipi, una riguardante i problemi tecnici legati alla macchina ed una riguardante il controllo della stabilità del processo produttivo. La possibilità di immagazzinare i dati digitali all'interno del data base di Hydra permette di catalogare e classificare la frequenza di

accadimento degli errori e di poter intraprendere, sulla base di una loro analisi, processi correttivi preventivi o miglioramenti in ottica del miglioramento continuo. Un esempio di analisi degli accadimenti degli errori tecnici delle macchine è riportato nel paragrafo 2.9 - Legge di Pareto e l'analisi dei QCPC (Quality Clinic Process Charts). La descrizione invece della gestione degli allarmi per il controllo di processo è riportato nel paragrafo successivo. Al momento, quaranta macchine delle 89 presenti sul plant intero hanno implementata la possibilità di essere connesse alla rete locale aziendale ma solo una decina per il momento funzionano in L2 in quanto il sistema è ancora in fase di test. Una volta che la funzionalità del tutto sarà dimostrata, allora si procederà all'upgrade di tutte le macchine al livello 2.

- Livello L3: nell'immagine 2.6.1, riportante lo schema del grafico della composizione del sistema, nella parte inferiore è riportato il ramo che collega le macchine al data base MES. Questo può percorrere due strade indicanti la modalità di trasferimento dei dati del controllo qualità, una diretta e una che passa per lo Spark. La strada diretta è quella intrapresa dai dati inseriti manualmente degli operatori tramite l'interfaccia grafica a bordo macchina, la seconda invece è quella percorsa dai dati acquisiti tramite telecamera. Spark è un altro applicativo installato in Hydra per permettere l'acquisizione dati tramite rilevazione ottica attraverso delle videocamere installate sulle macchine in grado di rilevare alcune grandezze geometriche, determinarne la dimensione e confrontarla con le specifiche di progetto ed i limiti di controllo. Quello che si viene a creare è così un controllo streaming del processo perché il rilevamento dei dati non è subordinato al prelievo dei campioni dalla produzione e alla loro analisi, ma è continuo ed effettuato sulla totalità dei pezzi uscenti dalla macchina. I dati rilevati tramite lo Spark non vengono immagazzinati nel data base del MES ma vengono inviati al Cloud. Attualmente solo tre macchine del reparto Assembly sono in grado di utilizzare lo Spark. Queste tre macchine sono allocate nel livello tre della classificazione della digitalizzazione del sistema.

- Livello L4: al momento, nel livello più alto del grado di digitalizzazione delle macchine non è presente nessuna macchina attualmente in uso sul Plant di Collegno. Un macchinario per poter rientrare in questa categoria necessita della caratteristica di poter essere controllato da remoto, nel senso non solo di poter fermare o far riprendere una produzione, ma di poter controllare e modificare le impostazioni di macchina senza esserne fisicamente vicini. Il progetto per implementare questa funzionalità verrà avviato nel corso dell'anno 2021, una volta che i livelli precedenti siano funzionanti al 100%

## 2.8 – Andon e Agnostic Andon

È stato fino ad ora descritto come avviene il processo di controllo della qualità e della stabilità della produzione, la base statistica che si trova dietro a tale metodologia e come sia costituita l'architettura del sistema. Viene ora presentata e definita la modalità in cui la supervisione del processo produttivo segnali i problemi rilevati durante il funzionamento delle macchine al personale competente. *Andon* è un termine giapponese che indica, traducendo letteralmente, una lampada luminosa di carta, tipicamente utilizzata per la segnalazione visiva. Questo termine è stato adottato ed inserito all'interno della filosofia giapponese della Lean Production del Toyota Production System per indicare un sistema luminoso di segnalazione degli errori tramite semafori luminosi e tabelloni LCD montati nei reparti produttivi riportanti una sintesi colorata delle macchine operatrici. Nel caso in cui un macchinario dovesse presentare, per esempio, un'anomalia, un guasto elettrico, meccanico oppure dovesse venire a mancare la materia prima, il semaforo a bordo macchina si illumina di rosso, un segnale acustico si attiva e sul tabellone riassuntivo viene indicato che un problema è in corso su una determinata macchina.

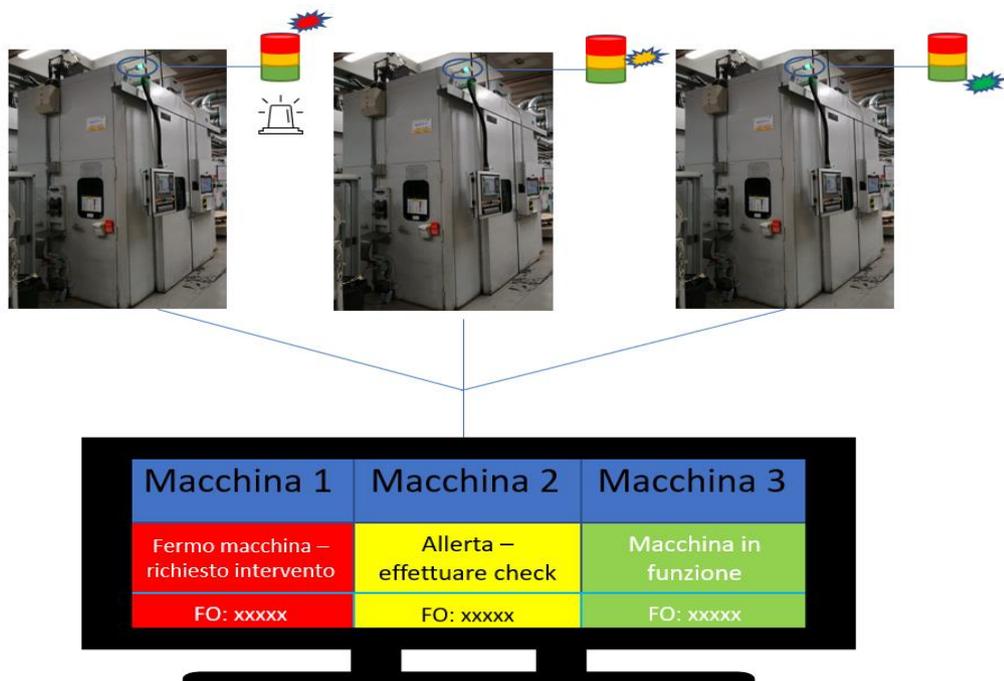


Figura 2.8. 1 – Schema funzionamento Andon

In questo modo gli operatori di macchina ed il personale di supervisione sono in grado di intervenire sul problema, correggerlo, e far riprendere la produzione nel modo corretto. Il problema è che questo sistema di gestione degli allarmi riguarda la famiglia delle problematiche relative allo stato proprio delle macchine, ovvero supervisiona che queste non abbiano problemi e che funzionino correttamente. Nessuna indicazione viene invece fornita per quello che riguarda il controllo della produzione stessa, non si è in grado a questo livello di avere segnalazioni per quello che riguarda un sistema in controllo oppure no. In figura 2.8.1 è riportato uno schema semplificato di come funziona il sistema dell'Andon, sono possibili fondamentalmente tre situazioni:

1. Semaforo verde: in questa condizione la macchina operatrice funziona correttamente e la produzione è in corso d'opera, nessun segnale acustico viene emesso. Sul tabellone di reparto si può vedere un riquadro riguardante la macchina colorato di verde in cui è anche indicato il numero d'ordine e a che punto è la produzione. Nessun intervento è richiesto.
2. Semaforo giallo: indica l'imminente accadimento di un problema, esso può essere, per esempio, l'esaurimento della materia prima oppure il quasi riempimento della postazione di deposito del materiale lavorato in uscita dalla macchina, ovvero, per il caso dell'azienda in esame, una bobina di avvolgimento piena in Stamping o un batch per la raccolta degli housing di plastica nel Molding. Questa è una segnalazione per fare in modo da intervenire tempestivamente evitando un fermo macchina troppo prolungato.
3. Semaforo rosso: si accende quando un problema grave ferma una macchina e impedisce il regolare lavoro della macchina. Per attirare maggiormente l'attenzione sul problema una sirena acustica si attiva in modo da richiedere massima urgenza per il problema in corso. I motivi possono essere molteplici, da un mancato intervento a seguito di una segnalazione con semaforo giallo, oppure un guasto elettrico o meccanico che richiede l'intervento degli addetti alla manutenzione.

Nel paragrafo 2.3 si è definito cosa significa affermare che un processo è in controllo o fuori controllo e come si rilevi uno stato oppure l'altro. Nel paragrafo riguardante la descrizione dell'SPC è stato chiarito che l'acquisizione dati avviene tramite l'ispezione di campioni di prodotti prelevati dalla linea produttiva ed il risultato delle misurazioni riportato sulle schede di controllo per il tracciamento dei grafici da realizzare a mano. Data la grande quantità di grandezze da misurare e tenere sotto controllo, come riportato nel paragrafo in cui si sono descritti i QIP, ciò che si vuole ottenere è la possibilità di immettere i valori riguardanti il controllo qualità in maniera digitale sulle schede di controllo, anch'esse digitali, in maniera tale che sia il calcolatore a definire e disegnare i grafici di controllo del processo, evitando che questo venga fatto a mano. In questo modo il rilevamento di un possibile fuori controllo risulterebbe molto più tempestivo, invece di dover raccogliere le schede cartacee, analizzarle e disegnarle a mano, il processo sarebbe talmente lungo che diventa impossibile intervenire con prontezza e correggere il sistema produttivo. Per fare questo, gli operatori di macchina rilevano le misure e le inseriscono direttamente tramite un monitor touchscreen installato a bordo macchina come mostrato nel paragrafo precedente. All'interno del software MES viene così a crearsi un data base di dati che è possibile utilizzare per condurre l'analisi SPC. È possibile controllare l'andamento della produzione premendo il riquadro *Control Charts*, all'interno del cerchio rosso nell'immagine 2.6.12, che farà apparire la schermata riportata in figura 2.8.2. Questa è la videata di interfaccia dell'applicazione interna ad Hydra, chiamata TVX, questa analizza i dati inseriti durante le ispezioni e li confronta con i parametri impostati durante la redazione delle dQIP dei singoli prodotti tracciandone automaticamente i grafici. Il primo grafico che viene mostrato è quello relativo alla Run Chart, ovvero la carta riportante i valori, in ordine temporale di acquisizione, delle grandezze misurate e confrontate con i limiti di specificazione di progetto<sup>15</sup>. È possibile accedere a questa videata anche da remoto e vedere il terminale di qualsiasi macchina collegata in rete tramite il MOC, come era stato mostrato nella figura 2.4.1. Inoltre, una volta aperto

---

<sup>15</sup> In questo caso l'andamento dei punti dovrebbe essere distribuito nell'intorno del valore nominale ma, a causa di parametri impostati in maniera non precisa e provvisoria in fase di test e non ancora modificati.

TWX è possibile navigare a piacimento fra tutte le macchine agendo sul campo “filtro” presente nella parte sinistra della schermata.

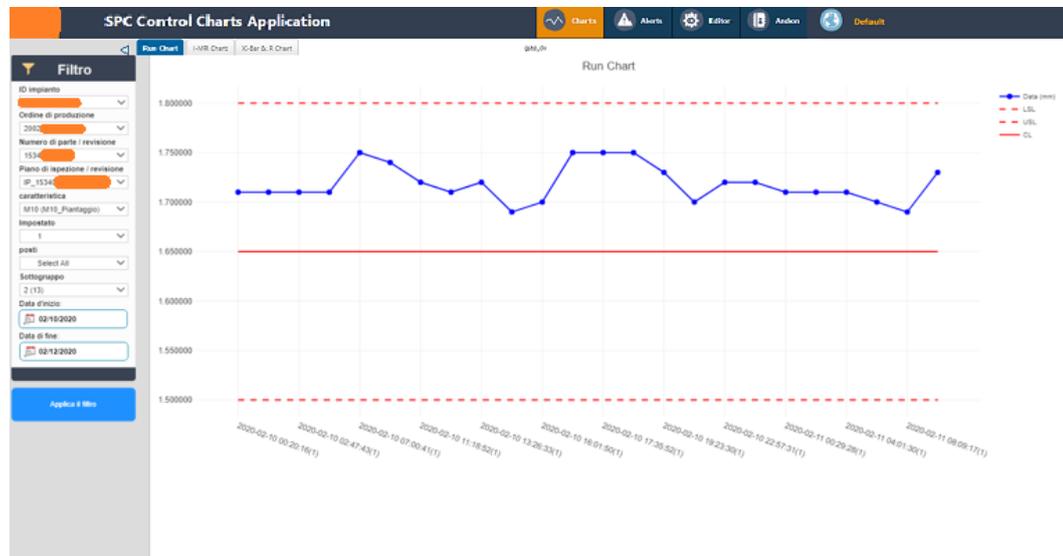


Figura 2.8. 2 – schermata TWX, Run Chart

Nel riquadro “filtro” è possibile scegliere una serie di parametri per definire cosa si vuole che venga mostrato a video:

- Plant ID: ogni sede della multinazionale è identificata da un codice (ID). Selezionandone uno qualsiasi di quelli presenti all’interno del menu a tendina, che viene mostrata cliccando sul campo, è possibile accedere ai terminali di tutte le macchine connesse alla rete presenti su quel determinato plant. Per ora l’unica sede con delle macchine connesse in rete è appunto quella di Collegno.
- Ordine di produzione: Una volta definito il plant di interesse, si sceglie, sempre dall’elenco a tendina riportante tutti gli ordini di produzione in corso, quello che si vuole esaminare. In caso di necessità, è possibile ottenere i grafici di ordini passati e conclusi in quanto il data base tiene in memoria tutto quello che è stato prodotto.
- Part number: è possibile filtrare la ricerca tramite un codice prodotto.

