



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

---

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi  
Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

*Tesi di laurea*

*Progettazione di un nuovo reparto produttivo in Mitsubishi  
Electric Hydronics & IT Cooling Systems S.p.A. secondo i  
principi del Lean Management*

**Relatore**

*Ch.mo Prof. Roberto Panizzolo*

**Laureando**

*Leonardo Costa*

**Correlatore**

*Ch.mo Prof. Claudio Zilio*

**Tutor aziendale**

*Ing. Gianluca Gecchele*

---

Anno Accademico 2021-2022



*“Tra vent’anni non sarete delusi delle cose che avete fatto ma da quelle che non avete fatto. Allora levate l’ancora, abbandonate i porti sicuri, catturate il vento nelle vostre vele. Esplorate. Sognate. Scoprite.”*

*Mark Twain*





## Ringraziamenti

Una sola pagina non credo sia sufficiente per ringraziare tutti coloro che mi sono stati a fianco durante questi anni e che, grazie al loro supporto, mi hanno aiutato a raggiungere anche questo traguardo. Non posso che iniziare ringraziando mia mamma, mio papà e mio fratello per avermi supportato (e sopportato) durante tutto il percorso scolastico e soprattutto di vita. Proseguo menzionando Euge, Gubi, Jack e tutti gli amici con cui ho trascorso mille avventure e che sono sicuro ne trascorrerò molte altre, ma anche Thomas, Mirko, Giovanni, Silvia e Davide per aver remato assieme sulla stessa barca per superare gli esami universitari. Ringrazio i professori Roberto Panizzolo e Claudio Zilio per avermi seguito e consigliato per la stesura del lavoro di tesi ed i colleghi di MEHITS che mi hanno accolto come un amico e che mi hanno fatto subito sentire parte di un gruppo: Gian, Lazza, Bonvi, Pippo, Dante solo per citarne alcuni. Un grazie particolare va anche ai miei amici piegatubisti Eros, Enrico, Christian e Alberto, senza i quali non sarei mai riuscito a portare avanti nessuno dei lavori esposti all'interno e che fin dal primo giorno non hanno esitato nel darmi una mano trasmettendomi le loro conoscenze. Infine, voglio utilizzare queste ultime righe per ricordare Luigi, il nostro cagnolino che ci ha salutati dopo aver trascorso quattordici anni all'interno della nostra famiglia e che ha rappresentato un punto fisso della mia infanzia e adolescenza. Ti voglio ringraziare per averci donato anni di felicità in cambio di qualche crocchetta ed una copertina dove poter dormire: non ti dimenticherò mai.



# Sommario

La tesi riportata all'interno delle successive pagine ha natura progettuale/sperimentale, ed il suo svolgimento ha avuto corso durante il mio periodo di tirocinio curricolare, coincidente con l'ultimo anno di corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale presso l'Università degli Studi di Padova.

Sfogliando questo libro, si percorreranno i principali temi affrontati nell'introduzione di un nuovo reparto produttivo all'interno di una azienda operante nel settore metalmeccanico della climatizzazione: la Mitsubishi Electric Hydronics & IT Cooling System (abbreviata MEHITS S.p.A.) di Bassano del Grappa, specializzata nella progettazione e produzione di sistemi idronici per il condizionamento industriale e per l'IT Cooling. In accordo con la filosofia della Lean Production, abbondantemente diffusa all'interno dell'area produttiva, le fasi che hanno portato alla realizzazione del reparto di finitura dei tubi di rame sono state sempre accompagnate dall'utilizzo di strumenti e metodologie proprie della Gestione Snella dei processi, i cui principi sono un riferimento per la quasi totalità dei settori manifatturieri e non. L'idea del nuovo reparto nasce dalla necessità di estrarre lavoro dalla fase denominata "collo di bottiglia" della linea produttiva, più precisamente la saldobrasatura dell'impianto frigo, portando varie lavorazioni all'interno del reparto in maniera tale da avvicinare il più possibile il tempo ciclo della fase al ritmo richiesto dal mercato e, nel futuro prossimo, permettere l'introduzione di una nuova famiglia di prodotto altamente standardizzata: viene quindi naturale immaginare che ciò che verrà in seguito esposto potrà non essere né definitivo, né tanto meno indiscutibile. Laddove si vedranno sorgere criticità (o, come sono denominate in azienda, "opportunità di miglioramento") sarà lecito mettere in discussione le scelte prese all'interno di questa tesi e adottare l'ultimo principio della filosofia Lean, ovvero il Continuous Improvement, avvicinandosi alla situazione ideale in maniera asintotica.

I principali risultati ottenuti attraverso le attività che hanno dato vita al nuovo reparto sono principalmente:

- Un miglior bilanciamento della linea produttiva;
- Diminuzione del tempo assoluto di lavoro della fase di saldobrasatura del circuito frigorifero;
- Riduzione degli scarti di rame associati al taglio delle tubazioni dell'impianto frigo;
- Miglioramento della qualità di processo;



# Indice

INTRODUZIONE .....	1
<b>1. IL CONTESTO INDUSTRIALE E L'AZIENDA MEHITS S.P.A .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 I distretti industriali italiani .....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Il "distretto del freddo" .....	5
<b>1.2 Le pompe di calore e la loro prospettiva di mercato .....</b>	<b>6</b>
1.2.1 Le pompe di calore nel settore industriale .....	7
1.2.2 Il mercato europeo delle pompe di calore .....	11
<b>1.3 L'azienda MEHITS S.p.A. ....</b>	<b>18</b>
1.3.1 La storia di MEHITS S.p.A. ....	20
1.3.2 La business Unit "Chiller & Heat Pumps" .....	23
<b>2. LEAN PRODUCTION E PENSIERO SNELLO .....</b>	<b>29</b>
2.1 Introduzione al Toyota Production System (TPS) e alla produzione snella .....	30
2.2 Il Modello Fordista, la "Piramide di Maslow" e la produzione a lotti .....	32
2.3 La storia della famiglia Toyoda e lo sviluppo del Toyota Production System .....	36
2.3.1 Il successo delle aziende Giapponesi nell'economia occidentale .....	40
2.3.2 NUMMI (New United Motor Manufacturing Inc) .....	41
2.4 La Casa del Toyota Production System .....	45
2.5 I Cinque Principi del Pensiero Snello .....	47
2.6 Le difficoltà nell'applicazione dei cinque principi .....	58
2.7 I Sette Sprechi .....	58
2.8 Le tre MU: muda, mura e muri .....	62
<b>3. LA CENTRALITÀ DEL "GEMBA" .....</b>	<b>65</b>
3.1 Cos'è il gemba? .....	66
3.2 Le basi del gemba kaizen .....	67
3.2.1 Autodisciplina (o housekeeping) .....	68
3.2.2 Eliminazione delle inefficienze .....	71
3.2.3 Standardizzazione .....	71
3.3 Genchi Genbutsu .....	74
3.3.1 Le "Gemba Golden Rules" .....	75
3.4 Visual management .....	77
<b>4. INTRODUZIONE ALLO STABILIMENTO M11 E DEFINIZIONE DEL PROBLEMA .....</b>	<b>81</b>
4.1 Lo stabilimento M11 di Bassano del Grappa .....	82
4.1.1 L'area reparti .....	83

4.1.2 Le linee produttive .....	86
4.2 Background: focus sulla fase Impianto Frigo (IMF) ed il Reparto Piegatubi (PTB) .....	91
4.2.1 La fase Impianto Frigo (IMF) .....	91
4.2.2 Il Reparto Piegatura Tubi (PTB).....	94
4.3 Definizione del problema .....	98
5. L'AVVIAMENTO DEL REPARTO DI FINITURA TUBI .....	105
5.1 La scelta del layout .....	106
5.2 Il piano di implementazione della finitura tubi.....	111
5.2.1 Spostamento delle attrezzature, redazione della procedura di utilizzo della nuova tagliatubi orbitale e verifica del lead time di approvvigionamento .....	112
5.2.2 Introduzione del taglio tubi nella famiglia BN1-BN3, definizione delle timbrature e formazione degli operatori.....	115
5.2.3 Finitura completa delle famiglie BN1-BN3 .....	121
5.2.4 Introduzione delle famiglie BU2-3-4 ed avviamento definitivo del reparto.....	123
6. IL MIGLIORAMENTO CONTINUO DEL PROCESSO DI FINITURA TUBI .....	125
6.1 Il Work Sampling.....	126
6.1.1 La ricerca di informazioni .....	128
6.1.2 La ricerca del materiale .....	132
6.1.3 Analisi dei miglioramenti ottenuti.....	134
6.2 L'Ishikawa Chart .....	135
6.2.1 Determinazione dei tratti minimi e sviluppo reale .....	140
6.2.2 Modifica del file Excel di inserimento dei programmi di piega .....	144
6.2.3 Analisi dei miglioramenti ottenuti.....	148
7. RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI.....	151
7.1 Il rendimento operativo della fase impianto frigo (IMF) .....	152
7.2 Il bilanciamento della linea .....	156
7.3 Qualità.....	158
7.4 Considerazioni finali .....	161
Bibliografia e sitografia .....	163

# INTRODUZIONE

Nel mio percorso universitario, tra i molteplici corsi di studio frequentati durante i cinque anni di Ingegneria Gestionale, un posto tra i più interessanti ed affascinanti lo trovano sicuramente quelli legati alle energie (Gestione dell'energia e Gestione delle Energie Rinnovabili) e, ultimo ma non per importanza, il corso di Gestione Snella dei processi. All'interno di MEHITS mi è stata offerta la possibilità di coniugare i 2 ambiti grazie ad un tirocinio curricolare della durata di 6 mesi, nei quali sono stato inserito all'interno dell'ufficio CI (Continuous Improvement) e incaricato di partecipare, insieme ad alcuni colleghi (o meglio, compagni di viaggio) all'introduzione di un nuovo reparto produttivo. All'interno di esso, le tubazioni in rame del circuito frigorifero delle macchine di condizionamento e climatizzazione attraversano un ciclo di lavoro al termine del quale, lungo la linea produttiva e nello specifico nella postazione di "saldobrasatura impianto frigo", necessitano solo di operazioni di saldatura, svolte dal frigorista. L'idea cardine alla base del progetto è stata quella secondo cui le lavorazioni che non necessitano di particolari competenze e formazione da parte dei frigoristi, come ad esempio il portare le tubazioni a misura, espandere e rastremare le estremità del tubo in modo da ottenere un accoppiamento maschio-femmina, fossero effettuate da operatori generici senza particolari competenze, seguendo una ben definita procedura operativa, in maniera tale da ottenere al contempo tre enormi vantaggi:

- Aumento dell'efficienza delle operazioni trasferite all'interno del reparto, con un risparmio in termini di tempo assoluto rispetto alla situazione precedente;
- Riduzione del carico di lavoro della fase "impianto frigo" all'interno della linea produttiva, avvicinandosi al *takt time* richiesto dal mercato;
- Aumento della qualità nelle operazioni di saldobrasatura;

Proprio a riguardo di questo ultimo punto, Fujio Cho, chairman della Toyota Motor Company, dice:

*"Noi otteniamo risultati brillanti da persone di medie capacità che operano con processi brillanti e li migliorano. I nostri concorrenti ottengono risultati mediocri da persone brillanti che operano con processi difettosi. Quando loro incontrano difficoltà cercano di assumere persone ancora più brillanti. Noi non possiamo che superarli".*

Si sottolinea quindi l'importanza, secondo la filosofia Lean, di creare un processo "brillante", ovvero robusto, efficiente e con il minor quantitativo di spreco possibile.

Inoltre, avanzando con le attività di avviamento del reparto, si è reso necessario un lavoro di ottimizzazione del reparto “*piegatura tubi di rame*”, all’interno del quale è stato possibile ridurre in maniera significativa il consumo delle verghe di rame da cui si ottengono i tubi piegati ed allo stesso tempo ottenere, in accordo coi limiti delle macchine piegatubi, un semilavorato che non necessita di tagli per essere portato a misura.

Seguendo le logiche del Lean Thinking ed applicando i suoi principali strumenti di lavoro, all’interno dei prossimi capitoli verrà presentata la situazione iniziale e lo svolgimento di tutte le attività necessarie all’introduzione ed all’avviamento del reparto, a cui seguiranno fasi di analisi rispetto alla situazione passata, in modo da evidenziare i reali vantaggi e, in alcuni casi, le reali criticità riscontrate durante questo viaggio. Questo però non prima di aver presentato, all’interno dei primi tre capitoli, le basi contestuali, sull’azienda e il suo mercato, e teoriche, sui principi e le pratiche di gestione snella della produzione, il cui approfondimento sarà sviluppato in maggior dettaglio durante la sua applicazione.



# 1. IL CONTESTO INDUSTRIALE E L'AZIENDA MEHITS S.P.A

All'interno del primo capitolo è stata inserita una panoramica del settore industriale cui fa parte l'azienda per cui ho svolto lo stage, ovvero la Mitsubishi Electric Hydronics & IT Cooling System di Bassano del Grappa. Dapprima sarà quindi illustrato il "distretto del freddo", accompagnato con i dati e le caratteristiche principali che lo contraddistinguono; successivamente verrà descritta la tecnologia della pompa di calore e la sua prospettiva di mercato, nell'ottica di una transizione verso un futuro sostenibile; infine, si entrerà maggiormente nel dettaglio dell'azienda MEHITS, cominciando dalla storia aziendale fino a giungere alla tipologia di prodotti realizzati, con maggiore focus sulla business unit in cui rientra lo stabilimento di Bassano del Grappa.