- Piano di ispezione: qui si sceglie il piano di ispezione che si desidera venga caricato. È spesso necessario aggiornare le schede dQIP realizzate e caricate a sistema in quanto possono esserci errori oppure possono venire apportate delle modifiche in maniera tale da cambiare, per esempio, il periodo della frequenza di ispezione. È quindi possibile scegliere la versione che più si preferisce.
- Caratteristica: come è stato già detto, ogni pezzo prodotto ha diverse grandezze che possono essere misurate e controllate, in questo campo è possibile selezionare quella che più ci interessa.
- Data di inizio e data di fine: essendo che gli ordini di produzione possono durare anche settimane, è possibile selezionare il periodo di tempo di interesse in cui vogliamo vengano mostrati i grafici.

In questo grafico, se un punto dovesse cadere al di fuori dei limiti di specificazione, questo verrebbe cerchiato di rosso ed un messaggio di allarme verrebbe generato. Per quanto questo grafico sia fondamentale, quelli che sono più importanti sono i grafici nella scheda *I-MR Chart*, ovvero l'individual ed il Moving range chart. I grafici I-MR relativi alla Run Chart riportata in figura 2.8.2 vengono mostrati nella figura 2.8.3.

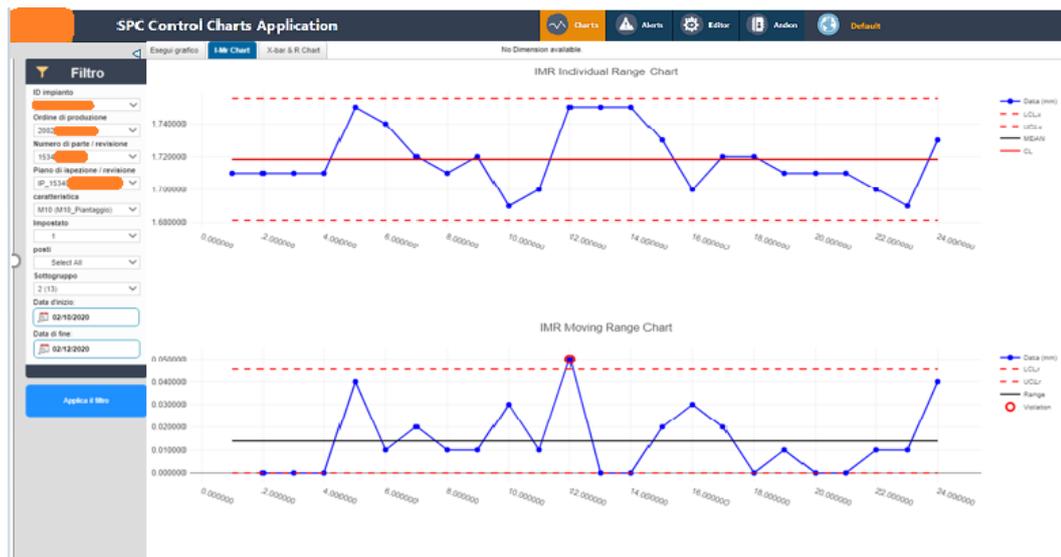


Figura 2.8. 3 – Schermata TWX - I – MR Chart

Come è stato già descritto, il primo in alto riporta le grandezze misurate in funzione dei limiti di controllo calcolati sulla base della deviazione standard della popolazione delle misure mentre il secondo riporta l'andamento delle differenze assolute fra due misure consecutive. Per la rilevazione di un errore e la conseguente generazione di segnali d'allerta è necessario impostare delle regole che il sistema sia in grado di capire e valutare se siano rispettate oppure no che valgano sia per l'Individual che per il Moving Range. In figura 2.8.4 vengono riportate alcune regole impostate per testare il sistema.

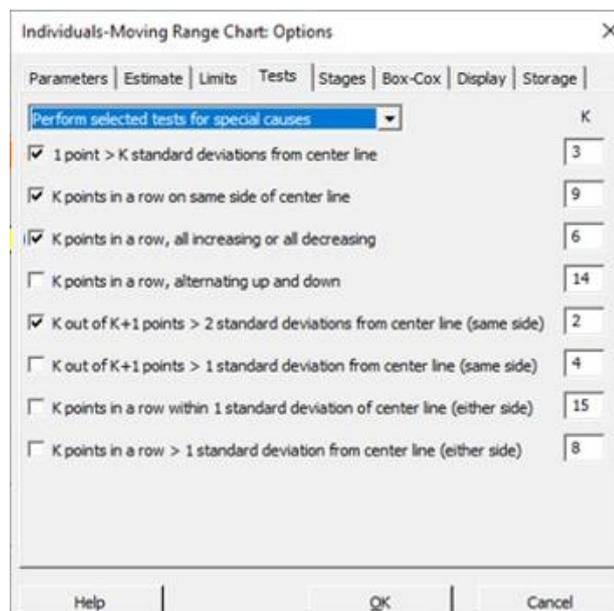


Figura 2.8. 4 – Elenco regole impostate

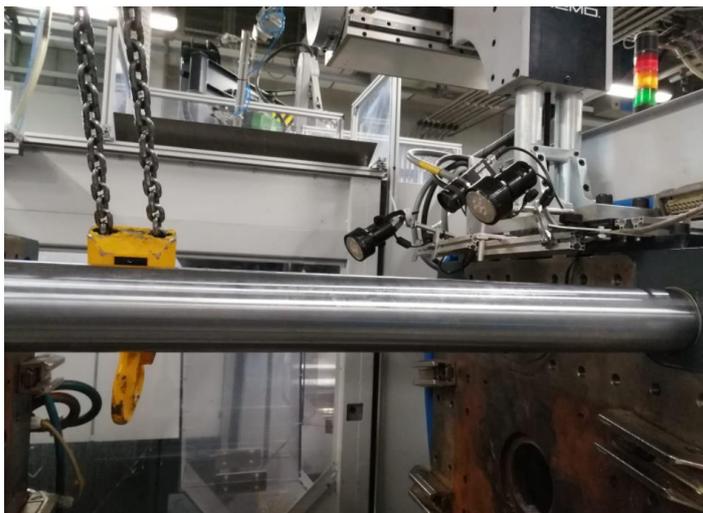
Il sistema genera un allarme se:

1. Un punto ricade al di fuori di K deviazioni standard (in questo caso 3);
2. K punti sono dallo stesso lato del valore nominale, sotto o sopra (in questo caso 9);
3. K punti sono in ordine crescente o decrescente (in questo caso 6).
4. Se k punti su k+1 si trovano nella zona sopra a due deviazioni standard dal valore centrale (in questo caso due punti su 3).

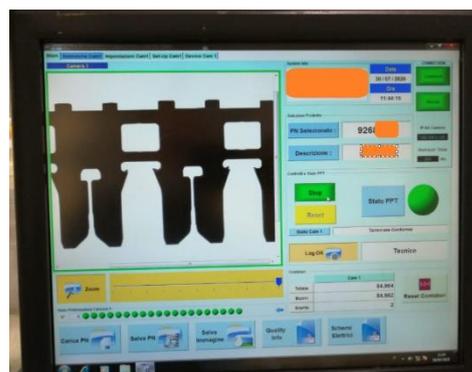
Altre regole di norma dovrebbero essere impostate, come per esempio k punti che si alternano in sequenza a cavallo del valor medio, generando un grafico a forma di dente di sega, ma per il momento è stato deciso di non appesantire il sistema prima di averne testato il corretto funzionamento. In ottica di massimizzare l'automazione del processo di controllo qualità cercando di scaricare il più possibile il lavoro a carico degli operatori si è deciso di orientarsi verso due strade:

1. Utilizzare strumenti di misura smart, connessi ad internet, in maniera tale da acquisire automaticamente i valori rilevati sui pezzi senza la necessità di caricarli manualmente. Per esempio, per le misurazioni con il calibro è possibile realizzare un sistema del genere, l'operatore misura il pezzo e la grandezza viene acquisita automaticamente.
2. Utilizzare sistemi visivi per l'acquisizione delle misure, cioè utilizzare telecamere e le immagini acquisite per calcolare distanze e misure.

La soluzione più interessante in ottica automazione risulta essere sicuramente la seconda, ma dal momento che non tutte le misure possono essere rilevate tramite telecamere in quanto alcune richiedono la manipolazione da parte dell'operatore, le due strade devono essere usate in abbinamento dove possibile. Sistemi di telecamere sono già installati su alcune macchine ma queste non sono tutte connesse al sistema MES, esse fungono solo da controllori per pezzi buoni e pezzi di scarto, non acquisiscono dati. Alcune invece sono state implementate per riuscire ad acquisire dati tramite il loro impiego, al momento solo tre macchine del reparto Assembly lavorano in questa maniera, e si dice che lavorano al livello L3 di capability. La suddivisione e la caratterizzazione dei livelli viene trattata nel paragrafo successivo. Un sistema che lavora a L3, cioè che riesce ad effettuare misure tramite acquisizione di immagini tramite le quali calcolare le grandezze su la totalità dei pezzi che escono dalle macchine, si dice che opera in streaming, infatti si viene ad eliminare il tempo che intercorre fra la generazione da parte di Hydra del punto di ispezione ed il momento in cui questa viene eseguita. Un sistema L3 controlla tutti i pezzi e li misura tutti. Un esempio di telecamere montate sulle macchine è riportato nelle figure 2.8.5 e 2.8.6.



*Figura 2.8. 5 – Telecamere montate su pressa reparto Molding*



*Figura 2.8. 6 – Telecamere montate su pressa reparto Stamping*

Anche se la possibilità offerta dalle telecamere è quella di monitorare tutti i pezzi prodotti, questo non viene fatto in quanto è inutile controllare tutto perché:

1. Se tutte e 90 le macchine dovessero essere connesse a livello L3, il carico di dati da gestire sarebbe eccessivo e si sovraccaricherebbe inutilmente il sistema. Inoltre, i dati acquisiti dalle telecamere vengono inviati ad un cloud

per la memorizzazione dei dati. Affittare uno spazio virtuale ha dei costi e pertanto è inutile sprecarlo memorizzando tutto.

2. Vogliamo effettuare un controllo statistico e non totale, pertanto lo spazio messo a disposizione dal cloud deve essere gestito in maniera intelligente.

Come detto, le uniche macchine che hanno delle telecamere montate e che funzionano in L3 sono tre e per queste è stato impostato uno schema di funzionamento che viene riportato nella figura 2.8.7. Le telecamere utilizzano un'applicazione, chiamata *Spark* per l'acquisizione e l'elaborazione delle immagini. I dati acquisiti in questo modo possono seguire due strade:

1. Le telecamere acquisiscono i dati con frequenza pari a quella impostata nelle dQIP, come se le misure venissero eseguite dagli operatori, e vengono salvate nel database di Hydra. Non si ha un controllo in streaming, questi dati servono da catalogo come nei casi presentati precedentemente mostrati e tenuti come documentazione per l'ordine di produzione in corso. La differenza è che nei casi precedenti questa era l'unica fonte di acquisizione dati, quindi l'SPC veniva effettuata su questi.
2. Le telecamere acquisiscono i dati con frequenza impostata a priori e, in primo tentativo, impostata a 5 minuti e, successivamente, aumentata a 15 minuti per ridurre la mole di dati acquisiti e trovare un giusto compromesso. Questi dati, a differenza di quelli rilevati con il punto uno, non vengono salvati nello spazio di memoria di Hydra, ma vengono inviati ad un cloud, nel caso specifico fornito da Amazon, passando attraverso un firewall di sicurezza, all'interno del quale questi vengono stoccati. Sulla base di questi viene tracciato l'andamento per l'SPC in tempo "quasi" reale. In questo modo il controllo diventa molto più ampio e il rilevamento di un fuori controllo avviene in maniera molto più tempestiva rispetto alla modalità descritta prima. Si passa da una ispezione ogni 4/8 ore ad una ogni 15 minuti.

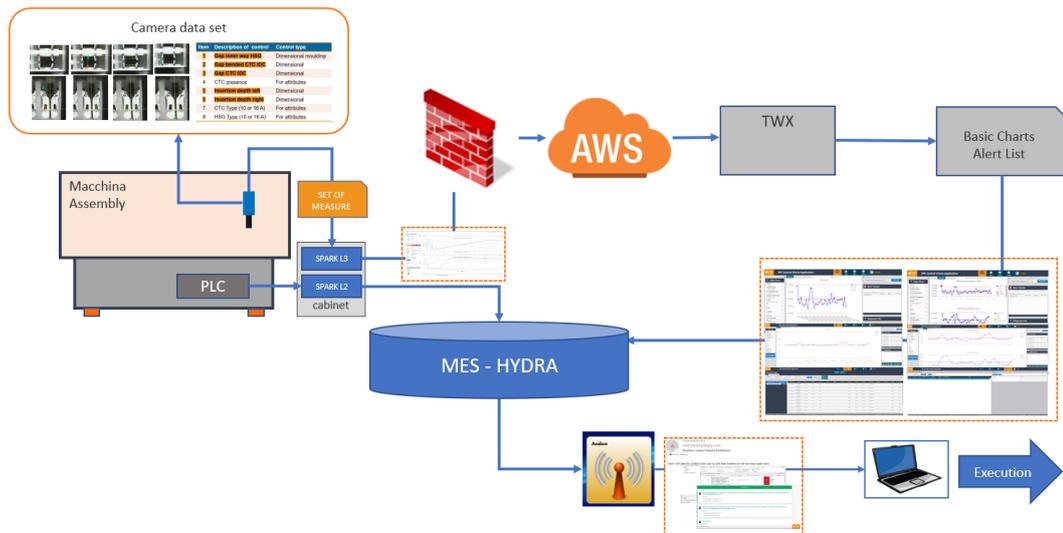


Figura 2.8. 7 – Architettura livello L2 ed L3

Anche per il livello L3 di controllo valgono le stesse regole riportate in figura 2.8.4. Nel momento in cui un punto fuori controllo viene rilevato, viene cioè violata una regola, viene generato un alert. In figura 2.8.8 viene riportato una carta di controllo generata attraverso l'utilizzo delle telecamere in L3.



Figura 2.8. 8 – Schermata TWX - I-MR Chart con utilizzo telecamere streaming al livello L3

È evidente che il numero di punti che si riescono a rilevare e ad analizzare è decisamente superiore rispetto a quelli acquisiti in L2 della figura 2.8.3. Nel momento in cui il sistema rileva dei punti fuori controllo, questi sulle carte vengono cerchiati di rosso ed un alert viene generato. Allo stesso modo col quale un problema alla macchina operatrice viene segnalato tramite l'Andon, anche per il fuori controllo deve esistere un sistema di segnalazione della violazione delle regole. In questo caso si parla di *Agnostic Andon*, ovvero un sistema di notifica della presenza di un problema sulla linea produttiva rilevato da TVX. Queste segnalazioni vengono notificate tramite un messaggio di testo alla figura competente, un operatore di macchina o un responsabile di reparto, inviato a dispositivi mobili quali smartphone e tablet collegati alla rete locale aziendale, in modo da richiedere un intervento correttivo. In questo modo il controllo di processo è nettamente più efficiente ed immediato, i tempi di intervento si riducono e l'obiettivo di raggiungere livelli di scarti di produzione sempre più bassi è favorito. Si evitano lunghi tempi d'attesa per l'intervento e le produzioni vengono stoppate prima che queste producano grandi quantità di pezzi non conformi con una netta riduzione dei costi. Il sistema MES deve essere a conoscenza delle figure alle quali devono essere inviati gli allarmi, per fare questo bisogna creare una libreria di contatti al suo interno con i riferimenti per la comunicazione. Vengono quindi create delle liste di contatti chiamate *Receiving Groups*, all'interno delle quali viene definito l'elenco delle figure competenti in funzione del tipo di problema rilevato. Se un alert viene generato su una macchina del reparto stamping, questo verrà notificato, sulla base della natura dell'errore stesso, all'operatore di macchina relativo, al line inspector di settore o al caporeparto. Il componente del receiver group si troverà davanti a sé tre possibili azioni da compiere:

1. Indagare l'errore e provvedere a risolverlo nel caso in cui questo sia di facile risoluzione.
2. Fare escalation, ovvero promuovere l'errore, nel caso in cui questo necessiti un livello di attenzione più alto, affinché questo venga inoltrato a figure gerarchiche più alte, come per esempio il capoturno o il caporeparto che

provvederanno a prendere l’iniziativa per l’azione correttiva migliore da eseguire.

3. Ignorare l’errore nel caso in cui questo venga valutato trascurabile.

Può venirsi a creare un ulteriore scenario, ovvero che l’errore venga segnalato in maniera tempestiva ma, per svariati motivi, quali per esempio un operatore impegnato in un altro intervento, un’assenza del personale dal lavoro, un cambio turno, questo non venga considerato e nessuno provveda ad intervenire. In questo caso il sistema provvederà automaticamente, trascorso un lasso di tempo prefissato, a promuovere la richiesta di attenzione al livello successivo dei receiver group in maniera tale da ridurre il tempo di attesa di intervento. Im figura 2.8.9 viene mostrato un esempio di lista di receiving group.

The screenshot shows a web application interface for 'TEST.STEINACH - 542'. The main content area displays a table of Receiving Groups. The table has columns: Receiving Group, Group Name, Receiving Group Desc., Event Type ID, Group Icon, Round Robin, QCPC Valid, and Access Rights. The first row is expanded to show a 'Users' section with columns: Action, User, SSRW Priority, Wait Time, Cost Center, and Access Rights. The 'Users' section shows a user 'Heimo, Felder (18)' with a priority of 0 and a wait time of 0. Below the 'Users' section, there is a list of Receiving Groups with columns: Receiving Group, Group Name, Receiving Group Desc., Event Type ID, Group Icon, Round Robin, QCPC Valid, and Access Rights.

Receiving Group	Group Name	Receiving Group Desc.	Event Type ID	Group Icon	Round Robin	QCPC Valid	Access Rights
4	SSRN Shift Leader	SSRN Shift Leader	SSRN	shiftleader	N	N	N,R,G,F,C
1	CLCA Group	Check List Critical Answer Group	CLCA		N	N	N,R,G,F,C
11	Molding Schichtführer	UAT Steinach	CLCA	shiftleader	N	Y	
12	Molding Instruktoren	UAT Steinach	SSRN	setup	N	N	
10	MCTV.Mandatory Check not OK		MCTV		Y	Y	N,R,G,F,C
14	Digital Stamping	UAT Stamping	SSRN		N	N	N,R,G,F,C
15	test	test	SSRN	quality	N	N	
13	Molding Line Inspection	UAT Stainach	SSRN	quality	N	N	

Figura 2.8. 9 – Esempio elenco receiving group su Hydra

Nel momento in cui il messaggio viene notificato, è necessario che questo contenga tutte le informazioni necessarie all’operatore per capire che errore è accaduto, su quale macchina e quando. Pertanto, l’alert deve essere caratterizzato da queste informazioni. Nella parte destra della figura 2.8.8 vi è riportato l’elenco con una



MES in modo tale che possa essere in grado di comunicare con i receiver group, altrimenti sarebbe infattibile. In figura 2.8.11 viene mostrato l'elenco degli alert riportati sul data base Hydra.

Event ID	Event Desc	Event Type	Group Name	Event Source	Event Process	Status	Created	Responded
34433	Event: <SPC Alert for 1534073-2 (0) - depth_dxi: Trend Rule Violation on I-Mr range Chart, Value:0.1372, :2020-07-01 09:30:00AM, USL5.1, LSL4.7, UCLundefined, LCLundefined> encountered at machine <SPC> requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>, SPCAlertID: <18261337>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	Open (1)	01/07/2020 09:34:01	
34432	Event: <SPC Alert for 1534073-4 (0) - horiz_gap2: OOC Rule Violation on I-Mr calc: mean lower limits, Value:2.8153, :2020-07-01 09:30:00AM, USL3.2, LSL3.6, UCL2.8094653058243994, LCL2.817206249731356> encountered at machine <SPC> requires your attention!, Part Number: <1534073-4 (0)>, Tool Number: <>, SPCAlertID: <18261361>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	Open (1)	01/07/2020 09:34:00	
34431	Event: <SPC Alert for 1534073-4 (0) - horiz_gap2: OOC Rule Violation on I-Mr calc: mean lower limits, Value:2.8205, :2020-07-01 08:30:00AM, USL3.2, LSL3.6, UCL2.821472325111191, LCL2.8295047415554793> encountered at machine <SPC> requires your attention!, Part Number: <1534073-4 (0)>, Tool Number: <>, SPCAlertID: <18255845>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	Open (1)	01/07/2020 08:34:01	

Figura 2.8. 11 – Elenco alert su database Hydra

Anche su Hydra viene generato lo stesso elenco con gli alert presenti su TWX, ora il sistema è in grado di generare il messaggio di allarme da inviare al gruppo di riceventi. Qui, inoltre, è presente una colonna colorata di rosso, giallo o verde a seconda del fatto che il problema sia stato risolto, ignorato oppure che nessuna azione sia stata ancora condotta.

## 2.9 - Legge di Pareto – Analisi QCPC

La legge di Pareto afferma che in un sistema in cui un grande numero di cause concorre a generare uno stesso effetto, questo è per la maggior parte generato da una percentuale molto piccola di cause. In altre parole, si dice è possibile ricondurre l'80% dei risultati al 20% delle cause. In termini aziendali, per esempio, si può dire che circa l'80% del fatturato di un'azienda è generato da circa il 20% dei prodotti creati, oppure che l'80% delle perdite è generato dal 20% dei problemi totali. Oppure, in campo finanziario si può affermare che il 20% della popolazione mondiale possiede l'80% della ricchezza totale mondiale. Ovviamente, questo principio può trovare applicazione solo in un contesto dove le cause siano in numero significativo per poter condurre un'analisi di questo tipo. Un esempio di analisi con la legge di Pareto si può ritrovare nel libro *Quality Control Handbook* di Joseph M. Juran<sup>19</sup>, una delle maggiori figure che ha contribuito allo sviluppo nel campo del quality management, in cui viene citata la situazione di una cartiera nella quale si sono volute analizzare le fonti di perdite nell'azienda. Il totale stimato di perdite era pari a \$9'070'000 all'anno diviso in sette categorie come mostrato in figura 2.9.1.

Accounting category	Annual quality loss,* \$thousands	Percent of total quality loss	
		This category	Cumulative
Broke	5560	61	61
Customer claim	1220	14	75
Odd lot	780	9	84
High material cost	670	7	91
Downtime	370	4	95
Excess inspection	280	3	98
High testing cost	190	2	100
TOTAL	9070		

\*Adjusted for estimated inflation since time of original study.

Figura 2.9. 1 – Esempio dettaglio analisi perdite di una cartiera (Juran, 1988)

<sup>19</sup> Joseph M. Juran (1904 – 2008) è stato un ingegnere e management consultant conosciuto come il padre del moderno sistema di controllo qualità di cui ha scritto numerosi libri.

Il 61% delle perdite è concentrato nella categoria “Broke”, ovvero tutti i prodotti che sono stati generati non conformi e che non potevano essere venduti e, per questo, che dovevano essere distrutti e ricreati di nuovo, per un ammontare parziale di \$5'560'000. È evidente che per apportare delle modifiche che abbiano un impatto significativo sulla linea produttiva in modo da ridurre le perdite economiche, è necessario agire sulla categoria “Broke” poiché agendo su qualunque altra non si otterrebbero risultati apprezzabili in termini di migliorie. La cartiera produceva 53 tipi diversi di carta, che nell’analisi vengono chiamati A, B, C, e così via, e andando ad analizzare l’impatto di ogni singolo prodotto sulla categoria “Broke” si è ottenuta la tabella riportata in figura 2.9.2.