## 1.1 I distretti industriali italiani

(Paragrafo tratto da Redazione Mondopmi, 2019)<sup>1</sup>

Successivamente al boom economico degli anni Cinquanta e Sessanta del '900, in Italia viene ad affermarsi una richiesta di prodotti per la persona e per la casa (dalle scarpe ai mobili) con crescente necessità di esigenze specifiche in base alla diversa tipologia di clienti: si tratta quindi di prodotti non più "di massa", ma più di prodotti "custom". A questa richiesta, il tessuto industriale controbatte attraverso la nascita di aree produttive ad alta specializzazione e ad alta disponibilità di manodopera, denominati "distretti" all'interno dei quali nacquero conglomerati di imprese, soprattutto di piccole dimensioni, tra loro legate da rapporti di collaborazione: le reti di fornitura prendono il nome di **filiera**.

L'economista Alfred Marshall fu il primo a parlare di **distretti industriali** nella seconda metà dell'800, individuandone le caratteristiche principali per essere definiti tali, riprese poi dalla legge italiana, la quale da una definizione precisa, ovvero: *"aree territoriali locali caratterizzate da elevata concentrazione di piccole imprese, con particolare riferimento al rapporto tra la presenza delle imprese e la popolazione residente nonché alla specializzazione produttiva dell'insieme delle imprese"*. Questa rete di aziende presenta i vantaggi della vicinanza geografica, permettendo la circolazione di merci e scambio di conoscenze, e l'alta specializzazione, favorendo la creazione di rapporti di sub fornitura consolidati di cui beneficia l'intera filiera.

Ad oggi sono riconosciuti all'interno del territorio italiano circa 200 distretti, di cui oltre la metà sono impegnati nelle lavorazioni tipiche del Made in Italy. Il Nord Est è considerato l'area più rappresentativa del modello industriale italiano (con la presenza di più di 40 distretti), per merito della elevata concentrazione di imprese di piccole dimensioni, al cui interno risiede una altissima specializzazione produttiva. Alcuni tra i più conosciuti sono senza dubbio il distretto del Prosecco, dell'oro e dell'occhiale, rispettivamente nelle provincie di Treviso, Vicenza e Belluno. In **Figura 1.1** sono riportati i principali a livello italiano:

---

<sup>1</sup> Redazione Mondopmi, *Distretti Industriali: cosa sono e quali sono i più importanti in Italia?*, MONDOPMI, [www.mondopmi.com](http://www.mondopmi.com).

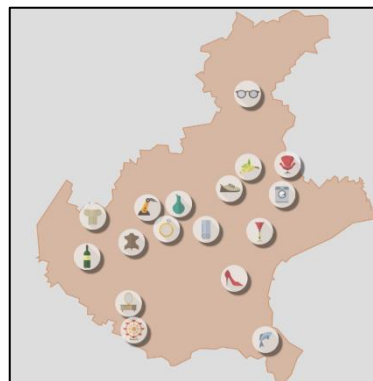


**Figura 1.1: I principali distretti italiani e la loro collocazione geografica** (Fonte: Il Sole 24 Ore, [www.infodata.ilssole24ore.com](http://www.infodata.ilssole24ore.com))

### 1.1.1 Il “distretto del freddo”

(Paragrafo tratto da Redazione Mondopmi, 2019; Redazione Mondopmi, 2014; Distribuzione Moderna, 2007; Manpower, 2021; Redazione Zerosottozero, 2015; Venetoclusters)<sup>2</sup>

Rimanendo all’interno del territorio del Nord Est, una particolare attenzione va riservata al **Distretto del Condizionamento e della Refrigerazione Industriale**, che si sviluppa tra le province di Rovigo, Padova, Vicenza e Belluno, come illustrato in **Figura 1.2:**



**Figura 1.2: I principali distretti industriali del veneto** (Fonte: Veneto Clusters and Networks, [www.venetoclusters.it](http://www.venetoclusters.it))

<sup>2</sup> Redazione Mondopmi, *Il distretto Veneto del condizionamento e della refrigerazione industriale*, MONDOPMI, [www.mondopmi.com](http://www.mondopmi.com);  
 Redazione Mondopmi, *Distretti Industriali: cosa sono e quali sono i più importanti in Italia?*, MONDOPMI, [www.mondopmi.com](http://www.mondopmi.com);  
 Distribuzione Moderna, *Il distretto del freddo punta allo sviluppo*, [www.distribuzionemoderna.it](http://www.distribuzionemoderna.it);  
 ManPower, *Distretto del condizionamento e della refrigerazione*, [www.manpower.it](http://www.manpower.it);  
 Redazione Zerosottozero, *Veneto: filiera del freddo e sinergie con il futuro*, [www.zerosottozero.it](http://www.zerosottozero.it);  
 Clusters And Industrial Networks, *I distretti industriali del veneto*, [www.venetoclusters.it](http://www.venetoclusters.it);

La parola “distretto” in questo caso può risultare fuorviante: non si tratta infatti di una piccola rete di aziende, ma di quasi 450 realtà con 9800 addetti (prevalentemente di piccole e medie dimensioni, ma con una buona percentuale di grandi aziende e multinazionali) operanti nell’ambito di grandi impianti per il condizionamento dell’aria, della refrigerazione (industriale, commerciale e domestica) ed il trasporto refrigerato. Questo ha permesso al Veneto di diventare presto un punto di riferimento in Europa in questa categoria di prodotti, supplendo al 60% del suo fabbisogno totale: il business riguarda soprattutto le esportazioni, attestandosi intorno ai 10 miliardi di euro in mercati come Germania, Francia, Regno Unito e Russia. Il “**distretto del freddo**” è specializzato nelle attività che coinvolgono tutti i sistemi legati alla gestione della temperatura e dell’umidità di un ambiente, in particolare per il loro condizionamento attraverso refrigeratori, ventilconvettori, condizionatori, scambiatori di calore e pompe di calore. Le prime realtà sono nate attorno agli anni Sessanta, con una notevole espansione tra gli ottanta e i duemila: da allora le aziende venete si sono sempre più specializzate, diventando una eccellenza tecnologica ed industriale italiana, caratterizzate da una forte propensione alla ricerca di nuove tecnologie attraverso la Ricerca e Sviluppo. I dati sono ogni giorno in continua crescita: il distretto del freddo si afferma come eccellenza tecnologica e industriale italiana, fortemente specializzata, orientata all’innovazione e alla ricerca di nuove tecnologie ed attenta ai temi legati all’energia, all’ambiente ed alla sostenibilità. Inoltre, nel Veneto del freddo si sta avviando un progetto per la formazione dei giovani alle tecnologie del freddo, non essendoci personale formato a sufficienza per coprire la richiesta del mercato. Per il futuro risulteranno fondamentali tematiche quali lo studio di tecnologie sempre più efficienti e connesse, il continuo miglioramento dei processi produttivi ed una moderna organizzazione aziendale e della supply chain, al fine di mantenere competitività all’interno dello scenario industriale. Il segreto legato al successo odierno delle imprese del termotecnico Veneto è legato alla continua volontà di innovare il prodotto, puntando molto più sull’affidabilità, sul risparmio energetico e sul rispetto dell’ambiente piuttosto che sulla riduzione dei costi di produzione: tutte caratteristiche facente parte del modello di business di MEHITS S.p.A., capace di soddisfare le esigenze dei clienti grazie all’alta profondità di gamma dei prodotti offerti (personalizzazione del prodotto) e qualità del prodotto, ottenuti grazie ad elevata attenzione alla progettazione, miglioramento dei processi aziendali e continua innovazione.

## 1.2 Le pompe di calore e la loro prospettiva di mercato

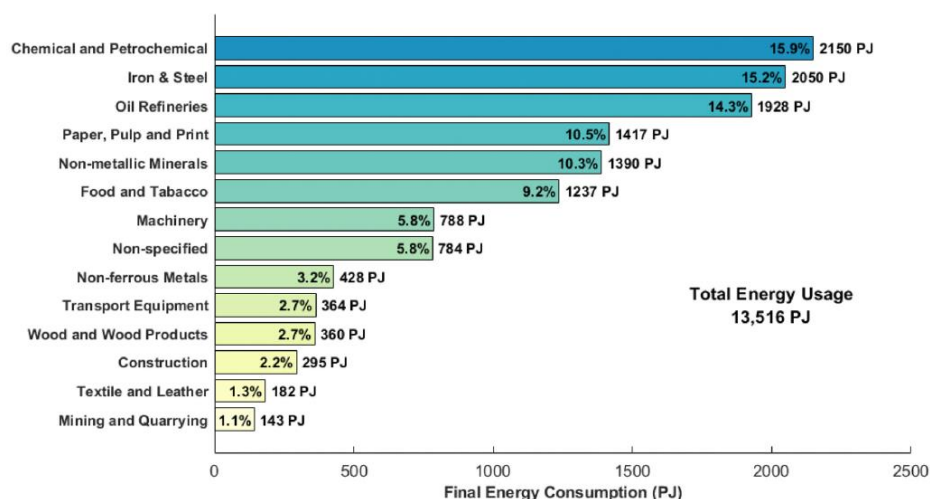
Affiancato ai sistemi del freddo, è importante citare un altro mercato: quello dei **sistemi “del caldo”**, comprendente termosifoni, caldaie, generatori di calore, bruciatori, scalda-acqua, termoconvettori a gas e, soprattutto, *pompe di calore*. Queste ultime, grazie al sempre maggior sforzo di ridurre i consumi di energia

primaria (spesso sotto forma di combustibili fossili) e le emissioni ad essa associata, sono allo stato attuale una delle soluzioni potenzialmente più efficienti raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale.

### 1.2.1 Le pompe di calore nel settore industriale

(Paragrafo tratto da: Zilio, 2019; Nowak, 2021)<sup>3</sup>

L'Unione Europea e i suoi 28 stati membri (EU28) credono fermamente nell'energia rinnovabile e nella transizione ad una società a basse emissioni di anidride carbonica entro il 2050: infatti, quasi l'80% delle emissioni di gas serra (GHG, *GreenHouseGases*) sono attribuibili alla produzione di energia, in particolare elettrica e termica, e viene da sé che vi è una forte enfasi nella decarbonizzazione di questi processi. Nella **Figura 1.3** viene riportata una panoramica del consumo di energia finale suddivisa per settore industriale:



**Figura 1.3: Il consumo di energia finale per settore industriale.** (Fonte: Nowak, 2021)

L'industria chimica e petrolchimica comandano la classifica e si posizionano come il settore più energivoro; non distante l'industria siderurgica, a cui seguono le raffinerie, l'industria cartaria ed il settore delle lavorazioni dei minerali non metallici. Più modesto invece il consumo di energia per l'alimentare.

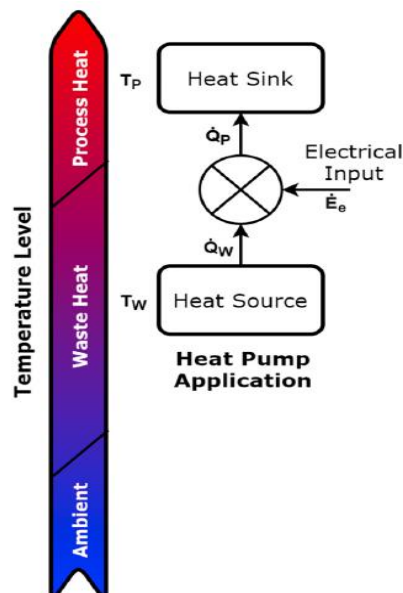
Esaminando poi il suo consumo all'interno di ogni settore, si scopre che produzione di energia termica è in posizione predominante rispetto alle altre tipologie di energia, che nel 2012 si affermava al 73% sul totale: le opzioni percorribili per la decarbonizzazione delle industrie si presentano quindi come:

<sup>3</sup> Claudio Zilio, Università degli studi di Padova, *Dispense di Gestione delle Energia Rinnovabili*, 2019;

Thomas Nowak, A.Marina, S. Spoelstra, H.A Zondag, *An estimation of the industrial heat pump market potential*, 2021.