Product type	Annual broke loss,* \$thousands	Percent of broke loss	Cumulative percent broke loss
A	1320	24	24
B	960	17	41
C	720	13	54
D	680	12	66
E	470	8	74
F	330 (4480)	6	80
47 other types	1080	20	100
TOTAL 53 types	5560	100	

\*Adjusted for estimated inflation since time of original study.

*Figura 2.9. 2 – Divisione in categorie dei difetti e loro*

Il totale delle perdite annue dei primi sei tipi di prodotto, ordinati in ordine decrescente, genera \$4'480'000 che, sul totale delle perdite annue (\$5'560'000) è proprio l’80% del totale. Quindi in questo esempio si riesce a capire bene come per migliorare nettamente lo stato di salute economico dell’azienda è sufficiente, e necessario, concentrarsi su pochi parametri che influiscono pesantemente sull’andamento della stessa. È possibile inoltre approfondire ulteriormente l’analisi, in quanto sotto la categoria “Broke” possono rientrare svariati tipi di difetto, per esempio un difetto di porosità, se la carta è tagliata, se non ha i brodi paralleli e così

via. Pertanto, come si può vedere nella tabella in figura 2.9.3, si può agire in maniera ancora più mirata all'interno dei difetti "Broke".

Type	Trim, \$thousands	Visual defects,† \$thousands	Caliper, \$thousands	Tear, \$thousands	Porosity, \$thousands	All other causes, \$thousands	Total, \$thousands
A	270	94	None‡	162	430	364	1320
B	120	33	None‡	612	58	137	960
C	95	78	380	31	74	62	720
D	82	103	None‡	90	297	108	680
E	54	108	None‡	246	None‡	62	470
F	51	49	39	16	33	142	330
TOTAL	672	465	419	1157	892	875	4480

\*Adjusted for estimated inflation since time of original study.

*Figura 2.9. 3 – Analisi degli impatti dei difetti sulle perdite*

Si osserva infatti che la maggior parte dei difetti si concentra nella categoria "Tear" (carta strappata) per il prodotto denominato B, a seguire viene "Porosity" (porosità della carta) per il prodotto A e così via. Infatti, è così sufficiente per la cartiera migliorare il processo produttivo di sei prodotti per ottenere dei vantaggi enormi, in particolare sarebbe sufficiente avviare due progetti per migliorare la situazione della porosità generata nel tipo di carta A e uno per gli strappi per il prodotto B. Senza un'analisi di questo tipo sarebbe stato difficile ricercare il punto nodale del problema e si sarebbe potuto agire in maniera poco efficiente andando a migliorare altri parametri che a prima vista sarebbero sembrati più fruttuosi andando così ad ottenere uno scarso miglioramento ed una spesa di tempo e di energie maggiore. Come già descritto nell'introduzione, la necessità della Tyco Electronics di avviare una trasformazione digitale è scaturita dalla richiesta di alcuni clienti che venisse effettuata una raccolta dati nel reparto qualità ed un'analisi dati su di essa. L'utilizzo della legge di Pareto è stato necessario perché, per avviare un progetto di questo tipo, in cui è necessario mostrare dei risultati con i miglioramenti che si possono ottenere applicando una nuova metodologia, è fondamentale per capire su quale famiglia di prodotti avviare il tutto. Pertanto, è stata analizzata l'incidenza della vendita dei gruppi di prodotti sul fatturato dell'azienda e ne è venuto fuori che la

maggior parte dei ricavati deriva da un paio di famiglie di connettori, il Multifitting ed il Duoplug power. Avviando il processo di digitalizzazione sulle macchine destinate alla produzione di questi, si otterranno risultati più evidenti da poter mostrare. Questo principio è stato utilizzato anche per analizzare le cause principali dei tempi di fermo macchina durante la produzione, chiamata QCPC, ovvero sono state analizzate e classificate le cause che maggiormente incidono sull'interruzione del processo manifatturiero. Con bollatura di una macchina si intende l'avviamento o l'arresto della stessa da parte dell'operatore tramite badge. Ogni bollatura ha un proprio codice di riferimento che ne identifica la causa, in figura 2.9.4 è riportato un elenco dei codici principali con relativa descrizione. In figura 2.9.5 è invece mostrato la frequenza di bollatura nel reparto stamping per il secondo trimestre (31/12/2017 – 30/03/2018).

PRODUZIONE	200	Attesa Conversione	151	Attesa Uff. Tecnico	316	<u>Manc.Mat.Packaging</u>	331
Setup-Cambio Stampo	100	Altri Fermi in Setup	180	<u>Att.Manut. Elettrica</u>	320	Mancanza Operatore	350
Reg. Cambio Stampo	105	<u>Setup Ancillary</u>	318	<u>Rip. Meccanica</u>	310	Mancanza <u>Setupman</u>	351
Setup x Conversione	110	Non Attribuito	30000	<u>Rip. Elettrica</u>	311	Mancanza Attrezzista	354
Conversione a Banco	111	<u>Regolaz. in Produzione</u>	205	<u>Rip. Ancillary</u>	312	Riunioni	355
<u>Conv. in Pressa/Mac.</u>	112	Attesa <u>Rip. Stampo</u>	211	Anomalia Telecamera	317	Interruzione ordine	390
Reg. Conversione	115	<u>Rip. Attrezzo</u>	212	<u>Att. Tecnico EXT</u>	314	Materiale non Conf.	340
Setup-Cambio <u>Mat.Pri</u>	120	<u>Rip. Operatore</u>	213	<u>Manc. Ricambi Stampo</u>	324	Attesa info Qualità	360
Reg. Cambio MP	125	<u>Att.Ripristino Sp.Pt</u>	214	<u>Manc. Ricambi</u>	325	Altre Fermate	380
Attesa Setup	150	Attesa <u>Manut. Mecc.</u>	315	<u>Manc. Raw Material</u>	330	Mancanza Ordini	399
						PAUSA/FINE TURNO	999

Figura 2.9. 4 – Elenco principali codici giustificativi per la bollatura delle macchine

## Collezione bollature Q2 - reparto stamping

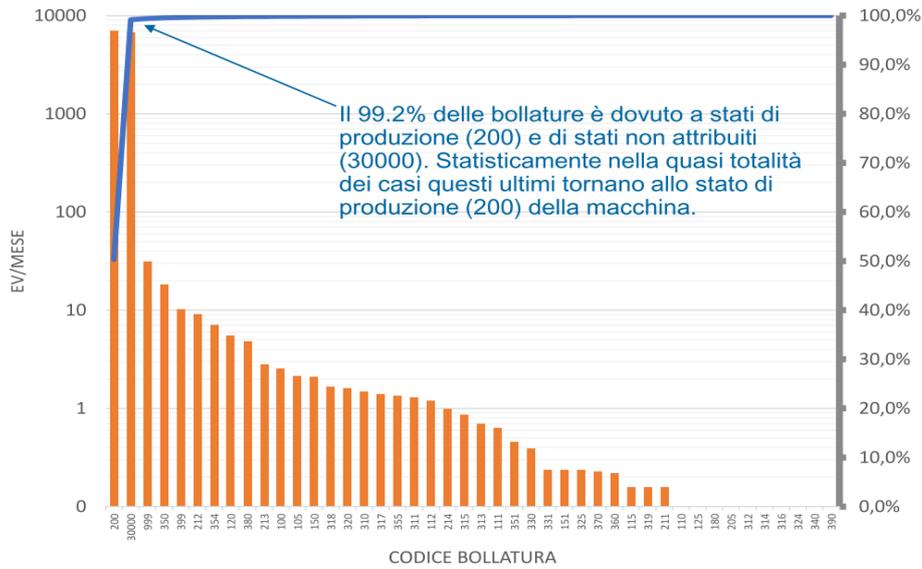


Figura 2.9. 5 – Ordinamento in base al numero di accadimenti dei diversi codici di bollatura

Oltre il 99% delle bollature delle macchine nel reparto stamping derivano dalle condizioni di avvio alla produzione e di fermi non attribuiti ad una causa specifica ma a generici. È stata quindi analizzata la condizione di queste fermate non attribuite, nella figura 2.9.6 è riportata la frequenza delle bollature in relazione alla durata delle stesse espressa in ore.

Media pesata di 30000 = 6797 ev/mese

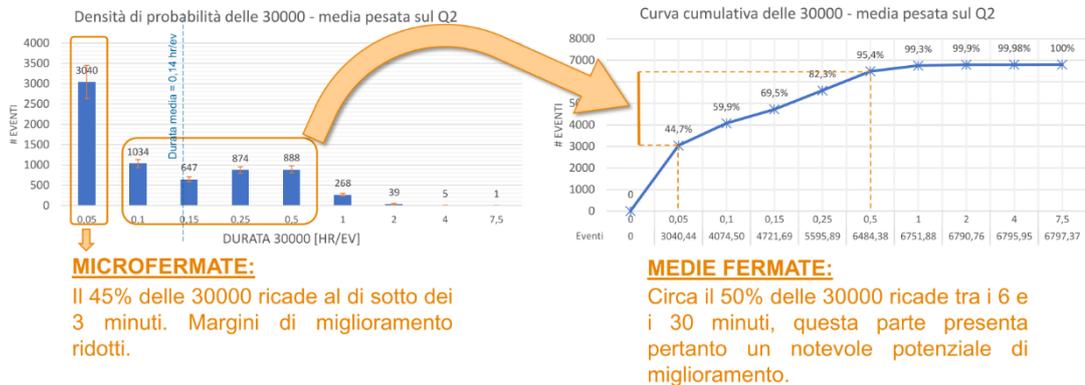


Figura 2.9. 6 – Analisi degli impatti delle microfermate delle macchine

Circa il 45% delle bollature di fermo macchina con stato non attribuito ha una durata inferiore ai 3 minuti mentre il 50% ha durata compresa fra i 6 ed i 30 minuti. Fra le due categorie, quella che presenta un maggior margine di miglioramento è senza dubbio la seconda. Sono state analizzate e tenute sotto controllo tre presse del reparto stamping e sono state annotate le cause di questi fermi macchina, che in genere vengono bollati in stato 30000, nel periodo compreso fra il 16 ed il 26 marzo 2018. In figura 2.9.7 viene riportata la frequenza di incidenza delle cause dei fermi macchina osservati.

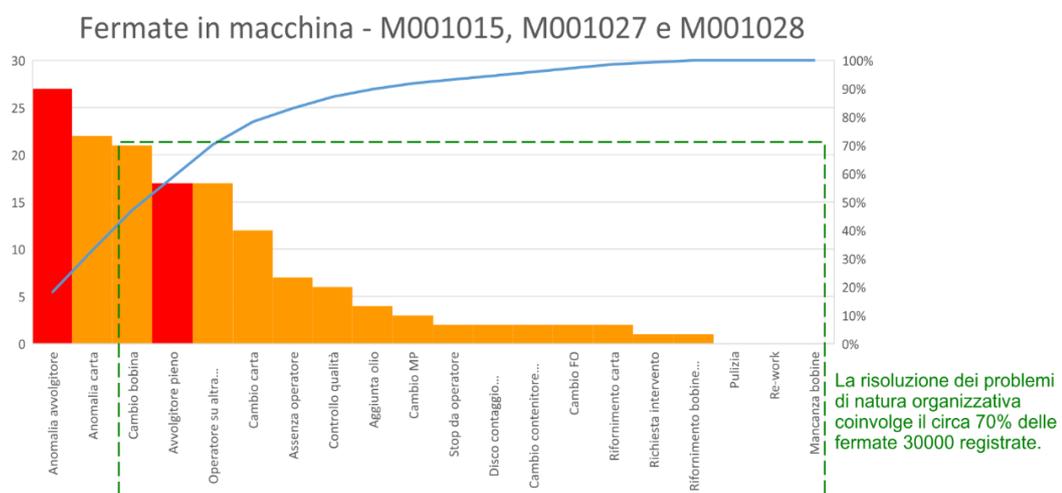


Figura 2.9. 7 – Osservazione delle principali cause di fermo macchina in codice 30000 con durata maggiore dei 6 minuti

Si osserva che, eliminate le cause di guasto tecnico come l’anomalia dell’avvolgitore e della carta, il restante gruppo di cause annotate, che incidono per il 70% del totale (viene quasi rispettata la regola dell’80%) sono di natura organizzativa. Sono fermi macchina imputabili a tempi morti fra un FO terminato e il caricamento di quello nuovo, ritardi nel cambio delle bobine piene sugli avvolgitori, operatori lontani dalla macchina perché impegnati a lavorare su altre, ritardi nel rabbocco dell’olio e così via. Per poter migliorare questi aspetti l’applicativo MES può essere un valido alleato in quanto:

- Possono essere ridotti i tempi di cambio commessa in quanto la visualizzazione dei tempi di produzione e l'indicazione di quanto manca al completamento della stessa può permettere all'operatore di prepararsi per tempo diminuendo drasticamente le attese.
- Un sistema MES permette la segnalazione di errori o di problemi riscontrati su una macchina tramite l'invio di segnali di allerta a dispositivi mobili quali per esempio smartphone o tablet. Il sistema può essere in grado di rilevare il quasi riempimento di una bobina, avvertendo per tempo l'operatore che può cominciare ad attrezzarsi per la risoluzione del problema prima che questo avvenga, oppure può inviare un segnale quando il livello dell'olio sta calando troppo.
- Un controllo digitale del processo di qualità, come è stato già presentato, genera automaticamente le richieste di ispezione in base alla frequenza impostata, grazie all'utilizzo di monitor e tablet, gli addetti al controllo qualità sono in grado di procedere in ordine, secondo la scaletta prefissata, agendo in maniera tempestiva riducendo così i tempi di attesa per il controllo dell'LI.

## 2.10 – FRB – AP

La FRB-AP, acronimo di *Fast Response Board – Action Plan*, è uno degli strumenti utilizzati, come l'Andon, all'interno della filosofia della Lean Production e della Lean Manufacturing per la gestione ed eliminazione di problemi ed errori all'interno dello stabilimento produttivo. È una tabella, cartacea, sulla quale vengono appuntate le problematiche che occorrono durante la produzione, in maniera da poterle osservare, capire quali siano le più ricorrenti e ricercarne la causa scatenante in modo da poterla risolvere. Una copia di essa è stampata, appesa ad una lavagna e posizionata al centro di ogni settore in modo che possa essere visibile a tutto il personale di fabbrica. In figura 2.10.1 è riportata una parte della tabella utilizzata in azienda.



# FRB | AP

**5G – 5 Tappe Fondamentali**  
 Genba = luogo reale  
 Genbutsu = pezzi reali  
 Genjitsu = realtà (documentazione dei fatti)  
 Genji = documentazione generale - std  
 Genjoku = applicazione standard

**Fast Response Board (= Gestione Risposta Rapida) & Action Plan (= Piano di Azione)**  
Gestione reclami interni & QCPC

Problema	Allerta o Escalation	Azioni immediate	Causa	Azioni definitive	Validazione di tutti i fatti	Commenti del Responsabile	Firma del Responsabile
Comparare i pezzi / situazione di scatto con quella buona Cosa è successo? N° <input type="checkbox"/> Riuscita <input type="checkbox"/> Riuscita Rif. ? Sicurezza Quando? / / / Ora? : : Ecologia Dove? / / / Qualità Chi? / / / Tempo Std Come? / / / Manutenzione Quanti? / / / Altro? Perché? / / /	Chi è stato allertato? <input type="checkbox"/> Capoturno <input type="checkbox"/> Supervisor <input type="checkbox"/> Securista <input type="checkbox"/> Manu-Eng <input type="checkbox"/> Line Inspector <input type="checkbox"/> Qualità <input type="checkbox"/> Manu-Eng <input type="checkbox"/> Logistica <input type="checkbox"/> VS-Leader <input type="checkbox"/> Plant Manager <input type="checkbox"/>	Devo fare una selezione? <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No Risultato selezione / Azioni immediate: Chi? / / / Ora ripartenza? : :	Cosa abbiamo appreso? Cosa ha generato il problema? Perché non lo abbiamo visto? 5 Perché? 1° Perché? ↓ 2° Perché? ↓ 3° Perché? ↓ 4° Perché? ↓ 5° Perché? ↓	Che devo fare per eliminare definitivamente il problema? Dobbiamo migliorare lo standard? Chi? / / / Quando? data prevista data reale Come? / / /	Validazione di tutti i fatti 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>	Commenti del Responsabile (P, D, A, C)	Firma del Responsabile Capoturno Supervisor VS-Leader Altri : Da risalire <input type="checkbox"/>
N° <input type="checkbox"/> Riuscita <input type="checkbox"/> Riuscita Rif. ? Sicurezza Quando? / / / Ora? : : Ecologia Dove? / / / Qualità Chi? / / / Tempo Std Come? / / / Manutenzione Quanti? / / / Altro? Perché? / / /	Chi è stato allertato? <input type="checkbox"/> Capoturno <input type="checkbox"/> Supervisor <input type="checkbox"/> Securista <input type="checkbox"/> Manu-Eng <input type="checkbox"/> Line Inspector <input type="checkbox"/> Qualità <input type="checkbox"/> Manu-Eng <input type="checkbox"/> Logistica <input type="checkbox"/> VS-Leader <input type="checkbox"/> Plant Manager <input type="checkbox"/>	Devo fare una selezione? <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No Risultato selezione / Azioni immediate: Chi? / / / Ora ripartenza? : :	Cosa abbiamo appreso? Cosa ha generato il problema? Perché non lo abbiamo visto? 5 Perché? 1° Perché? ↓ 2° Perché? ↓ 3° Perché? ↓ 4° Perché? ↓ 5° Perché? ↓	Che devo fare per eliminare definitivamente il problema? Dobbiamo migliorare lo standard? Chi? / / / Quando? data prevista data reale Come? / / /	Validazione di tutti i fatti 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>	Commenti del Responsabile (P, D, A, C)	Firma del Responsabile Capoturno Supervisor VS-Leader Altri : Da risalire <input type="checkbox"/>
N° <input type="checkbox"/> Riuscita <input type="checkbox"/> Riuscita Rif. ? Sicurezza Quando? / / / Ora? : : Ecologia Dove? / / / Qualità Chi? / / / Tempo Std Come? / / / Manutenzione Quanti? / / / Altro? Perché? / / /	Chi è stato allertato? <input type="checkbox"/> Capoturno <input type="checkbox"/> Supervisor <input type="checkbox"/> Securista <input type="checkbox"/> Manu-Eng <input type="checkbox"/> Line Inspector <input type="checkbox"/> Qualità <input type="checkbox"/> Manu-Eng <input type="checkbox"/> Logistica <input type="checkbox"/> VS-Leader <input type="checkbox"/> Plant Manager <input type="checkbox"/>	Devo fare una selezione? <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No Risultato selezione / Azioni immediate: Chi? / / / Ora ripartenza? : :	Cosa abbiamo appreso? Cosa ha generato il problema? Perché non lo abbiamo visto? 5 Perché? 1° Perché? ↓ 2° Perché? ↓ 3° Perché? ↓ 4° Perché? ↓ 5° Perché? ↓	Che devo fare per eliminare definitivamente il problema? Dobbiamo migliorare lo standard? Chi? / / / Quando? data prevista data reale Come? / / /	Validazione di tutti i fatti 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>	Commenti del Responsabile (P, D, A, C)	Firma del Responsabile Capoturno Supervisor VS-Leader Altri : Da risalire <input type="checkbox"/>

Figura 2.10. 1 – Esempio di Fast Response Board & Action Plan

In particolare, la FRB-AP è da tempo utilizzata per snocciolare le cause scatenanti di un guasto o di un qualunque problema, ricorrente o nuovo, che riguardi la QCPC, cioè l'analisi delle bollature delle macchine, come spiegato nel paragrafo

precedente, per cause di guasto meccanico, elettrico, ecc. Ogni volta che un nuovo tipo di problema viene fuori, questo deve essere annotato sul tabellone riportato in figura 2.10.1, inserendo nella seconda colonna:

- Cosa è stato osservato
- Da chi è stato osservato
- Quando è stato osservato
- In quale maniera è stato rilevato
- Come è stato risolto temporaneamente il problema
- Una prima descrizione del perché un problema è avvenuto

Completata questa parte si definisce, sulla natura della gravità dell'accadimento, a chi far risalire il problema, se ad un caporeparto, capoturno, responsabile di settore, manutentori o altro. Nella terza colonna è presente uno spazio vuoto per eventuali commenti da annotare. Completata la fase descrittiva del problema, si procede a compilare quella analitica della ricerca delle cause, si utilizza un approccio chiamato dei *cinque perché*. Questo approccio serve per evitare di focalizzarsi su cause superficiali, che, qualora venissero risolte, non sarebbero sufficienti per eliminare il problema alla radice e non impedirebbero che queste si ripresentino ancora in futuro. La tecnica 5w (5 why – 5 perché) consiste nel porsi, davanti ad un problema, una serie a cascata di cinque perché finché, appunto, non si arriva ad identificare la *root cause*, cioè il problema sorgente su cui intervenire. Il problema sarà poi analizzato da una squadra dedicata di tecnici specializzati, in modo da trovare la soluzione necessaria per risolverlo definitivamente. Qui viene in soccorso la metodologia d'azione PDCA ed il ciclo di Deming, rappresentato nella penultima colonna della FRB-AP. Il ciclo di Deming serve per definire le fasi per la realizzazione di un progetto il cui fine è quello di migliorare una situazione critica o non perfetta.

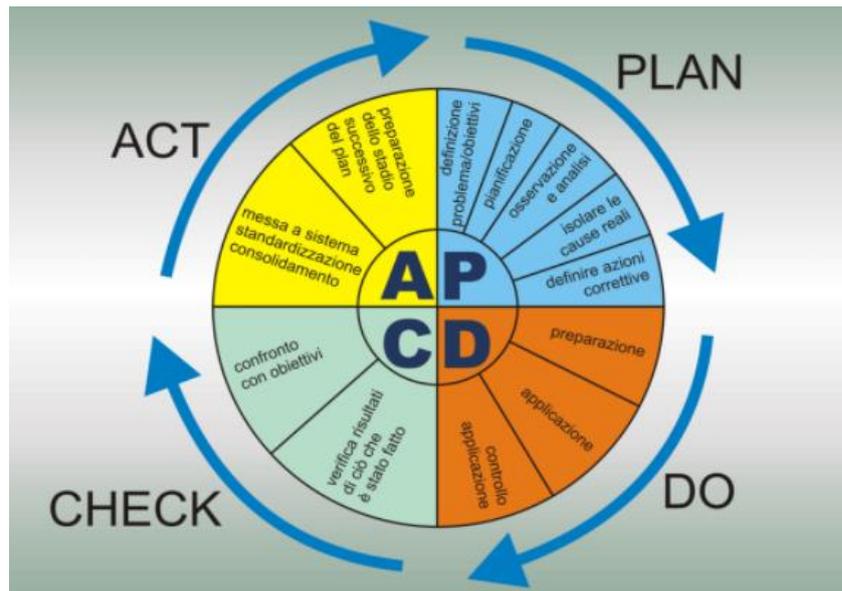


Figura 2.10. 2 – Ciclo di Denim - [www.isoarcadia.it](http://www.isoarcadia.it)

Ogni lettera dell'acronimo PDCA indica una precisa fase:

- P = plan = pianificazione. Ogni progetto deve partire da un'attenta osservazione del problema, un'accurata indagine delle cause attraverso il metodo 5w e da una precisa pianificazione di azioni da eseguire.
- D = do = fare. Dopo aver terminato la pianificazione delle azioni per il progetto è necessario metterle in pratica su una piccola porzione di linea produttiva, per esempio solo su alcune macchine, o solo in determinati reparti, in modo da poter testare l'efficacia delle soluzioni adottate.
- C = check = controllo. Una volta che è stato testato il piano d'intervento è necessario misurare e controllare effettivamente che le azioni intraprese abbiano migliorato la situazione precedente, abbiano risolto o arginato almeno in parte un problema oppure se non è cambiato nulla. Nella fase check quindi si può arrivare al punto di dover tornare all'inizio del cerchio e cercare nuove soluzioni da mettere in piedi e da testare in caso di un fallimento del piano messo in azione. In caso invece di un esito positivo del check, allora si può considerare conclusa questa fase e passare alla successiva.

- A = act= azione. È l'ultimo step del cerchio e consiste nell'implementare su tutta l'azienda l'azione pianificata di miglioramento e rendere la nuova procedura standardizzata e consolidata. Una volta arrivati alla conclusione dell'ultimo gradino si può considerare il problema sorgente come risolto ed eliminare dalla FRB la riga relativa.