- La riduzione della richiesta finale di energia attraverso nuovi processi o il loro efficientamento;
- Il riutilizzo del calore di scarto di alcuni processi;
- La conversione all'uso di energia proveniente da fonti rinnovabili anziché da combustibili fossili;

Per quanto riguarda il calore di scarto, esso può essere contenuto in diversi vettori, come gas di scarico, vapore e fonti radiative, e, nei processi industriali che richiedono calore a bassa temperatura (inferiore ai 200°C), riutilizzato attraverso la tecnologia della *pompa di calore*. Una pompa di calore è in grado di innalzare la temperatura di una fonte di energia termica di scarto a spese di un quantitativo di energia elettrica (**Figura 1.4**):



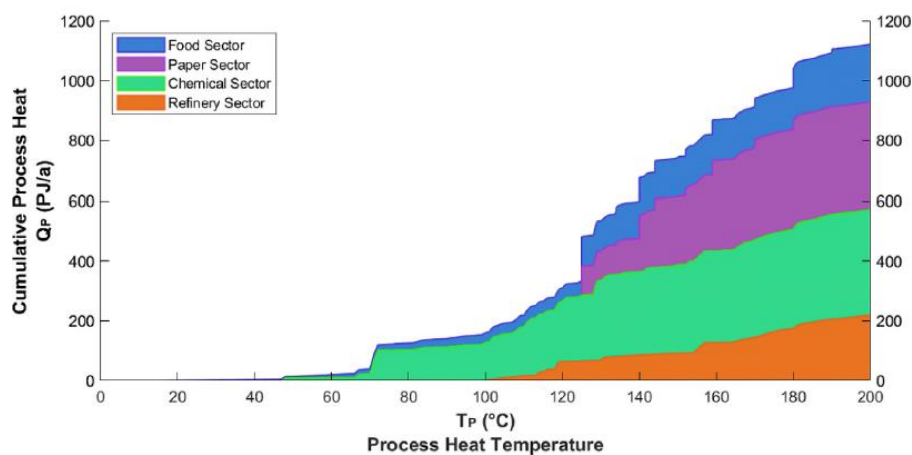
**Figura 1.4: Rappresentazione schematica del funzionamento di una pompa di calore.**

(Fonte: Nowak, 2021)

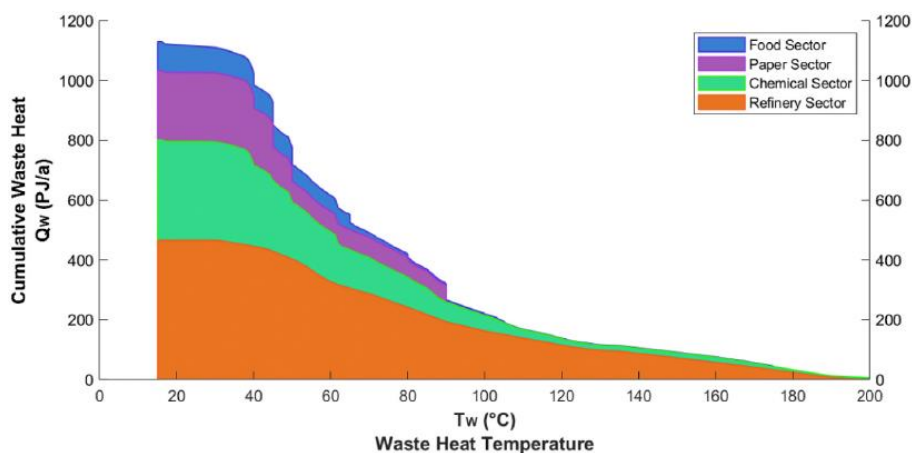
Per ottenere ulteriori benefici a livello ambientale, una scelta vincente è quella di abbinare alla pompa di calore energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili: in questo modo, si riducono allo stesso tempo sia il consumo assoluto di energia, sia le emissioni di anidride carbonica ad esso associato. Purtroppo, uno dei maggiori fattori che rallentano la diffusione delle pompe di calore nei settori industriali è la presenza limitata di costruttori in grado di fornire macchine operanti alle alte temperature richieste da alcuni processi: a temperature superiori ai 90°C, nel mercato delle pompe di calore operano solo poche aziende pionieristiche. Molti progetti di ricerca assicurano però che nel prossimo futuro

sarà possibile la costruzione di macchine capaci di restituire energia termica con temperature nell'ordine dei 160-200°C.

Si riporta la richiesta di energia termica a temperature inferiori ai 200°C nelle industrie dell'Unione Europea nel 2012: l'industria cartaria è il maggior utilizzatore (842 PJ), seguita dall'alimentare (450 PJ) chimica (436 PJ) e successivamente da altri settori energivori come quelli dei minerali non metallici (154 PJ), dei trasporti (148 PJ) e siderurgico (56 PJ). Nelle **Figure 1.5 e 1.6** sottostanti sono evidenziate, rispettivamente, l'energia termica richiesta e l'energia termica di scarto suddivisa in base ai diversi range di temperatura, per i 4 settori considerati:



**Figura 1.5: Energia termica richiesta suddivisa per settore industriale. (Fonte: Nowak, 2021)**



**Figura 1.6: Energia termica di scarto suddivisa per settore industriale. (Fonte: Nowak, 2021)**

In accordo ai precedenti dati, dallo studio di Marina et al vi è una evidenza sufficiente che suggerisce che i settori maggiormente adatti all'adozione di tecnologia a pompa di calore all'interno dei loro processi siano quelli della carta,

chimico, alimentare e della raffineria. E proprio per questi settori, viene mappato il potenziale mercato delle pompe di calore, distinte in 2 classi: fino a 150°C e fino a 200°C

La potenza termica richiesta per i processi industriali che richiedono temperature <150°C si assesta attorno ai 20GW, fornibile attraverso l'installazione di 3229 pompe di calore, riuscendo a coprire circa il 73% della domanda. Salendo invece a temperature superiori, fino ai 200 °C, la potenza termica richiesta incrementa di 3GW e con lei il potenziale di mercato delle macchine, individuabile in 4174 unità (+29%). Come indicato precedentemente, la fascia di mercato fino ai 150 °C può essere coperta in tempi relativamente brevi grazie a sviluppi pionieristici da parte dei produttori di pompe di calore, mentre gli sforzi di ricerca per il range di temperature più alte richiederanno tempi maggiore per permetterne l'introduzione nel mercato. In **Figura 1.7** è riportata una sintesi in forma tabellare:

<i>Heat pump market to 150°C</i>					
Sector	Cumulative Heating Capacity, $Q_{HPmarket}$ (GW)	EU28 Heat Pump Units, $N_{HPmarket}$ (#)	Heat Pump Process Heat Coverage, $Q_{HPmarket}$ (PJ/a)	Electricity Requirement, $E_{HPmarket}$ (PJ/a)	Heat Pump Relative Process Heat Coverage, $Q_{HPmarket}/Q_P$ (%)
Paper	6.6	936	203	76	89%
Chemical	8.1	1164	252	59	85%
Food	5.0	1107	83	25	64%
Refinery	0.3	20	9	4	10%
Total (Σ)	20.0	3229	547	166	73%

<i>Heat pump market to 200°C</i>					
Sector	Cumulative Heating Capacity, $Q_{HPmarket}$ (GW)	EU28 Heat Pump Units, $N_{HPmarket}$ (#)	Heat Pump Process Heat Coverage, $Q_{HPmarket}$ (PJ/a)	Electricity Requirement, $E_{HPmarket}$ (PJ/a)	Heat Pump Relative Process Heat Coverage, $Q_{HPmarket}/Q_P$ (%)
Paper	7.9	1351	245	94	69%
Chemical	9.1	1291	283	65	80%
Food	5.5	1463	96	31	51%
Refinery	0.5	69	14	6	6%
Total (Σ)	23.0	4174	641	195	57%

**Figura 1.7: Mercato potenziale delle pompe di calore per fasce di temperature di lavoro.** (Fonte: Nowak, 2021)

Ponendosi nello scenario in cui la richiesta di energia termica sopra riportata sia soddisfatta attraverso l'adozione della tecnologia della pompa di calore, lo studio di Marina et al ha calcolato i potenziali risparmi di energia finale, di energia primaria e di anidride carbonica (**Figura 1.8**):

- 528 PJ/a di energia finale all'interno dei 4 settori considerati, con un livello di risparmio maggiore nel settore chimico (256 PJ/a), seguito dal cartario (182 PJ/a), alimentare (80PJ/a) e raffineria (11 PJ/a);
- 313 PJ/a di energia primaria, equivalente a 371 PJ/a di energia derivante da combustibili fossili;
- 37.3 Mt/a di emissioni di anidride carbonica;



Risultati ancora migliori si otterrebbero con una totale decarbonizzazione della rete energetica che va ad alimentare le pompe di calore, con risparmi di:

- 528 PJ/a di energia primaria, equivalente a 724 PJ/a di energia derivante da combustibili fossili;
- 52.6 Mt/a di emissioni di anidride carbonica;

Sector	Scenario 1 & 2	Scenario 1			Scenario 2		
	FEC Reduction, $FEC_{red(1,2)}$ (PJ/a)	PEC Reduction, $PEC_{red(1)}$ (PJ/a)	CO <sub>2</sub> Reduction, $CDE_{red(1)}$ (Mt/a)	Avoided Fossil Fuel Use, $AFF_{(1)}$ (PJ/a)	PEC Reduction, $PEC_{red(2)}$ (PJ/a)	CO <sub>2</sub> Reduction, $CDE_{red(2)}$ (Mt/a)	Avoided Fossil Fuel Use, $AFF_{(2)}$ (PJ/a)
Paper	182	79	12.8	107	182	20.0	276
Chemical	256	184	18.4	203	256	23.4	321
Food	80	46	5.2	55	80	7.9	110
Refinery	11	5	0.8	6	11	1.2	17
Total (Σ)	528	313	37.3	371	528	52.6	724

**Figura 1.8: Riduzioni di energia e CO<sub>2</sub> per i due scenari descritti.** (Fonte: Nowak, 2021)

Come previsto, vi sono importanti riduzioni sia nel consumo di energia primaria (-68.6%) sia di emissioni di anidride carbonica (-41%) nello scenario della completa decarbonizzazione della rete di fornitura di energia: questo rinforza ancora di più la tesi secondo cui la tecnologia della pompa di calore può trarre ancora più maggiori benefici solo se in accoppiata alla transizione verso un sistema di rete elettrica alimentata da fonti di energia rinnovabili.

### 1.2.2 Il mercato europeo delle pompe di calore

(Paragrafo tratto da: Zilio, 2019; Nowak, 2019; Lazzarin, 2019)<sup>4</sup>

Gli edifici sono responsabili di circa il 40% dei consumi finali di energia in Europa, ed il 70% di essi è dovuto al loro riscaldamento: ad oggi, la tecnologia dominante è quella della *caldaia*. Sebbene si siano raggiunti rendimenti molto alti, il settore del riscaldamento si presenta come quello più critico su cui intervenire: date le percentuali in gioco, qualsiasi tecnologia che consenta di ridurre i consumi può quindi contribuire in modo significativo alla riduzione dei consumi di energia primaria (spesso sotto forma di combustibili fossili) e delle emissioni ad essa associata. Allo stato attuale, le *pompe di calore* si presentano come la soluzione potenzialmente più efficiente per il riscaldamento degli edifici. Il mercato dei boiler e dei generatori di acqua calda sanitaria si presenta come quello potenzialmente più promettente: all'interno del primo, le pompe di calore

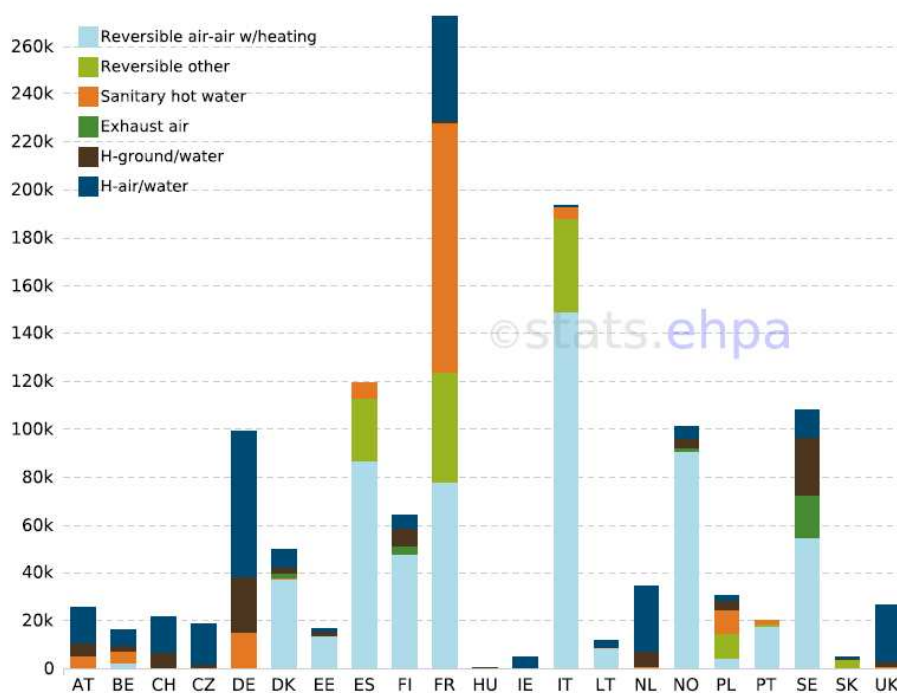
<sup>4</sup> Claudio Zilio, Università degli studi di Padova, *Dispense di Gestione delle Energia Rinnovabili*, 2019;

Thomas Nowak, Webinar: *EHPA market report and statistics outlook*, 2019;

Renato Lazzarin, Università degli studi di Padova, *Dispense di Gestione dell'Energia*, 2019;

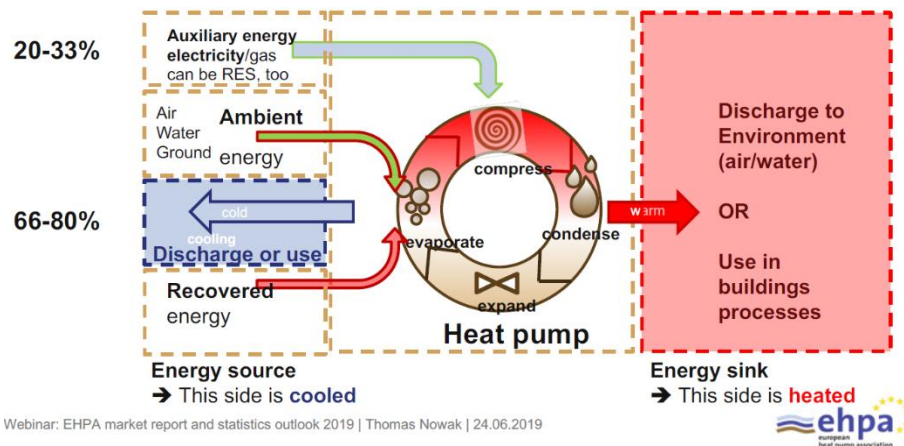
rappresentano circa il 20% della quota di mercato, mentre nel secondo solo il 2%. Se si considera anche che in Europa vi è la netta prevalenza dell'utilizzo di combustibili fossili per queste due applicazioni, risulta chiaro come, se l'Unione Europea (ma anche il resto del mondo) vuole perseguire l'obiettivo della decarbonizzazione per il riscaldamento, la tecnologia della pompa di calore rappresenti l'opzione perfetta per raggiungere questo obiettivo.