Questa metodologia di azione è rivolta principalmente ai problemi di natura organizzativa o tecnica, problemi meccanici, guasti elettrici o di carattere relativo alla sicurezza sul lavoro degli operatori. Quello che si vuole ottenere però è integrare, in modalità digitale, il sistema della FRB – AP al controllo di processo digitale che è in corso di sviluppo. Si vuole cioè ottenere una libreria digitale degli accadimenti degli alert generati dal controllo dSPC (digital SPC) in maniera tale da poter catalogare, sulla base della frequenza, quali siano i principali responsabili di derive dei processi produttivi e di non conformità di prodotto. Una volta trovate le cause si procederà alla definizione di azioni standard d'intervento per ogni tipologia di errore trovata sino al momento attuale, in modo tale da ottenere un sistema che in caso di errore sulla linea produttiva, invii un messaggio di alert, notificato via sms o e-mail all'operatore di macchina, riportante una descrizione del problema e anche la corrispettiva azione correttiva da eseguire subito, definita appunto da una squadra di tecnici. In questa maniera si vuole ridurre ulteriormente i tempi d'intervento del personale in maniera da aumentare la produttività delle linee riducendo i tempi di fermo macchina. Per fare questo si procede quasi nello stesso modo in cui si è agito per la creazione delle dQIP. Quasi, perché per la creazione della dFRB-AP non esiste ancora un file Excel da compilare come per le carte di autocontrollo. Pertanto, per ora è stata abbozzata un'idea sul come si vuole che il sistema funzioni, poi saranno incaricati alcuni gruppi informatici esterni di aziende specializzate (Capgemini) per la realizzazione del template da poter caricare ed implementare su Hydra. Allo stato attuale, lo stato d'avanzamento dei problemi rilevati attraverso la FRB cartacea è comunque riportata in formato digitale, un esempio è riportato in figura 2.10.3.

FRB-AP Internal claim tracking system				VSM			STAMPING				VSM Leader:	REV.				
											F. LA CECILIA	Data				
											23/02/2015	5   15   13				
PROBLEMA APERTO SU FRB-AP				CONTROMISURA			PLAN				CHECK	ACT	STATUS			
N.	DATA	DIE	DESCRIZIONE	TIPOLOGIA (TE)	RESPONSABILE			DATA PREVISTA	AZIONE / ATTIVITA'	DATA CHIUSURA	DATA	STANDARDIZZAZIONE VALIDAZIONE	OK	CLOSE	ACT	
					EHS	QA	Perf									Maint
1	8/12/14	3056	BAVA PROFILI+ SMUSSO NON CONFORME PIN 2600852	FERMO STAMPO		X				11/12/14	ADDESTRAMENTO OPERATORI AGGIORNAMENTO SCHEDE DI MANUTENZIONE				X	X
2	8/12/14	25075	LANCIA BASSA A TRATTI	FERMO STAMPO		X				10/12/14	MODIFICA ULTIMA STAZIONE PARTICOLARE IN COSTRUZIONE	WK10			X	
3	10/12/14	25171	PROBLEM MASTICATURA PR.28	RIDOTTA VELOCITA' STAMPO												
4	10/12/14		ANOMALIA MOTORE PR.1	RIDOTTA VELOCITA'						18/12/14	SOSTITUITO MOTORE	18/12/14	20/12/14		X	X
5	12/12/14	11563	SMUSSO ROTTO	FERMO STAMPO		X				16/12/14	AGGIORNATO SCHEDA DI BIA-ATTESA SMUSSI IN VIDA	7/5/15			X	
6	12/12/14	78275	PROVE FUNZIONALI TAMPONE KIO	FERMO STAMPO		X				15/12/14	AGGIORNATO SCHEDA DI BIA + FOTO DIFETTO	20/12/14	formazione sul controllo G.A		X	X
7	13/12/14	78212	CRICCHE BR. WIRE E INS.	FERMO STAMPO		X				14/12/14	INTERVENTO PER CONDIZIONAMENTO PARTICOLARE	14/12/14	16/12/14		X	X
8	15/12/14	78277	CRICCHE SU TERMINALE	FERMO PRODUZIONE		X				15/12/14	SOSTITUZIONE MATERIA PRIMA DIFETTOSA-CAMBIATO FORNITORE	17/12/14	18/12/14		X	X
9	18/12/14	1388	DEFORMAZIONE LANCIA	FERMO STAMPO		X				19/12/14	SOSTITUZIONE GUIDA STAMPO	19/12/14	21/12/14		X	X
10	8/1/15	22035	LANCIA BASSA	FERMO STAMPO		X				WK9	MODIFICA MODULO STAMPO LANCIA	WK9			X	

Figura 2.10. 3 - tabella report FRB - AP attuale, compilazione manuale

Allo stesso modo dell'SPC l'obiettivo è quello di eliminare il passaggio "manuale" della compilazione del tabellone e la corrispettiva "copiatura" sul file digitale. Si vuole che i campi vengano compilati automaticamente da Hydra, per fare questo è necessario estrarre la tabella con gli alert presente nel data base del sistema MES, cioè la tabella riportata in figura 2.8.11, in formato Excel, come mostrato in figura 2.10.4.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Event ID	Event Desc	Event Type	Group Name	Event Source	Event Process	Status	Created	
34667	Event 'SPC Alert for 1534073-2 (0) - gap_dx: OOC Rule Violation on I-Mr calc range upper Limits, Value0.0127 ,2020-07-04 04:00:00AM, USL0.5, LSL0.3, UCL0.012615075, LCL0' encountered at machine 'SPC' requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>,SPCAAlertID: <18478288>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	9	04/07/2020 05:08:58	
34666	Event 'SPC Alert for 1534073-2 (0) - horiz_gap1: OOC Rule Violation on I-Mr calc range upper Limits, Value0.0436 ,2020-07-04 01:30:00AM, USL3.2, LSL2.6, UCL0.0386991, LCL0' encountered at machine 'SPC' requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>,SPCAAlertID: <18471548>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	9	04/07/2020 02:38:59	
34665	Event 'SPC Alert for 1534073-2 (0) - horiz_gap1: OOC Rule Violation on I-Mr calc mean upper Limits, Value2.9405 ,2020-07-04 01:15:00AM, USL3.2, LSL2.6, UCL2.9400387888042124, LCL2.8812501020846764' encountered at machine 'SPC' requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>,SPCAAlertID: <18471277>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	9	04/07/2020 02:23:59	
34664	Event 'SPC Alert for 1534073-2 (0) - depth_sx: OOC Rule Violation on I-Mr calc range upper Limits, Value0.0903 ,2020-07-03 23:45:00PM, USL5.1, LSL4.7, UCL0.0871695, LCL0' encountered at machine 'SPC' requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>,SPCAAlertID: <18470772>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	9	04/07/2020 00:54:00	
34663	Event 'SPC Alert for 1534073-2 (0) - gap_dx: OOC Rule Violation on I-Mr calc range upper Limits, Value0.0165 ,2020-07-03 23:00:00PM, USL0.5, LSL0.3, UCL0.014471325, LCL0' encountered at machine 'SPC' requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>,SPCAAlertID: <18468835>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	9	04/07/2020 00:14:00	
34662	Event 'SPC Alert for 1534073-2 (0) - depth_sx: OOC Rule Violation on I-Mr calc mean upper Limits, Value4.9117 ,2020-07-03 22:45:00PM, USL5.1, LSL4.7, UCL4.9075843036750485, LCL4.772155696324952' encountered at machine 'SPC' requires your attention!, Part Number: <1534073-2 (0)>, Tool Number: <>,SPCAAlertID: <18467561>	SSRN	TWX Receiver Group A	SPC	TWX.SPC	9	03/07/2020 23:54:00	

Figura 2.10. 4 - Esportazione automatica su Excel degli alert generati dal controllo SPC in L3

Questi dati devono essere inseriti automaticamente all'interno dei campi del file Excel della FRB digitalizzata, in figura 2.10.5 viene mostrata la prima bozza che è stata realizzata per eseguire questo compito.



- chiedere che venga effettuata sul lotto in questione una seconda ispezione di verifica manuale, in modo da essere certi che il problema esista;
- ignorare l'allarme e far continuare la produzione perché giudicata irrilevante.

Nel caso in cui invece nessuna selezione venga fatta perché la gravità del problema è di tale rilevanza che un semplice intervento non sia sufficiente, allora la produzione viene bloccata ed un intervento da parte dei tecnici è richiesta. Sempre nella sezione arancione sono presenti altre colonne da compilare per indicare la data e l'ora dell'accadimento e della risoluzione del problema, la descrizione di questo ed il nome di chi ha preso la decisione. La sezione verde chiaro invece è di competenza della squadra di tecnici, che hanno il compito di ricercare i perché di questi problemi e di proporre dei piani d'azione per eliminarli. Anche qui sono presenti delle colonne per l'inserimento dei "why", una per l'azione che dovrebbe essere quella necessaria per la risoluzione definitiva del problema, la data entro la quale si prevede di eliminarlo ed il nome del responsabile incaricato di questi compiti. Infine, nella sezione verde sono presenti le celle per il check delle soluzioni di intervento proposte. Se le azioni saranno considerate efficaci, queste verranno validate e standardizzate, cioè nel momento in cui uno di questi problemi dovesse verificarsi, l'Andon segnalerà l>alert ed insieme a questo anche la soluzione da adottare per risolverlo. In questo modo gli operatori di macchina saranno in grado di prendere decisioni certe e corrette in maniera rapida e tempestiva.

# Capitolo 3

## Conclusioni

### 3.1 – Risultati ottenuti e stimati

Per poter affermare che un progetto di miglioramento sia efficiente e che effettivamente apporta delle migliorie al processo produttivo, è necessario presentare dei numeri che lo dimostrino. In particolare, il processo di digitalizzazione del controllo qualità deve, come abbiamo detto:

- ridurre il carico di lavoro attribuito al personale automatizzando alcuni processi di acquisizione dati.
- Aumentare la produttività della linea produttiva grazie all'impiego dell'Agnostic Andon che permette di ridurre i tempi di intervento sulle macchine e quindi il tempo complessivo di fermo macchina.
- Ridurre lo scarto prodotto dovuto all'impiego del controllo statistico in tempo reale grazie all'utilizzo delle telecamere.

Per il momento, l'unico reparto, come è stato già detto, ad essere dotato di telecamere per il livello L3 di capability, è l'Assembly, che conta tre macchine implementate. È stato prima osservato il processo di controllo qualità in maniera tradizionale, e di questo ne sono stati misurati i tempi affinché questo venga completato. Allo stato tradizionale, le QIP contano una serie di misure da eseguire manualmente che si distinguono in due categorie:

- Nella prima ricadono quelle di misura che possono essere rilevate tramite telecamere, come per esempio la Gap, la profondità di piantaggio e la simmetria, e le ispezioni chiamate *check*, che sono delle verifiche visuali di una caratteristica, come per esempio il colore, la presenza o meno di una cavità o di un riferimento.

- Nella seconda invece tutte quelle di misura che non possono essere rilevate tramite telecamere perché è richiesta una manipolazione del pezzo prodotto da parte dell'operatore, cioè che il pezzo venga girato, oppure perché una misura è interna al pezzo e strumenti particolari, quali per esempio il calibro, sono necessari.

Pertanto, nella configurazione attuale, entrambe le categorie sono a carico dell'operatore ed il tempo medio misurato per eseguire tutte le misure richieste da una QIP, su una settimana di arco temporale, è stato di 5 minuti, per il primo gruppo di misurazioni, e 36 per il secondo.

Senza digitalizzazione		
Ispezioni eseguibili tramite telecamera		
tempo impiegato per ogni QIP	5	Minuti
Numero di QIP al giorno	24	checks/giorno
TOTALE	2	Ore/giorno
Ispezioni generali non eseguibili tramite telecamera		
tempo impiegato per ogni QIP	36	Minuti
Numero di QIP al giorno	6	checks/giorno
TOTALE	3,6	Ore/giorno
<b>Totale</b>	<b>5,6</b>	<b>Ore/giorno</b>

*Tabella 1 - Analisi tempi necessari per la compilazione di una QIP*

Per quanto riguarda il primo gruppo, il tempo osservato per la rilevazione delle grandezze è stato di 5 minuti, con una frequenza di acquisizione di un'ora. Pertanto, il tempo totale impiegato in una giornata lavorativa per eseguire tutte le ispezioni è stato di 2 ore. Per la seconda categoria, invece, il tempo rilevato necessario per eseguire tutte le misurazioni è stato di 36 minuti, con una frequenza di acquisizione di 4 ore. Il tempo totale necessario nell'arco dell'intera giornata media è stato di 3.6 ore. Il tempo quindi impiegato dagli operatori per eseguire tutte le ispezioni su una singola macchina è stato stimato essere di 5.6 ore al giorno. Durante le ispezioni di qualità, i macchinari vengono arrestati fino al completamento della scheda di autocontrollo, e quindi queste ore risultano essere tempi improduttivi. Attraverso l'utilizzo del sistema L3, il lavoro a carico dell'operatore viene alleggerito in quanto

il primo gruppo di ispezioni viene totalmente eseguito dalle telecamere, con un guadagno di 2 ore al giorno di produttività. Inoltre, l'adozione di smart device a bordo macchina, quali per esempio i calibri connessi in rete, consentono all'addetto macchina di non doversi recare al centro di controllo qualità di reparto per eseguire la misurazione, ma può semplicemente rimanere alla sua postazione ed il valore rilevato viene automaticamente caricato su Hydra. Anche per il secondo gruppo quindi si è notata una riduzione in termini di tempo richiesto di 3 minuti per QIP per un totale risparmiato di 18 minuti al giorno. Sommando i due contributi si passa da 5.6 ore al giorno necessarie per ogni macchina per eseguire le ispezioni a 3.3, con un guadagno di 2.3 ore al giorno di produttività.

Con digitalizzazione		
Ispezioni eseguibili tramite telecamera		
tempo impiegato per ogni QIP	0	Minuti
Numero di QIP al giorno	0	checks/giorno
TOTALE	0	Ore/giorno
Ispezioni generali non eseguibili tramite telecamera		
tempo impiegato per ogni QIP	33	Minuti
Numero di QIP al giorno	6	checks/giorno
TOTALE	3,3	Ore/giorno
<b>Totale</b>	<b>3,3</b>	<b>Ore/giorno</b>

Tabella 2 - Analisi tempi necessari per la compilazione di una digital QIP al livello L3

Per determinare il guadagno annuo in termini di ore per ogni macchina, si deve tenere conto dell'OEE, ovvero *l'overall equipment effectiveness*, cioè l'indice di efficienza. Una macchina perfetta, con OEE uguale a 1, dovrebbe lavorare senza mai fermarsi, senza produrre difetti e sempre con la stessa velocità, ma è ben noto che è impossibile che questo accada. Il parametro OEE viene calcolato come:

$$OEE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{E}{D}$$

Dove:

- A è il tempo operativo netto della macchina.
- B è il tempo totale a disposizione.
- C è l'obiettivo di produzione.
- D è la produzione effettiva.
- E è la quantità di produzione effettivamente conforme alle specifiche.

Quindi, per ogni macchina bisogna correggere il valore di 2.3 ore di guadagno per il proprio OEE ed in seguito si può calcolare, in termini economici, quale sia l'effettivo ritorno. Per questo è stato calcolato che ogni ora di produzione genera mediamente 30\$ di guadagno.

Work Center	ore guadagnate	OEE	Ore guadagnate corrette	giorni di funzionamento all'anno	ore effettive guadagnate all'anno	Produzione oraria [\$]	Vantaggio dovuto all'impiego del sistema L3 [\$]
W026760	2,3	0,87	2,00	336	672,3	30	20170,08
W026761	2,3	0,92	2,12	336	711,0	30	21329,28
W026762	2,3	0,71	1,63	336	548,7	30	16460,64
						Totale	57960

*Tabella 3 - Vantaggio economico annuo grazie all'adozione del livello L3 su tre macchine del reparto assembly*

È stato quindi stimato che l'impiego di un sistema L3 su 3 sole macchine del reparto Assembly è in grado di generare un guadagno lordo di \$57960 soltanto eliminando i tempi morti dovuti all'esecuzione delle ispezioni del primo gruppo. A questo valore devono essere sottratti i costi fissi che sono imputabili unicamente all'affitto dell'AWS (Amazon Web Service), cioè dello spazio cloud offerto da Amazon. L'affitto dell'AWS ammonta per le tre macchine a \$18.53 al giorno, che allocato per ogni macchina diventa \$6.17. Il numero di giorni operativi all'anno è stato stimato di 336 in quanto vengono tenuti in considerazione i periodi di chiusura e le festività. Il costo delle telecamere, essendo un investimento iniziale non viene tenuto in considerazione.

Work Center	giorni di funzionamento all'anno	costo AWS al giorno [\$]	Costo Annuo [\$]
W026760	336	6,17	2073,12
W026761	336	6,17	2073,12
W026762	336	6,17	2073,12
		<b>Totale</b>	<b>6219,36</b>

Tabella 4 - Costo dell'affitto del cloud Amazon

Pertanto, tenendo solo in considerazione gli aspetti legati all'aumento della produttività delle sole 3 macchine funzionanti in L3, si può affermare che il progetto porti ad un profitto netto di \$51740.64 all'anno.

Resoconto del progetto [\$]	
Guadagni derivanti dall'aumento della prod.	57960,00
Costo dell'Amazon Cloud	6219,36
<b>Beneficio netto del progetto annuo</b>	<b>51740,64</b>

Tabella 5 - Beneficio netto atteso annuo grazie all'applicazione del progetto

Inoltre, l'utilizzo della digitalizzazione permette di raggiungere più facilmente i KPI di reparto grazie all'aumento del tasso di produttività delle macchine e alla riduzione dei tempi di fermo macchina.

Miglioramento dei parametri prestazionali di reparto			
somma delle tre macchine	Senza digitalizzazione	Dopo digitalizzazione	incremento
Ore medie settimanali a disposizione	456,80	456,79	-
Ore medie settimanali senza pianificazione	8,84	8,84	-
Ore medie settimanali in produzione	305,95	342,41	10,6%
Ore medie settimanali dedicate al set up	13,45	13,45	-
<b>Ore medie settimanali di fermo macchina</b>	<b>128,56</b>	<b>92,09</b>	<b>-39,6%</b>

Rapporto ore produzione/settimanali	67,0%	75,0%
Rapporto ore fermo macchina/settimanali	28,1%	20,2%
Rapporto produzione/fermo macchina	42,0%	26,9%

Tabella 6 - Analisi dei parametri di performance delle macchine funzionanti al livello L3

Si può notare un incremento della produttività del 10.6% ed una corrispondente riduzione nel tasso di fermo macchina del 39.6% semplicemente considerando il miglioramento dovuto alla riduzione dei tempi impiegati per alcune ispezioni. Si può affermare quindi che i vantaggi che tale sistema può apportare all'intero plant

sono decisamente impattanti e di notevole entità. Un altro aspetto che si dovrebbe tenere in considerazione è quello legato all'impatto che avrebbe l'impiego della digitalizzazione e del livello L3, per la riduzione degli scarti prodotti in quanto questo sistema ha lo scopo di migliorare il monitoraggio del processo produttivo grazie al rilevamento dei fuori controllo in tempo reale e del blocco della produzione prima che questa produca interi lotti non conformi da buttare.

### **3.2 – Considerazioni finali**

Il presente lavoro di tesi ha avuto lo scopo di presentare nella prima parte cosa sia la quarta rivoluzione industriale, cosa si intenda per Industria 4.0 e per Digital Factory in senso teorico. Nel secondo capitolo invece si è voluta presentare una dimostrazione pratica di come sia possibile, per un'industria manifatturiera, iniziare una trasformazione del genere e presentare un'accurata descrizione di ciò che si è fatto e realizzato. Il progetto è solo agli albori, ed infatti non tutte le tecnologie descritte nei paragrafi del primo capitolo sono state utilizzate, ma i primi effetti e benefici sono ben visibili e tangibili come dimostrato e presentato nel paragrafo precedente. Ancora tanti passi devono essere compiuti prima di arrivare alla completa digitalizzazione dell'azienda ed è certo, sulla base dei risultati ottenuti, che questi verranno mossi, sia sul plant in cui è stato condotto il tirocinio che nelle altre sedi dislocate per il mondo della multinazionale. Il punto di partenza di questo progetto è stato appunto la trasformazione digitale del processo di controllo qualità e della produzione tramite l'utilizzo di internet, del cloud e dell'analisi dati. I prossimi step da compiere in ottica di digitalizzazione riguardano l'impiego di lettori e tag RFID (Radio Frequency Identification) per la tracciabilità dei prodotti e delle attività all'interno dell'azienda, l'implementazione della realtà aumentata per l'assistenza tecnica da remoto per la manutenzione degli impianti e la creazione di architetture informatiche per il controllo e la programmazione da remoto delle macchine attraverso la rete privata aziendale. Nonostante il tema principale di questo elaborato sia la digitalizzazione e l'automazione, un aspetto che merita di essere citato e che non deve essere dimenticato è il fattore umano. Spesso, parlando di digitalizzazione e di industria 4.0, la prima cosa a cui si pensa è che molte persone perderanno il posto di lavoro a causa dell'inserimento di robot e altre tecnologie che prenderanno il loro posto. Questo non è corretto, perché l'impiego di tecnologie digitali all'interno di un'azienda sono un ausilio al lavoro e non un sostituto, infatti il personale sarà alleggerito dalle mansioni fisicamente più gravose o da azioni ripetitive e monotone, permettendo loro di investire il loro tempo in attività a maggior valore aggiunto e più stimolanti. Ciò che è certo, è che nel prossimo futuro si assisterà ad una variazione delle competenze richieste nel mondo del lavoro,

pertanto è necessario investire, oltre che per digitalizzare, anche per istruire e aumentare le skill e le competenze delle future figure professionali. Uno dei maggior problemi rilevati durante il lavoro di tirocinio in azienda, è stato il dover affrontare lo scetticismo, e a tratti anche l'ostilità, di alcune figure professionali presenti in officina, probabilmente intimorite dal doversi interfacciare con tecnologie a loro non familiari e con la credenza che tutto questo venga fatto al fine di controllare il loro operato. Questi sentimenti, normali e anche comprensibili, sono stati facilmente sconfitti con il semplice dialogo ed il coinvolgimento di tutto il personale nell'ottica del progetto, presentando e mostrando con chiarezza a che cosa si stia lavorando, in quale direzione e con quali obiettivi. Un fenomeno interessante si è verificato nel reparto Assembly, il settore in cui per ora si è raggiunto il maggior livello di capability, poiché ad inizio progetto il personale di macchina non comprendeva con chiarezza le motivazioni per le quali dovevano inserire le quote che rilevavano all'interno di un computer, ma, una volta che il programma di testing è stato concluso e si è passati ad operare a livello production, ed è stato mostrato loro a che cosa stavano contribuendo, facendo vedere loro grafici e andamenti di produzione, osservando che l'impiego delle telecamere effettivamente stava alleggerendo il loro carico di lavoro e non glielo stava sottraendo. Ecco, a questo punto hanno colto lo spirito del progetto, stavano contribuendo anche loro a questa trasformazione, hanno percepito, attraverso il coinvolgimento e la chiarezza, di essere attori protagonisti e non semplici comparse, han percepito il fatto che l'azienda stesse realmente agendo per migliorare la loro condizione di lavoro e che il loro tempo potesse essere investito in maniera più efficace e produttiva, ed in questo modo si sono sentiti responsabilizzati, coinvolti, incuriositi e motivati.



## Indice delle figure

Figura 1.1. 1 - Telaio a vapore – <a href="http://www.storiadellatecnologia.com">www.storiadellatecnologia.com</a> .....	3
Figura 1.1. 2 - Catena di montaggio Ford – <a href="http://www.treccani.it">www.treccani.it</a> .....	4
Figura 1.1. 3 - Robot industriali – <a href="http://www.automazione.it">www.automazione.it</a> (integrata, 2017).....	5
Figura 1.1. 4 - schema industria 4.0 – <a href="http://www.convertinmagazine.it">www.convertinmagazine.it</a> .....	6
Figura 1.2. 1 – rivoluzioni industriali - <a href="http://www.mise.gov.it">www.mise.gov.it</a> .....	8
Figura 1.2. 2 – Tecnologie abilitanti - <a href="http://www.mise.gov.it">www.mise.gov.it</a> .....	9
Figura 1.2. 3 – Robot industriali – <a href="http://www.Eurobots.it">www.Eurobots.it</a> (Girollo, 2016).....	10
Figura 1.2. 4 – Robot medico Da Vinci – <a href="http://www.lastampa.it">www.lastampa.it</a> (Di Todaro, 2018)....	11
Figura 1.2. 5 – schema stampante 3D - <a href="http://www.3dprint-av.com">www.3dprint-av.com</a> .....	12
Figura 1.2. 6 – Esempio di oggetto stampato 3D in cui si vedono gli strati stampati (dx), e modello che si vorrebbe ottenere (sx) – <a href="http://www.anterem.it">www.anterem.it</a> .....	13
Figura 1.2. 7 – Esempio di esperienza immersiva 3D offerta da google – <a href="http://www.arvr.google.com">www.arvr.google.com</a> .....	16
Figura 1.2. 8 – Esempio di esperienza immersiva 3D nel progetto di un plant industriale in corso di progetto. - <a href="http://www.cmprojecting.de">www.cmprojecting.de</a> .....	17
Figura 1.2. 9 – Realtà aumentata a servizio dell'operatore – <a href="http://www.headapp.it">www.headapp.it</a> ....	17
Figura 1.2. 10 – esempio di applicazione di supporto della realtà aumentata per manutenzione motore - <a href="http://www.headapp.it">www.headapp.it</a> .....	18
Figura 1.2. 11 – Piramide dell'automazione a 5 livelli .....	20
Figura 1.2. 12 – Flusso delle informazioni lungo la Piramide dell'automazione .	23
Figura 1.2. 13 – Rete di informazioni nell'industria 4.0.....	25
Figura 1.2. 14 – Schema riassuntivo integrazione orizzontale e verticale – Fonte: Roland Berger .....	27
Figura 2.1. 1 – Esempio di connettori prodotti .....	37
Figura 2.1. 2 – Bandella metallica su pressa reparto Stamping .....	38
Figura 2.1. 3 – Pressa reparto Stamping in alto. Dettaglio dei prodotti in basso..	39
Figura 2.1. 4 – Avvolgitore bobina per prodotto finito.....	40
Figura 2.1. 5 – bobina di connettori metallici .....	40
Figura 2.1. 6 – Pressa stampaggio plastica reparto Molding .....	41
Figura 2.1. 7 Stampo chiuso durante l'iniezione del materiale fuso (Sinistra); Stampo aperto con prodotto stampato (destra).....	42
Figura 2.3. 1 – cause comuni e speciali - <a href="http://www.managementacademy.it">www.managementacademy.it</a> .....	47
Figura 2.3. 2 – Distribuzione normale di una popolazione di dati (International Six Sigma Institute).....	48
Figura 2.3. 3 – probabilità che i punti ricadano nelle diverse zone – <a href="http://www.qualityi.it">www.qualityi.it</a> .....	49
Figura 2.3. 4 – coefficienti per il calcolo dei limiti delle carte di controllo - (Montgomery, 2000) .....	53