L'attuale mercato delle pompe di calore si differenzia in base alla loro tipologia: le *pompe di calore geotermiche* (le quali prelevano il calore direttamente dal terreno) e *idrotermiche* (le quali prelevano il calore dall'acqua di falda) forniscono le migliori prestazioni, ma al contempo sono più costose, complesse da installare e soggette a vincoli normativi che ne rendono problematica l'adozione. Caso diverso per le *pompe di calore aria-acqua*, che risolvono il problema di costo e di installazione ma le loro prestazioni sono fortemente dipendenti dalle temperature esterne. In **Figura 1.9** è riportato il numero di unità vendute suddivise per tipologia di pompa di calore all'interno dei principali stati europei:



**Figura 1.9: Pompe di calore vendute nei principali stati europei suddivise per tecnologia di funzionamento.** (Fonte: Nowak, 2019)

Più in generale, parlare di pompe di calore significa parlare di riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda in ambienti residenziali, commerciali e in processi industriali localizzati in zone fredde o temperate:

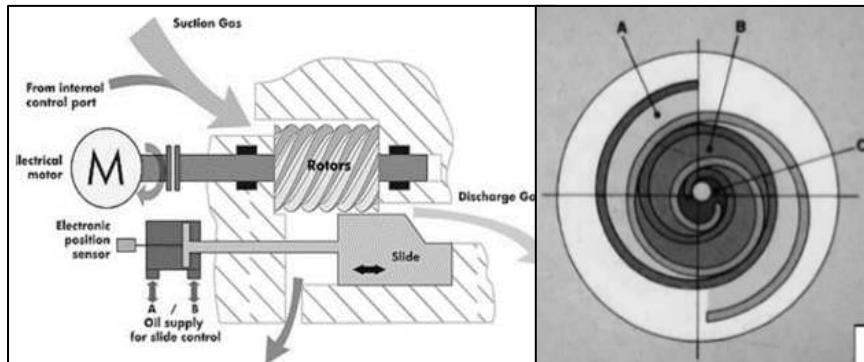


**Figura 1.10: Funzionamento generale di una pompa di calore.** (Fonte: Nowak, 2019)

Dalla **Figura 1.10** riportata sopra, si può capire come una pompa di calore fornisca sia caldo, sia freddo, in parallelo: dipende sempre dal lato in cui si guardano gli scambi di potenza termica. Sinteticamente, un *chiller* è una macchina termica che permette lo scambio termico tra un fluido refrigerante ed un fluido termovettore (aria o acqua) che va poi ad abbassare la temperatura di un ambiente, scambiandoci calore. Una *pompa di calore* permette invece di innalzare il livello termico dell'energia disponibile a più basso livello termico, sottraendo calore da una sorgente a temperatura più bassa ed innalzando la temperatura di un ambiente a temperatura più alta. Una unità *reversibile* o *polivalente* è in grado di funzionare in entrambi i modi, invertendo i flussi dei fluidi al suo interno: permette quindi sia il raffreddamento, sia il riscaldamento di un ambiente.

Il cuore di entrambi i tipi di macchina è il **circuito frigorifero**: esso è costituito principalmente da quattro diversi componenti:

1. **Compressore**: è considerato il vero motore della macchina. Il suo ruolo è quello di innalzare la pressione del gas refrigerante e spingerlo all'interno dell'impianto, portando il fluido dallo stato gassoso freddo allo stato di vapore molto caldo ad alta pressione. Le tecnologie di compressore utilizzate sono quelle *a vite*, *scroll* (o a spirali orbitanti) e *turbocor*.

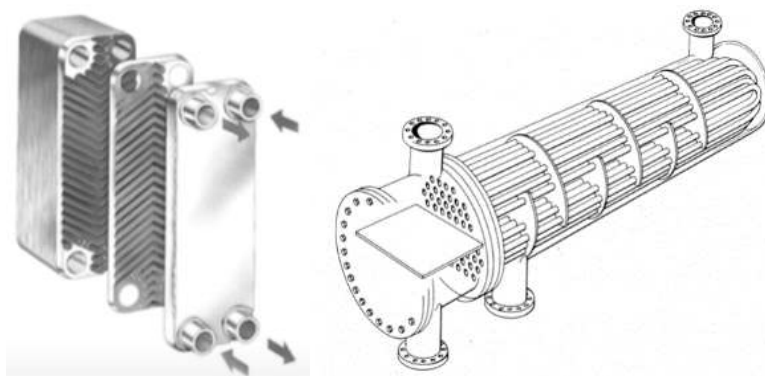


**Figura 1.11: Compressore a vite (sinistra) e compressore scroll o a spirali orbitanti (destra).** (Fonte: Lazzarin, 2019)

2. **Condensatore:** al suo interno, il fluido caldo passa dallo stato gassoso a quello liquido. Nelle unità raffreddate ad aria l'azione è svolta dai ventilatori che spingono l'aria esterna attraverso le batterie del condensatore (**Figura 1.12**), abbassandone la temperatura e condensando il fluido, mentre nelle unità raffreddate ad acqua lo scambio termico avviene all'interno di scambiatori a piastre o a fascio tubiero (**Figura 1.13**)



**Figura 1.12: Scambiatore di calore a pacco alettato per macchine condensate ad aria.** (Fonte: Lazzarin, 2019)



**Figura 1.13: Scambiatore di calore a piastre (sinistra) e scambiatore di calore a fascio tubiero (destra).** (Fonte: Lazzarin, 2019)

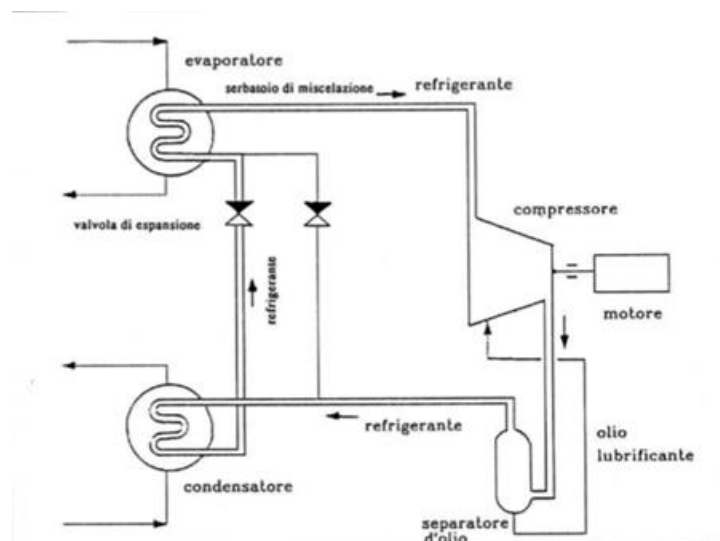
3. **Valvola di espansione:** riduce la temperatura del fluido refrigerante attraverso l'abbassamento di pressione, trasformandolo in una combinazione di liquido freddo e vapore (**Figura 1.14**)



**Figura 1.14: Valvola di espansione termostatica elettronica.** (Fonte: [www.carel.it](http://www.carel.it))

4. **Evaporatore:** si occupa del raffreddamento dell'acqua lato impianto, successivamente al calo della temperatura e pressione del fluido refrigerante. L'acqua, infatti, che scorre all'interno del circuito idrico e spinta dall'azione di una pompa entra all'interno dell'evaporatore cedendo calore al fluido freddo: essa quindi si raffredda ed è pronta per essere inviata ai terminali idronici che si occuperanno di rinfrescare e climatizzare l'aria dell'ambiente. Anche in questo caso, la tecnologia dell'evaporatore può essere a fascio tubiero oppure a piastre. Il refrigerante durante questo processo viene vaporizzato ed è quindi pronto a rientrare nel ciclo, ovvero all'interno del compressore.

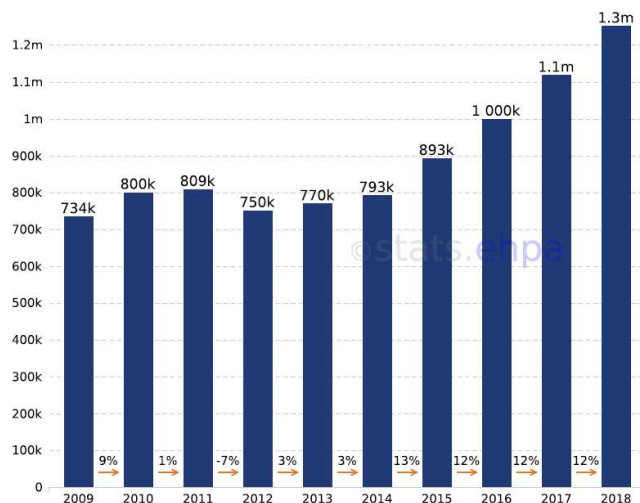
Il ciclo di un chiller (o di una pompa di calore, ottenuto invertendone il senso) può essere quindi schematizzato attraverso **Figura 1.16:**



**Figura 1.16: Ciclo di funzionamento di un chiller.** (Fonte: Lazzarin, 2019)

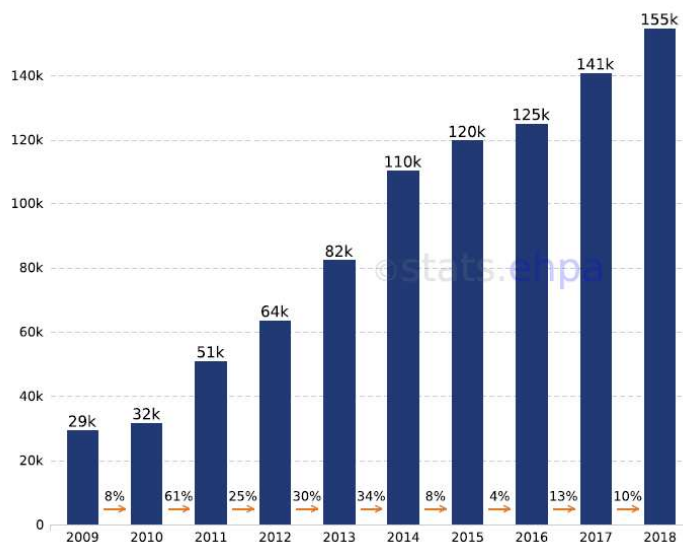
Dal report EHPA del 2019 di Thomas Nowak, nel 2018 in Europa risultavano installate 11.8 milioni di pompe di calore, con tendenze sempre crescenti di nuove installazioni nel corso degli anni, attorno al +12% come si vede da **Figura**

**1.17** (se si esclude il rallentamento nel 2010-2012 dovuto alla pesante crisi economica):



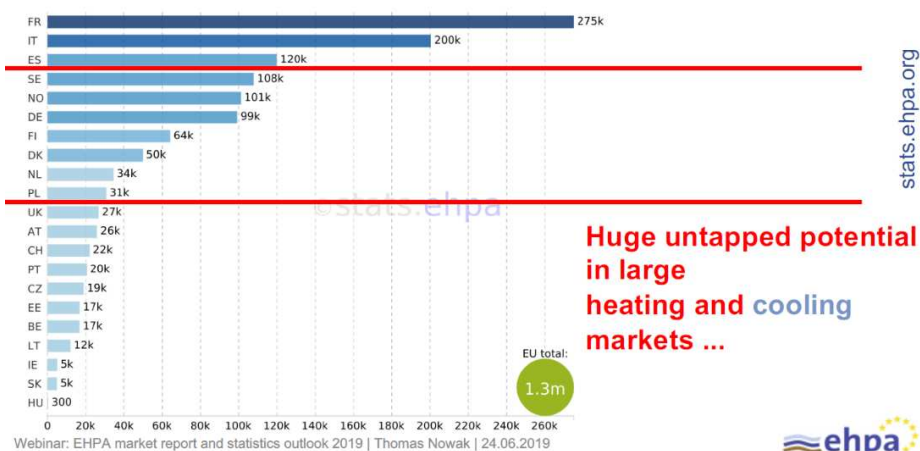
**Figura 1.17: Installazioni di pompe di calore dal 2009 al 2018 in Europa.** (Fonte: Nowak, 2019)

Un altro dato interessante è rivelato dalla crescita dell'installazione di pompe di calore per la produzione di acqua calda sanitaria: anche qua, la tendenza è in continua crescita, con un passaggio da 29mila unità installate nel 2009 a più di 150mila nel 2018 **Figura 1.18:**



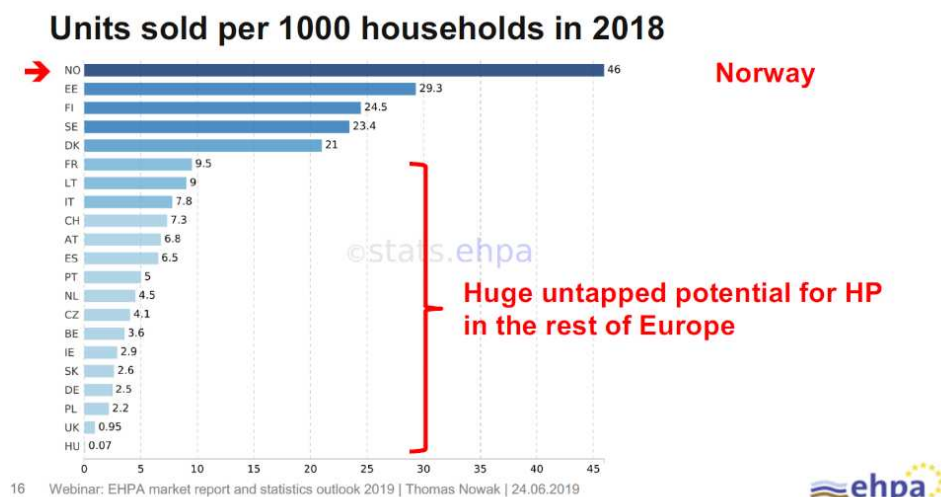
**Figura 1.18: Crescita delle installazioni di pompe di calore per uso sanitario dal 2009 al 2018 in Europa.** (Fonte: Nowak, 2019)

Francia e Italia comandano la classifica degli stati europei per vendite di pompe di calore nel 2018, in parte dovute a notevoli sovvenzioni da parte dello stato, come si vede da **Figura 1.19**:



**Figura 1.19: Pompe di calore vendute nei principali stati europei.** (Fonte: Nowak, 2019)

Se si analizza il numero di pompe di calore vendute ogni mille abitazioni, balza immediatamente all'occhio come lo stato più virtuoso sia la Norvegia, seguita dall'Estonia, Finlandia e Danimarca (**Figura 1.20**). L'Italia si posiziona all'ottavo posto, dietro Francia e Lituania, ma quello che colpisce è il potenziale non sfruttato del resto dell'Europa:



**Figura 1.20: Unità vendute ogni 1000 abitanti per i principali stati europei.** (Fonte: Nowak, 2019)

È infatti interessante costruire uno scenario in cui tutti i paesi dell'Unione Europea siano virtuosi come la Norvegia: applicando quindi il numero di 46 pompe di calore vendute ogni 1000 abitazioni ai vari stati, si otterrebbe un fattore di moltiplicazione delle vendite delle unità pari a 8-10 volte. Questo numero porterebbe quindi ad un numero totale di macchine vendute all'interno



dell'Unione Europea di circa 9.4 milioni: un numero enorme, che metterebbe la catena del valore in forte difficoltà.

Portandosi ad una prospettiva di lungo termine, è possibile fare alcune rapide considerazioni: in Europa vi sono approssimativamente tra i 115 e i 120 milioni di edifici (suddivisi tra 90 milioni di case unifamiliari, 15 milioni di condomini e 15 milioni di edifici commerciali) e quindi, nel caso di una penetrazione del 75% delle pompe di calore nel mercato dei boiler, ci sarebbe bisogno di produrre ed installare 86 milioni di pompe di calore entro il 2050, il che si tradurrebbe in 2.9 milioni di unità ogni anno. Complessivamente, le pompe di calore vendute nel 2018 hanno contribuito a:

- Creare 68228 posti di lavoro;
- 128 TWh di energia rinnovabile prodotta;
- 32.98 Mt di emissioni di gas serra evitate;
- 164 TWh di energia finale risparmiata;
- 75.7 TWh energia primaria risparmiata

### 1.3 L'azienda MEHITS S.p.A.

(Paragrafo tratto da: *IlSoleOvunque*, 2020; *Melcohit*, 2021; *TuttoGreen*, 2010; *Balassone*, 2021)<sup>5</sup>

MEHITS S.p.A., abbreviazione di Mitsubishi Electric Hydronics & IT Cooling System, rientra nel settore metalmeccanico della climatizzazione ed il condizionamento con sede legale a Bassano del Grappa (VI). Altri stabilimenti italiani sono localizzati a Mignagola di Carbonera (TV), Pieve di Alpago (BL) e Pavia. Il core business dell'azienda è incentrato sulla progettazione e produzione di soluzioni altamente personalizzate di:

- **Sistemi idronici** ("Heating, Ventilating and Air Conditioning") dalla denominazione di **HVAC**. Si tratta di macchine che producono acqua o aria calda o fredda con lo scopo di climatizzare ambienti o processi produttivi, sfruttando come fluido termovettore l'acqua. Un impianto di climatizzazione idronico è composto da un refrigeratore d'acqua denominato *chiller* che alimenta elementi terminali di trattamento d'aria come fan coils, pannelli radianti (per il riscaldamento degli ambienti industriali) o tradizionali radiatori. Il chiller può anche essere del tipo *a pompa di calore* per essere usato anche per il

---

<sup>5</sup> *IlSoleOvunque*, *Le pompe di calore – Espansione diretta e climatizzazione idronica*, [www.ilsoleovunque.it](http://www.ilsoleovunque.it), 2020;

Mitsubishi Electric Hydronics & IT cooling Systems S.p.A., *Glossario*, [www.melcohit.com](http://www.melcohit.com), 2021;

Tuttogreen, *Guida pratica alla green economy*, [www.tuttogreen.it](http://www.tuttogreen.it), 2010;

Valeria Balassone, *Induction Plan - Human Resources & Talent Acquisition*, 2021;



riscaldamento invernale. Uno dei grossi vantaggi di questi sistemi è la compattezza della macchina: lo scambiatore racchiude in sé l'intero circuito frigorifero, superando anche i problemi legati alla lunghezza delle tubazioni dei circuiti che causano perdite di pressione. Vi sono poi le unità reversibili (o polivalenti), le *unità di trattamento aria* (AHU, "Air Handling Units"), le unità *roof-top* e i sistemi *a tutta aria* "all-air": in queste ultime, il gas refrigerante effettua lo scambio termico direttamente con l'aria dell'ambiente da climatizzare, per il trattamento ed il rinnovo dell'aria e la ventilazione in ambiente chiuso.

- **Sistemi per l'IT Cooling** ("High Precision Air Conditioning") dalla denominazione **HPAC**.  
Si tratta di macchine per il raffreddamento dei data center ad alta precisione, ovvero di ambienti come i centri di elaborazione dati (server di compagnie telefoniche ed assicurative, banche ecc.) che necessitano di livelli di temperatura e umidità ben definiti e controllati al fine di evitare un loro crash e quindi un momentaneo blocco dei servizi erogati.
- **Sistemi di controllo, gestione ed ottimizzazione.**  
Questi sistemi garantiscono l'affidabilità ed il corretto funzionamento nel tempo delle unità idroniche e di IT cooling, prevenendone potenziali problemi futuri. Infatti, i sempre più alti standard energetici richiesti per gli edifici hanno aumentato la complessità nella progettazione degli impianti, i quali necessitano di un controllo da remoto ed in tempo reale, così da poter modificare in qualsiasi momento i setpoint, impostare nuovi programmi, analizzare dati sulle prestazioni per la manutenzione preventiva e segnalare eventuali malfunzionamenti.

In **figura 1.21** è riportata una panoramica riassuntiva delle tipologie di prodotto rese disponibili da MEHITS:



**Figura 1.21: Panoramica delle tipologie di prodotto offerte da MEHITS S.p.A. (Fonte: Balassone, 2021)**

### 1.3.1 La storia di MEHITS S.p.A.

(Paragrafo tratto da: Comunicati Stampa, 2016; Wikipedia, 2021; Diritto24, 2017; Mitsubishi Electric, 2021; Balassone, 2021)<sup>6</sup>

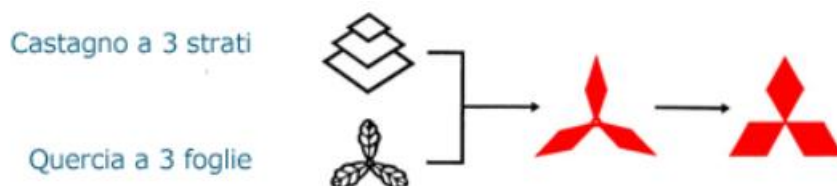
L'azienda MEHITS S.p.A. fa parte del gruppo multinazionale giapponese Mitsubishi Electric Corporation (MELCO, con un fatturato nel 2017 di circa 36 miliardi di dollari e 14000 dipendenti), ramo della casa madre giapponese fondata a Tokio nel 1921. MELCO stessa è una delle molte diramazioni di *Mitsubishi Keiretsu*, nata in Giappone nel 1870, e si affianca ai settori più variegati: automotive, petrolchimico, metallurgico, navale e molti altri; la divisione è leader mondiale nei settori dell'elettronica, del materiale elettrico e dei pannelli fotovoltaici, con presenza in tutto il mondo, come Nord America, Asia Pacific, Europa e Russia, come in **Figura 1.22**:

<sup>6</sup> Comunicati Stampa, *Climatizzazione: Nasce Mitsubishi Electric Hydronic & IT Cooling System S.p.A.*, [www.comunicatistampa.com](http://www.comunicatistampa.com), 2016; Wikipedia, *Climaveneta*, en.wikipedia.org, 2021; Diritto24, *DI TANNO E ASSOCIATI: con DelClima nell'integrazione con Mitsubishi Electric*, [www.diritto24.ilsole24ore.com](http://www.diritto24.ilsole24ore.com), 10/01/2017; Mitsubishi Electric, *Mitsubishi Electric Nel Mondo*, 2021, [www.mitsubishielectric.com](http://www.mitsubishielectric.com); Valeria Balassone, *Induction Plan - Human Resources & Talent Acquisition*, 2021.



**Figura 1.22: Società controllate da Mitsubishi Electric nel mondo.** (Fonte: Mitsubishi Electric, [www.mitsubishielectric.com](http://www.mitsubishielectric.com))

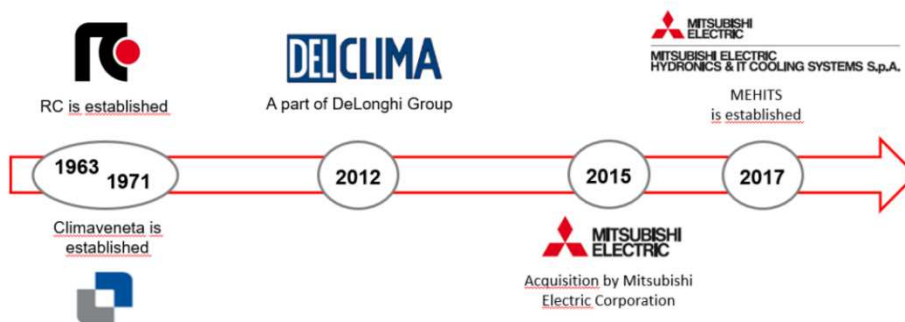
Il gruppo Mitsubishi, quindi, è un assieme molto ampio di aziende utilizzanti lo stesso *brand* in un numero variegato di settori: i cosiddetti “*tre diamanti*” o “*tre petali di castagna d’acqua*” di **Figura 1.23**:



**Figura 1.23: Le origini del logo di Mitsubishi.** (Fonte: Mitsubishi Electric, [www.mitsubishielectric.com](http://www.mitsubishielectric.com))

La sua storia deriva dalla società di spedizioni Tsukumo Shokai, l’antenata di Mitsubishi, la quale usava sulle bandiere delle proprie navi l’icona di una castagna d’acqua di forma triangolare: dalla sovrapposizione di questo con le 3 foglie di quercia dello stemma della famiglia Yamanouchi, del clan Tosa, si è ottenuto quello che in tutto il mondo è riconosciuto come lo stemma della Mitsubishi, il cui nome è nato in un momento successivo.