Figura 2.3. 5 – esempio di carta di controllo X – R – norma tecnica: UNI ISO 8258:2004 (Metodi statistici per la gestione dei PR, 2004).....	54
Figura 2.3. 6 – efficienza al crescere del numero di campioni n .....	55
Figura 2.3. 7 – diversi tipologie di cp .....	59
Figura 2.3. 8 – Influenza di uno scostamento di $\mu$ di 1.5 $\sigma$ dal valore nominale - (Mitalc, s.d.) .....	61
Figura 2.4. 1 – schermata Hydra, elenco terminali video delle macchine presenti sul plant .....	62
Figura 2.4. 2 – Videata a bordo macchina tramite applicazione MES.....	63
Figura 2.4. 3 – Diagramma riportante il flusso delle informazioni, a partire dall’acquisizione degli ordini fino al caricamento delle macchine operatrici presenti sul plant .....	64
Figura 2.4. 4 – Schermata riassuntiva delle operazioni di un generico ordine di produzione.....	65
Figura 2.5. 1 – Esempio di scheda di autocontrollo e benessere .....	67
Figura 2.6. 1 – Digital Factory Installation Charter, schema della configurazione del sistema.....	69
Figura 2.6. 2 – Schema di realizzazione, approvazione e caricamento delle schede digitali di controllo.....	70
Figura 2.6. 3 – Screenshot del foglio Header.....	71
Figura 2.6. 4 – Screenshot del foglio Event.....	71
Figura 2.6. 5 – Screenshot del foglio Details table .....	72
Figura 2.6. 6 – Screenshot del foglio Details table .....	73
Figura 2.6. 7 – Screenshot del foglio Master .....	73
Figura 2.6. 8 – Screenshot del foglio Sincronizzazione.....	74
Figura 2.6. 9 – libreria schede dQIP su PDMLink.....	75
Figura 2.6. 10 – Creazione del link fra dQIP e documentazione relativa PN.....	76
Figura 2.6. 11 – Diagramma completo dell’upload in rete delle schede digitali di benessere e autocontrollo.....	76
Figura 2.6. 12 – Schermata aggiornata del terminale a bordo macchina .....	77
Figura 2.6. 13 – Schermata per l’inserimento dati del controllo qualità.....	77
Figura 2.6. 14 – Elenco richieste di ispezione generate da Hydra .....	78
Figura 2.6. 15 – Richiesta ispezioni generate su una macchina del reparto Assembly.....	79
Figura 2.6. 16 – Elenco delle misurazioni da eseguire per ogni richiesta di ispezione.....	80
Figura 2.6. 17 – Dettaglio della misura da ispezionare che si troverà davanti l’operatore .....	80
Figura 2.6. 18 – Report utilizzo del sistema digitale di controllo qualità .....	81

Figura 2.7. 1 – Classificazione dei livelli di capacità del sistema.....	82
Figura 2.8. 1 – Schema funzionamento Andon.....	86
Figura 2.8. 2 – schermata TWX, Run Chart .....	89
Figura 2.8. 3 – Schermata TWX - I – MR Chart .....	90
Figura 2.8. 4 – Elenco regole impostate.....	91
Figura 2.8. 5 – Telecamere montate su pressa reparto Molding .....	93
Figura 2.8. 6 – Telecamere montate su pressa reparto Stamping.....	93
Figura 2.8. 7 – Architettura livello L2 ed L3 .....	95
Figura 2.8. 8 – Schermata TWX - I – MR Chart con utilizzo telecamere streaming al livello L3 .....	95
Figura 2.8. 9 – Esempio elenco receiving group su Hydra .....	97
Figura 2.8. 10 – Elenco alert su TWX .....	98
Figura 2.8. 11 – Elenco alert su database Hydra.....	99
Figura 2.9. 1 – Esempio dettaglio analisi perdite di una cartiera (Juran, 1988)..	100
Figura 2.9. 2 – Divisione in categorie dei difetti e loro .....	101
Figura 2.9. 3 – Analisi degli impatti dei difetti sulle perdtte .....	102
Figura 2.9. 4 – Elenco principali codici giustificativi per la bollatura delle macchine .....	103
Figura 2.9. 5 – Ordinamento in base al numero di accadimenti dei diversi codici di bollatura.....	104
Figura 2.9. 6 – Analisi degli impatti delle microfermate delle macchine .....	104
Figura 2.9. 7 – Osservazione delle principali cause di fermo macchina in codice 30000 con durata maggiore dei 6 minuti.....	105
Figura 2.10. 1 – Esempio di Fast Response Board & Action Plan .....	107
Figura 2.10. 2 – Ciclo di Denim - <a href="http://www.isoarcadia.it">www.isoarcadia.it</a> .....	109
Figura 2.10. 3 - tabella report FRB - AP attuale, compilazione manuale.....	111
Figura 2.10. 4 - Esportazione automatica su Excel degli alert generati dal controllo SPC in L3 .....	111
Figura 2.10. 5 - Bozza della struttura che si vorrebbe dare alla digital FRB - AP .....	112
Tabella 1 - Analisi tempi necessari per la compilazione di una QIP .....	115
Tabella 2 - Analisi tempi necessari per la compilazione di una digital QIP al livello L3 .....	116
Tabella 3 - Vantaggio economico annuo grazie all'adozione del livello L3 su tre macchine del reparto assembly .....	117
Tabella 4 - Costo dell'affitto del cloud Amazon .....	118
Tabella 5 - Beneficio netto atteso annuo grazie all'applicazione del progetto....	118
Tabella 6 - Analisi dei parametri di performance delle macchine funzionanti al livello L3 .....	118



## Bibliografia e Sitografia

- Borsa Italiana. (2020, Giugno 24). *"Industria 4.0: La quarta rivoluzione industriale"*. Tratto da Borsa Italiana: <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/rivoluzione-252.htm>
- d'Adda, F. (2019, Dicembre 4). *"I dati sono il nuovo petrolio delle compagnie di assicurazioni."* Tratto da [www.ilsole24ore.com](http://www.ilsole24ore.com): <https://www.ilsole24ore.com/art/i-dati-sono-nuovo-petrolio-compagnie-assicurazioni-ACj0sz2>
- Di Todaro, F. (2018, Giugno 12). *"Italia leader europea nell'utilizzo della chirurgia robotica, installato il centesimo robot Da Vinci"*. Tratto da La Stampa: <https://www.lastampa.it/salute/2018/06/12/news/italia-leader-europea-nell-utilizzo-della-chirurgia-robotica-installato-il-centesimo-robot-da-vinci-1.34024154>
- Gartner Inc. (2020, 11 22). *Gartner*. Tratto da [www.Gartner.com](http://www.Gartner.com): <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>
- Giroldo, D. (2016, Febbraio 17). *"La robotica industriale e disoccupazione"*. Tratto da Eurobots: <https://www.eurobots.it/notizie-robots/la-robotica-industriale-e-disoccupazione/>
- Greenberg, A. (2012, 03 16). *"NSA's New Data Center And Supercomputer Aim To Crack World's Strongest Encryption"*. Tratto da Forbes: <https://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2012/03/16/nsas-new-data-center-and-ultra-fast-supercomputer-aim-to-crack-worlds-strongest-crypto/?sh=6d0c5cc632e0>
- integrata, A. (2017, Dicembre 5). *"Tutto è grande in Cina"*. Tratto da Automazione Integrata: <https://www.automazione.news.it/tutto-e-grande-in-cina/>
- International Six Sigma Institute. (s.d.). *"Six Sigma reveale"*.
- Juran, J. (1988). *"Juran's Quality Control Handbook"*. McGraw-Hill.
- Klaus, S. (2016). *"La quarta rivoluzione industriale"*. Francoangeli.
- Laskow, S. (2012, Ottobre 2012). *"The yotta is not enough."* Tratto da [www.Boston.com](http://www.Boston.com): [http://archive.boston.com/bostonglobe/ideas/brainiac/2012/10/the\\_yotta\\_is\\_no.html](http://archive.boston.com/bostonglobe/ideas/brainiac/2012/10/the_yotta_is_no.html)
- Metodi statistici per la gestione dei PR. (2004). *"Carte di controllo di Shewhart."*
- Ministero dello sviluppo economico Italiano. (2016). *"Piano nazionale Industria 4.0."* Tratto da Ministero dello sviluppo economico Italiano: [https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Piano\\_Industria\\_40.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Piano_Industria_40.pdf)

- Minto, P. (2012, Novembre 9). "*Brontobytes & Co*". Tratto da [www.rivistastudio.com](http://www.rivistastudio.com): <https://www.rivistastudio.com/yotta-bronto-byte/>
- Mitcalc. (s.d.). "*6 Sigma method*". Tratto da [www.Mitcalc.com](http://www.Mitcalc.com): <https://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis1d/help/en/tolanalysis1d.txt.htm>
- Montgomery, D. C. (2000). "*Controllo statistico della qualità*". McGraw - Hill.
- Schwab, K. (2016, Gennaio 14). "*The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*". Tratto da World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Shewhart, W. A. (2015). "*Economic Control of Quality of Manufactured*". Martino Fine Books.
- Simonetta, B. (2020, Agosto 04). "*Attacco informatico a Garmin, pagato un riscatto da dieci milioni di dollari agli hacker russi*". Tratto da [www.ilsole24ore.it](http://www.ilsole24ore.it): <https://www.ilsole24ore.com/art/attacco-informatico-garmin-pagato-riscatto-10-milioni-dollari-hacker-russi-ADyEUuh>
- Treccani. (s.d.). "*La seconda rivoluzione industriale*". Tratto da [www.Treccani.it](http://www.Treccani.it): [https://www.treccani.it/export/sites/default/scuola/lezioni/storia/SECONDA\\_RIVOLUZIONE\\_INDUSTRIALE\\_lezione.pdf](https://www.treccani.it/export/sites/default/scuola/lezioni/storia/SECONDA_RIVOLUZIONE_INDUSTRIALE_lezione.pdf)
- [www.ilprogettistaindustriale.it](http://www.ilprogettistaindustriale.it). (2014, Aprile 14). "*L'additive manufacturing, tra prototipi e produzione di massa*". Tratto da Il progettista industriale: <https://www.ilprogettistaindustriale.it/ladditive-manufacturing-tra-prototipi-e-produzione-di-massa/>
- [www.insidemarketing.it](http://www.insidemarketing.it). (2019, Agosto 5). "*Big data cosa sono e perchè sono importanti per le aziende*". Tratto da [www.insidemarketing.it](http://www.insidemarketing.it): <https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/big-data/>
- Zanotti, L. (2018, Ottobre 30). "*Realtà aumentata versus realtà virtuale: differenze ed esempi applicativi*". Tratto da [www.Zerounoweb.it](http://www.Zerounoweb.it).