L’azienda MEHITS S.p.A. nasce ufficialmente nel gennaio 2017 al seguito dell’acquisizione di Climaveneta S.p.A. (fondata in Veneto nel 1971 e specializzata nella produzione di sistemi idronici) ed RC Group (fondata nel 1963 in Lombardia e specializzata nel settore dell’IT Cooling), appartenenti al gruppo DeLclima (nato nel 2012 dalla scissione del gruppo DeLonghi che aveva acquisito Climaveneta nel 1994 ed RC Group nel 2006) per un valore di circa 700 milioni di dollari (**Figura 1.24**):



**Figura 1.24: La storia di RC e Climaveneta** (Fonte: Balassone, 2021)

Durante la loro storia, le due aziende diedero luogo a numerose innovazioni di prodotto nel settore, come ad esempio progetti per la riduzione del consumo di energia e del rumore dei prodotti, per la produzione della prima unità reversibile (che combina la produzione di calore e freddo) e dei “free cooling liquid chillers” per il raffreddamento dei processi e delle sale computer. Nel frattempo, anche grazie all’acquisizione di DeLonghi nel 1994, il gruppo cominciò un periodo di espansione in tutto il mondo, come l’avviamento di una joint venture in Cina, l’acquisizione di distributori in diversi paesi europei (come Spagna, Gran Bretagna e Francia) e la fondazione di diverse filiali in tutto il mondo. Intorno agli anni 2000 vi è stata inoltre l’introduzione delle logiche e della filosofia del Lean Manufacturing nel miglioramento del prodotto e dei processi, che hanno reso Climaveneta tra le prime aziende lean nel Veneto. Nel 2012, Climaveneta S.p.A. entrò a far parte della società DeLclima, assieme a RC Group e De’LonghiRadiator, a seguito della scissione del gruppo DeLonghi. I continui sviluppi di prodotto susseguitosi negli anni hanno portato ad alcune caratteristiche che si rivelarono molto importanti per l’acquisizione da parte del gruppo nipponico: alta varietà di prodotto, modularità e configurabilità. Queste caratteristiche, del tutto complementari a quelle della casa madre, caratterizzata da prodotti standardizzati e rivolti ad un mercato di massa, hanno suscitato l’interesse del gruppo Mitsubishi Electric, il quale avrebbe quindi avuto l’opportunità di ampliare la propria gamma di prodotti, ma soprattutto di esportare il know-how del “distretto del freddo” all’interno delle filiali collocate in tutto il mondo, costituito da competenze e tecnologie eccellenti che hanno reso Climaveneta e RC leader mondiali nella climatizzazione ed il condizionamento. Una ulteriore forte spinta che, nel 2016 ha portato all’acquisizione del gruppo DeLclima da parte di Mitsubishi Electric (e la cessione della società DeLonghi radiator) fu la volontà di entrare all’interno del mercato europeo con una quota di mercato già forte e consolidata delle due aziende del gruppo, i cui marchi sono associati all’eccellenza nella produzione di chiller e pompe di calore idroniche e sistemi per l’IT Cooling. MEHITS, infatti, tutt’ora vende i suoi prodotti utilizzando i marchi Climaveneta e RC, oltre che quello “tre diamanti”. Quest’ultimo infatti viene usato con “parsimonia” data l’importanza

che rappresenta nella cultura dei fondatori giapponesi. Ad oggi, MEHITS S.p.A. ha sede principale a Bassano del Grappa ma possiede stabilimenti in diversi paesi, come l'Italia (Treviso, Belluno, Pavia e Bassano del Grappa, per un totale di 7 stabilimenti), Cina (Shanghai e Foshan, per un totale di 7 stabilimenti), India (1 stabilimento a Bangalore).

### 1.3.2 La business Unit "Chiller & Heat Pumps"

(Paragrafo tratto da: Melcohit, 2021; Balassone, 2021; Riva, 2021; Vialetto, 2021; Zaffaina, 2021)<sup>7</sup>

MEHITS, per garantire ai clienti una elevata customizzazione attraverso varietà ed ampiezza di prodotto (caratteristica che ha sempre contraddistinto le aziende Climaveneta e RC Group), consente, al momento della definizione dell'offerta, una molteplicità di configurazioni possibili. A tal fine, l'azienda è organizzata in 3 business units distinte, ciascuna specializzata nella produzione di una specifica categoria di prodotti:

- Business Unit "*Chiller & Heat Pumps*": specializzata nella produzione di sistemi idronici (chiller e pompe di calore);
- Business Unit "*Close control*": specializzata nella produzione di sistemi di condizionamento di precisione per data center;
- Business Unit "*Air*": specializzata nella produzione di sistemi ad aria.

Nel loro insieme, le business units elencate in precedenza vanno a coprire tre principali segmenti di mercato, denominati *comfort*, *process* e *applications* come si vede in **Figura 1.25**:

---

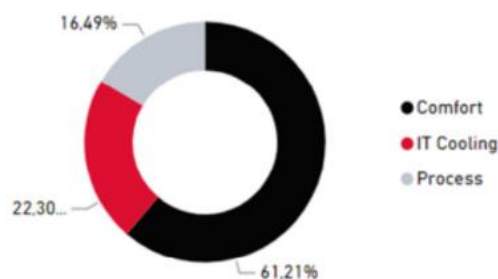
<sup>7</sup> Mitsubishi Electric Hydronics & IT cooling Systems S.p.A., *what we do*, [www.melcohit.com](http://www.melcohit.com); 2021;  
Valeria Balassone, *Induction Plan - Human Resources & Talent Acquisition*, 2021;  
Alberto Riva, *Induction Plan - BU Chiller & Heat Pumps*, 2021;  
Marco Vialetto, *Induction Plan - Sales & Marketing*, 2021;  
Luca Zaffaina, *Induction Plan - KPO & Industrial Operations*, 2021;



**Figura 1.25: I tre segmenti di mercato coperti da MEHITS: *comfort, process e applications*.** (Fonte: Balassone, 2021)

Il primo segmento riguarda in generale il benessere della persona, ottenuto attraverso macchine per la climatizzazione di ambienti residenziali, lavorativi e commerciali, edifici pubblici ecc. Il segmento process riguarda invece i sistemi richiesti dalle industrie per controllare la temperatura di un determinato processo produttivo, come il raffreddamento di stampi o la pastorizzazione in una azienda casearia. L'ultimo segmento riguarda il mantenimento di temperature interne stabili di datacenter, supercomputer e sale server, riducendo al tempo i consumi energetici.

Il segmento maggiormente servito riguarda quello comfort, in particolare civile (come centri commerciali, ospedali, cinema ecc.), ma l'IT Cooling sta avendo negli ultimi una rapida evoluzione e il process rappresenta una buona opportunità di sviluppo: l'importanza di mantenere una buona quota di mercato in tutti e tre i settori si rivela quindi estremamente strategica per il futuro dell'azienda. In **Figura 1.26** è presentato un diagramma a torta che riporta la percentuale di prodotti venduti suddivisi nei tre segmenti di mercato:



**Figura 1.26: Suddivisione delle vendite dei prodotti MEHITS nei 3 segmenti.** (Fonte: Vialletto, 2021)

Come accennato nel cap. 1.2, le BU di MEHITS sono suddivise in 13 stabilimenti tra Europa, Cina e India, di cui 7 localizzati in Italia (**Figura 1.27**): di questi, quelli

appartenenti alla business unit “Chiller & Heat Pumps” (i cui prodotti verranno approfonditi in seguito, per la loro importanza all’interno della tesi) sono:

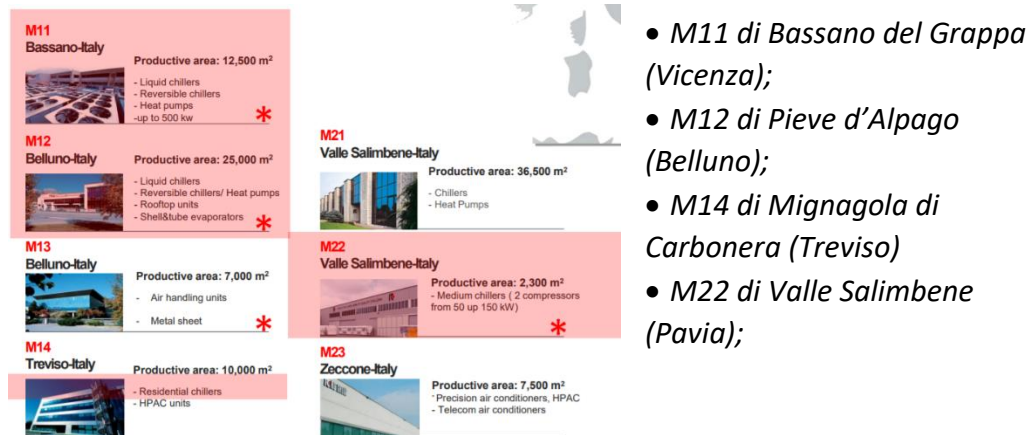


Figura 1.27: Gli stabilimenti MEHITS italiani. (Fonte: Riva, 2021)

Tra le 3 business units elencate inizialmente, questa si colloca, in termini di volumi di vendita (2000 unità/anno) e fatturato (160 milioni di euro nel 2019), nel gradino più alto, con più del 75% del fatturato totale. Segue poi la BU per il raffreddamento di precisione dei datacenter (HPAC), con il 13% ed infine la BU dei sistemi ad aria (Air). Le percentuali sono ben evidenti in Figura 1.28, a cui è affiancata la presenza geografica di MEHITS nel mondo.

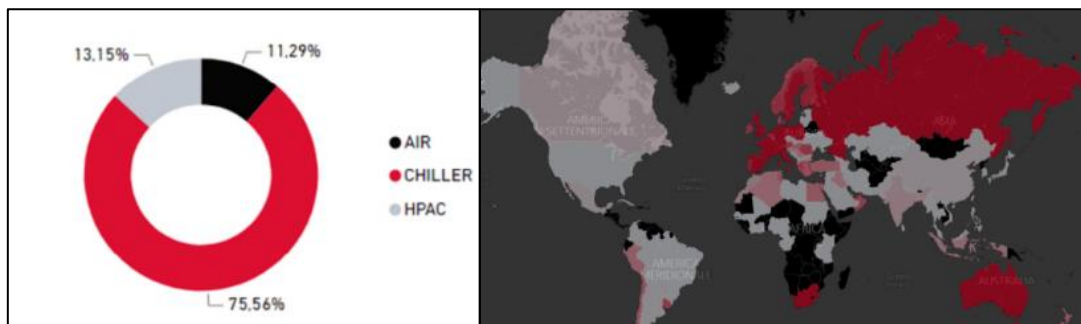


Figura 1.28: Percentuale sul fatturato di MEHITS dei tre segmenti di mercato e presenza di MEHITS nel mondo (Fonte: Vialeto, 2021)

La maggior parte della produzione di basa su chiller e pompe di calore (anche reversibili) e rooftop. I primi rappresentano la maggior parte del fatturato, in misura circa due volte maggiore rispetto alle altre tecnologie. La BU offre una ampia gamma di prodotti, altamente personalizzabili che possono essere *air cooled* (condensate ad aria) oppure *water cooled* (condensate ad acqua), caratterizzati da tre diversi livelli di efficienza (*standard, media e alta*) e di rumorosità (Figura 1.29):



PRODUCTS  
From Development Strategy Meeting

Wide capacity range (4 kW – 4.000 kW)  
many accessories

Hydronics Types			Air cooled		Water cooled
			3 Level of Efficiency	With/Without Pumps on board	3 Level of Efficiency
Chiller	65% of turnover	3 Levels of noise	●	●	●
Heat Pump	17% of turnover	3 Levels of noise	●	●	●
4Pipe Units Multifunction	13% of turnover	3 Levels of noise	●	●	●
Free Cooling	6% of turnover	3 Levels of noise	●	●	●

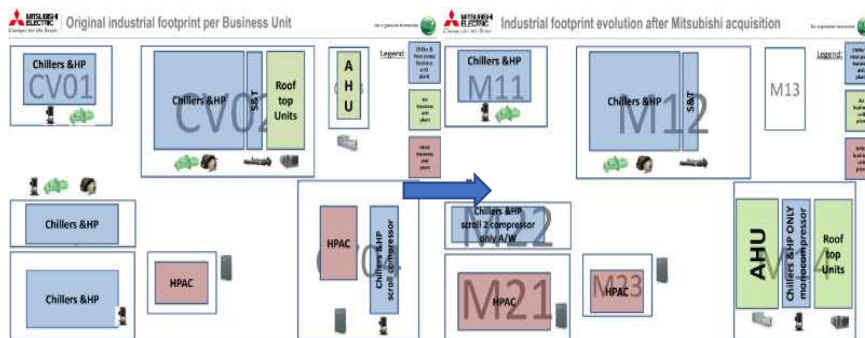
MITSUBISHI ELECTRIC HYDRONICS & IT COOLING SYSTEMS S.p.A.

CONFIDENTIAL

**Figura 1.29: Classificazione dei prodotti della BU Chiller & Heat Pumps di MEHITS**  
(Fonte: Riva, 2021)

La gamma di potenze (e quindi di dimensioni) è molto ampia: per le unità condensate ad aria si spazia tra i 4KW a quasi 2MW, mentre per quelle condensate ad acqua si può passare dai 30KW ai 4MW, arrivando a trattare anche 100000 m<sup>3</sup>/h di aria. La distribuzione del portafoglio prodotti all'interno dei diversi stabilimenti produttivi ha quindi il vantaggio di creare la maggiore omogeneità possibile: infatti, risulterebbe, a livello produttivo, assolutamente sconveniente ed inefficace produrre unità completamente diverse tra loro, in termini sia di potenza, sia di dimensione fisica e di tecnologia applicata. Negli anni, infatti, successivamente all'acquisizione da parte di Mitsubishi Electric, tra i vari stabilimenti è stato portato avanti un progetto di trasferimento di *know-how* e processi produttivi al fine di distribuire al meglio le unità prodotte, cercando di creare la maggior coerenza possibile all'interno delle linee produttive: questa coerenza si è raggiunta innanzitutto separando i prodotti delle diverse BU così da non creare aggregati disomogenei all'interno dei diversi plant. In **Figura 1.30** è possibile quindi notare la differenza tra le unità realizzate pre e post acquisizione da parte di MELCO, con dettaglio sulla tecnologia del compressore installato nelle macchine:





**Figura 1.30: Spostamento delle unità prodotte in base alla tipologia di compressore a seguito dell'acquisizione da parte di MEHITS. (Fonte: Zaffaina, 2021)**

Al fine di comprendere meglio le differenze fisiche tra le diverse unità, vengono riportate successivamente alcune *comparisons* (Figura 1.31):



**Figura 1.31: Alcuni prodotti della BU Chiller & Heat Pumps e varietà delle loro caratteristiche dimensionali e di potenza (Fonte: Riva, 2021)**



## 2. LEAN PRODUCTION E PENSIERO SNELLO

Come descritto all'interno del precedente capitolo, la gestione aziendale di MEHITS S.p.A. pone le sue fondamenta sulle logiche e sugli strumenti propri della Lean Production (o "produzione snella"), ispirata dal *Toyota Production System* (TPS): i suoi principi sono un riferimento non solo nel mercato automobilistico, ma anche nel settore dei motocicli, elettrodomestici e addirittura in contesti non manifatturieri, ed hanno permesso all'azienda giapponese di superare, nel 2008, la General Motors, diventando prima al mondo per numero di veicoli e fatturato. In questo capitolo, quindi, verranno introdotti i principi fondamentali del Pensiero Snello e gli strumenti che ne hanno permesso l'applicazione nel contesto produttivo, alcuni dei quali maggiormente approfonditi nei successivi capitoli perché cuore del progetto di tesi. Verranno inoltre ripercorse le origini del modello industriale Toyota, in parziale conflitto con il consolidato modello Fordista, concludendo con i suoi obiettivi ed i principali benefici che comporta la sua applicazione, anche oltre i confini della produzione.

## 2.1 Introduzione al Toyota Production System (TPS) e alla produzione snella (Paragrafo tratto da: Qualitiamo, 2021; Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978; Womack, Jones & Roos, 1990)<sup>8</sup>

Il Toyota Production System (TPS) è il risultato più visibile dell'eccellenza da parte dell'omonima casa automobilistica giapponese e si presenta come successiva grande evoluzione nell'efficienza dei processi aziendali dopo il sistema di produzione "di massa" ideato da Henry Ford. Fuori da Toyota è spesso chiamato anche "Lean" o "Produzione Snella"

Shigeo Shingo (**Figura 2.1**), riconosciuto dai suoi contemporanei quale coautore assieme a Taiichi Ohno dei principi e concetti portanti del TPS quali il *Just In Time* ed il sistema di produzione *Pull*, alla domanda su che cosa è il sistema di produzione Toyota risponde:



*"L'80% delle persone a cui lo chiederete vi risponderà che è un sistema che si basa sui cartellini o kanban, un altro 15% sosterrà che è un sistema produttivo e solo il 5% coglierà la vera essenza della domanda e vi risponderà che è un sistema per l'eliminazione degli sprechi".*

**Figura 2.1: Shigeo Shingo** (Fonte: Wikipedia)

---

<sup>8</sup> Qualitiamo, *Lean Manufacturing: usare meno risorse per ottenere di più*, [www.qualitiamo.com](http://www.qualitiamo.com), 2021;

Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2015;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

Womack, Jones & Roos, *The machine that changed the world*, 1990;

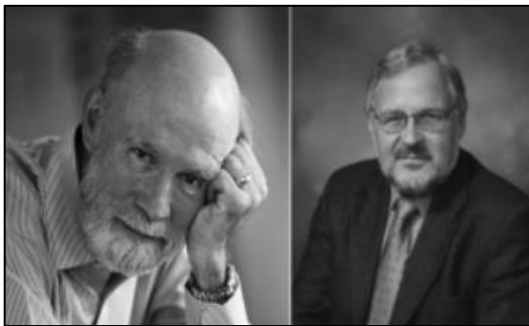
Taiichi Ohno (**Figura 2.2**), invece, lo spiega in modo ancor più conciso:



*“Ci limitiamo ad osservare la sequenza temporale, dal momento in cui il cliente inoltra un ordine al momento in cui incassiamo il denaro. E accorciamo questa sequenza rimuovendo le attività che producono sprechi e non aggiungono valore”*

**Figura 2.2: Taiichi Ohno** (Fonte: Wikipedia)

Ancora, Womack e Jones (**Figura 2.3**), all’interno del loro libro rivoluzionario *“Lean Thinking”*, definiscono il lean manufacturing come un processo in cinque fasi:



1. Definire il valore per il cliente;
2. Identificare il flusso del valore;
3. Farlo “scorrere” senza interruzioni;
4. Far sì che il cliente “tiri” il valore dal produttore;
5. Puntare all’eccellenza;

**Figura 2.3: James P. Womack (sinistra) e Daniel T. Jones (destra)**

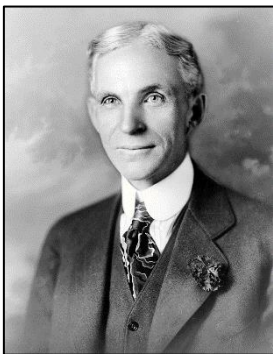
Un produttore snello, quindi, secondo questa definizione, fa scorrere il prodotto attraverso una serie di processi che aggiungano valore senza interruzioni e adotta una logica *“pull”* che stimoli l’andamento della domanda da parte della clientela, reintegra a breve intervalli solo le scorte necessarie per l’operazione successiva e sviluppa una cultura in cui tutti si sforzano incessantemente di migliorare.

Riassumendo, è quindi possibile definire la *Lean Production* come un insieme di principi, logiche, metodi e tecniche per la gestione dei processi operativi, che mira ad aumentare il valore percepito del cliente finale riducendo sistematicamente gli sprechi per l’azienda. Nel fare questo è necessario il coinvolgimento di persone motivate al miglioramento continuo. Nell’insieme, “il Lean thinking è un modo di fare di più, di più, di più, con meno, meno, meno, avvicinandosi a ciò che vuole il consumatore”. Questa nuova filosofia, in netta contrapposizione rispetto a quella che era la tradizione industriale del ‘900 (*modello Fordista o Taylorista*), si pone come la principale soluzione per

affrontare la competitività e la sempre maggiore qualità e minori tempi di consegna richiesti dal mercato, accrescendo la flessibilità dell'impresa attraverso strutture organizzative agili e la partecipazione attiva delle persone. In meno di un trentennio queste pratiche hanno condotto a nuovi standard di performance che riguardano non solo la produttività, ma anche la qualità, che si traducono in risultati finanziari migliori, ambienti di lavoro più sicuri e gradevoli e clienti maggiormente soddisfatti grazie a prodotti e servizi con eccellenti caratteristiche e a prezzi convenienti.

## 2.2 Il Modello Fordista, la "Piramide di Maslow" e la produzione a lotti (Paragrafo tratto da: CaricaVincente, 2020; StateOfMind, 2015; Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978)<sup>9</sup>

Tra i diversi pensatori di fine '800 ed inizio '900 un ruolo di grande importanza lo assume l'ingegnere ed imprenditore statunitense Frederick W. Taylor (1856-1915), autore del libro intitolato "*The Scientific management*": al suo interno è sviluppata la teoria secondo la quale anche il management d'impresa debba dotarsi di tecniche scientifiche nell'ambito della produzione, massimizzandone l'efficienza ed aumentandone la produttività.



Henry Ford (**Figura 2.4**) leggendo questo libro fu il primo ad accoglierne le idee concretamente e decise di spendere parte del patrimonio della famiglia nel settore delle automobili, che a quell'epoca erano un prodotto artigianale e assolutamente non standardizzato. Ford, quindi, mise in piedi una fabbrica radicalmente diversa da quelle degli altri artigiani per due aspetti importanti:

**Figura 2.4: Henry Ford** (Fonte: Wikipedia)

- **L'introduzione della *Main Line***: si tratta della *catena di montaggio*, ovvero di un sistema produttivo composto da stazioni di lavoro in sequenza collegate da nastri trasportatori sopra i quali il prodotto avanza con tempi standard. Le auto vengono quindi assemblate con gli operatori

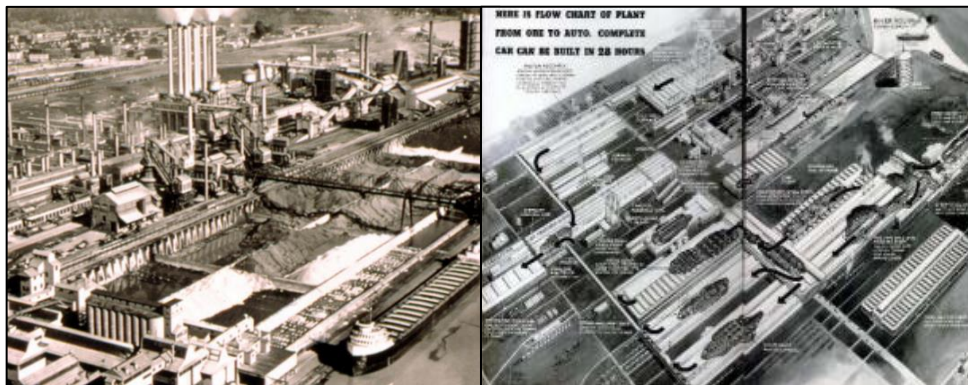
---

<sup>9</sup> CaricaVincente, *Piramide di Maslow: spiegazione definitiva della scala dei bisogni*, [www.caricavincente.it](http://www.caricavincente.it), 2020;  
StateOfMind, *Motivazione e Piramide di Maslow – Introduzione alla psicologia Nr.08*, [www.stateofmind.it](http://www.stateofmind.it), 2015;  
Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;  
Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;  
Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

fermi nella loro postazione ed avanzano lungo la linea principale, in cui convergono altre *lines secondarie* per riforniscono dei principali componenti.

- **Parcellizzazione del lavoro:** si tratta della suddivisione del lavoro in moltissimi micro-compiti, assegnati in bassissimo numero ai lavoratori e ripetuti centinaia di volte.

La fabbrica, sorta sulle sponde del *River Rouge* a Detroit (**Figura 2.5**), era lunga circa 13 km e completamente autosufficiente (per energia, lavorazioni meccaniche, materiali come gomma ecc.) ed era in grado di sfornare una Ford Model T nera ogni circa 47s: un risultato mai visto fino ad allora, con una produzione totale negli anni di circa 16 milioni di macchine. Nacque quindi grazie a Ford la *produzione di massa*: tale approccio permise di ridurre in maniera drastica il costo di produzione, con recuperi di efficienza straordinari e rendendo accessibile l'automobile a milioni di americani.



**Figura 2.5: Fabbrica Ford a Detroit (Michigan), sulle sponde del fiume Rouge (Fonte: FineArtAmerica)**

La *visione* di Henry Ford era costituita essenzialmente da nastri trasportatori sui quali le materie prime giungono alle postazioni di lavoro per essere lavorate e successivamente le diverse componenti del prodotto vengono automaticamente inviate verso la stazione successiva così via verso le linee di assemblaggio finali. Il tutto avviene ad una velocità costante, con un flusso lineare e regolare, dall'inizio della produzione fino a quando il prodotto è finito e pronto per essere inviato al consumatore.

Negli anni successivi il *modello Fordista* cominciò a diffondersi all'interno del tessuto industriale americano, soprattutto in quei settori caratterizzati da grandi volumi (come l'elettronica di consumo e le motociclette) favorendo la transizione da una *produzione artigianale* ad una *produzione di massa*, caratterizzata da:

- **Specializzazione del lavoro:** i cicli dell'artigiano vengono scomposti in tante microfasi, semplici ed eseguite centinaia di volte;

- **Standardizzazione di prodotto e di processo:** un solo modello di automobile, realizzata in altissimi volumi e con cicli di lavoro standard in termini di tempo ed attrezzature. Riguardo questo concetto è opportuno riportare una celebre frase di Henry Ford, che cita testualmente: *“Ogni cliente può ottenere una Ford Model T di qualunque colore desideri, purché sia nera”*;
- **Elevati investimenti per macchinari specializzati, in cui avvengono economie di scala:** all’aumentare del volume di produzione, il costo totale unitario decresce, poiché i costi fissi si ripartiscono su più unità di prodotto;
- **Domanda altamente prevedibile e controllabile da parte dell’offerta:** il mercato avrebbe assorbito tutta l’offerta di prodotto
- **Elevate scorte di sicurezza:** il sincronismo tra i flussi avviene con l’utilizzo di molti *buffer* (o polmoni) in cui sono stoccate molte scorte;
- **Presenza della figura del metodista:** il metodista è colui che studia i migliori tempi/metodi di lavoro. Perse di smalto negli anni ’80-’90, ma è ancora presente nelle aziende labour intensive.

A Ford va senza dubbio attribuito il merito di aver posto le basi per la moderna produzione automobilistica ed ancora oggi in America questo sistema simboleggia la produzione e la vendita di grandi quantità di automobili: una produzione di massa organizzata sul lavoro a catena e talvolta unito a sistemi d’automazione. Questo modello diventò il *“one best way”* per molti decenni, fino a quando, attorno agli anni ’50, non riuscì più a rispondere ad alcune nuove sollecitazioni di mercato.



Abraham Maslow (**Figura 2.6**), psicologo statunitense e definito dal giornale *The Review of General Psychology* al decimo posto tra gli psicologi più citati del ventesimo secolo, tra il 1943 ed il 1954 concepì il concetto della *Gerarchia dei bisogni e necessità*, divulgato all’interno del visionario libro *“Motivation and personality”*.

**Figura 2.6: Abraham Maslow** (Fonte: Wikipedia)



Il concetto può essere rappresentato visivamente e meglio spiegato mediante una sua rappresentazione grafica, che prende il nome dal suo creatore, la famosa “Piramide di Maslow” (Figura 2.7):

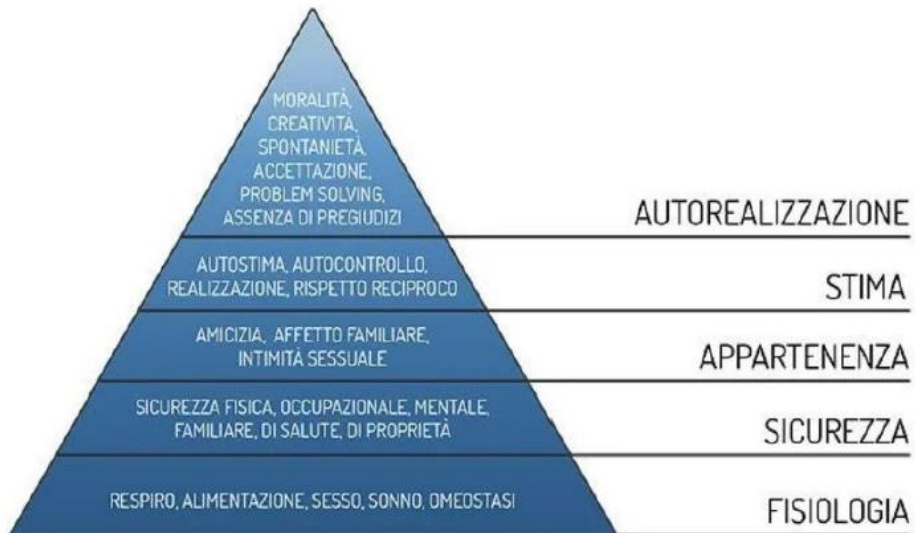


Figura 2.7: La Piramide dei bisogni di Maslow (Fonte: StateOfMind, 2015)

Lo psicologo suddivide quindi i bisogni degli esseri umani in cinque distinte categorie, posizionate all'interno dei 5 differenti piani della piramide:

1. **Bisogni fisiologici:** sono i primi che compaiono, come ad esempio la fame, la sete ed il sonno e devono essere necessariamente soddisfatti perché connessi alla sopravvivenza fisica dell'individuo;
2. **Bisogni di sicurezza:** spingono l'individuo verso la ricerca di protezione e contatto;
3. **Bisogni di appartenenza e socialità:** fanno riferimento al dare e ricevere, all'amicizia ed al sentirsi parte di un gruppo;
4. **Bisogni di riconoscimento e stima:** sono legati a tutti quei comportamenti ed atteggiamenti volti ad ottenere il riconoscimento da parte degli altri, aumentando l'autostima e migliorando l'immagine di sé;
5. **Bisogni di autorealizzazione:** sono tutti i comportamenti che mirano al riconoscimento di sé stessi;

I consumatori, per definizione, acquistano un prodotto in quanto attraverso il suo utilizzo quotidiano soddisfano dei bisogni: innalzando il loro livello nella piramide, tuttavia, il prodotto standard che inizialmente era in grado di soddisfarli ora non è più sufficiente. Si comincia quindi a delineare quella che viene chiamata *segmentazione del mercato*: i consumatori hanno bisogni

differenti e cominciano a chiedere un'offerta con maggiore *varietà di prodotto*, mettendo in crisi la produzione di massa.

Un primo tentativo di far fronte alla crisi lo fece Alfred Sloan (1875-1966), manager di General Motors (un agglomerato di diversi marchi come Chevrolet, Cadillac e Pontiac), il quale riteneva che bisognasse offrire maggiore varietà al mercato: introdusse la *produzione per reparti*. Questa modalità di produzione si organizzava in centri di lavoro o *job shop* caratterizzati da macchinari tecnologicamente omogenei che permettevano di produrre diverse varianti di prodotto anche in bassi volumi denominati *lotti*, ognuna con un ciclo di lavoro differente a seconda del loro passaggio tra i diversi reparti. Questo nuovo sistema produttivo non era però soddisfacente, generando *scorte, code, attese* ed alti *tempi di attraversamento*: ostacoli che verranno poi scavalcati grazie alla nascita del Toyota Production System negli anni successivi.

### 2.3 La storia della famiglia Toyoda e lo sviluppo del Toyota Production System

(Paragrafo tratto da: Liker & Attolico, 2004; Panizzolo, 2019; Ohno, 1978; Imai, 2015)<sup>10</sup>



Sakichi Toyoda (**Figura 2.8**) nacque a fine dell'Ottocento in una isolata comunità di campagna fuori Nagoya, in Giappone, e da giovane imparò l'arte della carpenteria dal padre. Negli anni successivi applicò le competenze acquisite per la progettazione e la costruzione di filatoi in legno: all'epoca, il settore della tessitura era molto importante e lo stesso governo giapponese promosse la

**Figura 2.8: Sakichi Toyoda** (Fonte: Wikipedia)

creazione di piccoli laboratori e opifici che davano lavoro ad una manciata di persone. Nel 1894 Sakichi cominciò quindi a costruire telai manuali migliori di quelli esistenti e ad un costo minore, ma non era soddisfatto: il suo intento era quello di trovare il modo per ridurre la fatica per filare e tessere e si ingegnò per

---

<sup>10</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

sviluppare telai in di legno alimentati da una fonte di energia esterna, comprando un motore a vapore usato (**Figura 2.9**). Procedendo per tentativi ed errori e sporcandosi le mani (approccio chiamato *genchi genbutsu*) capì come farlo funzionare e nel 1926 fondò la **Toyoda Automatic Loom Works** (ancora oggi parte del conglomerato Toyota). Sakichi è ricordato ancora oggi per due grandi invenzioni:

- **Meccanismo intelligente di riconoscimento del filo spezzato:** consisteva nell'arresto immediato del telaio quando si spezzava un filo, permettendo all'operatore di supervisionare così più telai contemporaneamente; un'invenzione che, ampliata ed evoluta, divenne uno dei fondamenti del TPS, denominato *jidoka* ("costruire qualità per produrre materiali "a prova di errori"");
- **Cambio della spoletta in corsa:** permetteva di ridurre drasticamente il riattrezzaggio del telaio; il concetto venne ripreso successivamente da Shigeo Shingo, il quale diede vita all'approccio dello *SMED* (Single Minute Exchange of Die, ovvero il riattrezzaggio a singola cifra, sotto i 10 minuti);



**Figura 2.9:** Telaio automatico "**Toyoda G-Type**" del 1926 (Fonte: BarberoEditoriGroup, 2012)



Il telaio automatico “a prova di errori” divenne il modello più popolare della Toyoda Automatic Loom Works e nel 1929 Sakichi mandò suo figlio Kiichiro (**Figura 2.10**) in Inghilterra a negoziare la vendita del brevetto, ottenendone centomila sterline: l’anno successivo Kiichiro usò il capitale per avviare la costruzione della Toyota Motor Corporation, spinto dalla consapevolezza del padre che le automobili sarebbero state la tecnologia del futuro, mentre i telai sarebbero diventati una tecnologia obsoleta.

**Figura 2.10: Kiichiro Toyoda** (Fonte: Wikipedia)

Per tutti gli anni Trenta l’azienda arrancò e la sua produzione si incentrò per lo più su semplici camion di scarsa qualità e contenuto tecnologico. Così i leader decisero di visitare gli stabilimenti Ford e General Motors per studiare attentamente le loro linee di assemblaggio e sperimentarono nella produzione dei loro telai le innovazioni concepite dal modello Fordista: il convogliatore a nastro, i macchinari e le attrezzature specializzate e l’idea delle economie di scala. Ancor prima della crisi conseguente alla Seconda guerra mondiale, Toyota capì però che la diretta applicazione della produzione di massa vista nelle industrie americane non era praticabile in Giappone: il mercato nipponico era troppo esiguo e la domanda troppo frammentata per produrre veicoli altamente standardizzati ed in grande quantità. Per sopravvivere nel lungo periodo era necessario adattare l’approccio americano al mercato giapponese, e la situazione si fece drammatica nel 1948: il debito accumulato dall’azienda era pari a 8 volte il suo valore capitale e nonostante il taglio dei salari e il pensionamento anticipato di 1600 dipendenti, Kiichiro si dimise assumendosi le responsabilità del fallimento.



Al suo posto subentrò suo cugino Eiji Toyoda (**Figura 2.11**), che aiutò a governare e poi presiedette l’azienda durante gli anni più cruciali della crescita nel dopoguerra e nella trasformazione in leader mondiale. Eiji, negli anni Cinquanta, durante una visita negli Stati Uniti di tre mesi per studiare gli stabilimenti americani assieme a Taiichi Ohno, si aspettava di trovare nuovi progressi tecnologici. In realtà, ciò che constatarono era che le tecniche produttive non erano cambiate dagli

**Figura 2.11: Eiji Toyoda** (Fonte: Wikipedia)

anni Trenta: ciò che videro fu un gran numero di macchinari costosi che sfornavano grandi quantità di prodotti, stoccati in magazzino per lunghi periodi

di tempo prima di essere trasferiti in un altro reparto per la successiva lavorazione, in cui l'obiettivo era massimizzare l'efficienza nella riduzione del costo unitario cercando di tenere occupate le macchine ed i dipendenti il più possibile. Il risultato era un'abbondante sovrapproduzione ed un flusso molto irregolare, con stabilimenti più simili a dei magazzini che a fabbriche in cui grandi carrelli elevatori spostavano continuamente montagne di materiali. Eiji e Taiichi quindi si convinsero definitivamente di riuscire a recuperare terreno sulle case automobilistiche americane, e, studiando in maniera più approfondita la concorrenza attraverso ulteriori viaggi negli Stati Uniti, capirono un concetto fondamentale: Toyota doveva essere in grado di padroneggiare il *flusso continuo* del modello Fordista, ma senza la produzione a lotti che accumulava scorte *work in process* in ogni punto della catena del valore, non potendosi permettere sprechi di materiale e di spazio e dovendo rispondere ad una domanda altamente variabile in piccole quantità (*"to play a new game"*). Questi sforzi diedero vita al sistema *Toyota Production System*, efficiente come il modello americano ma anche capace di adeguarsi alla flessibilità della domanda della clientela riducendo al minimo gli sprechi: questo fu possibile attraverso alcune caratteristiche, tra le cui principali si possono citare:

- **Macchinari di piccole dimensioni e general purpose**, a differenza delle macchine altamente specializzate tipiche della produzione di massa;
- Sistemi **poka-yoke** ("a prova di errore") di controllo qualità;
- Flusso dei materiali di tipo **pull** e con logica **Just In Time**: la fase a valle (o "cliente" del processo) richiama materiale dalla fase a monte nella quantità necessaria e solo quando ne ha bisogno ("quanto serve e quando serve");
- Metodi di riduzione del tempo di set-up delle macchine: importante il ruolo che ebbe Shigeo Shingo, inventore della **metodologia SMED**, in cui si ritiene possibile l'abbassamento del riattrezzaggio di qualsiasi macchina sotto i 10 minuti. Il flusso, infatti, muore dove c'è il set-up ed è nemico della logica pull;
- Adozione di un approccio sistematico alla risoluzione dei problemi, successivamente noto come **Ciclo di Deming** o **PDCA** (Plan Do Check Act);

- Valorizzazione e coinvolgimento di tutto il personale aziendale;

Ma soprattutto, ciò che permise a Toyota di raggiungere la sua forza fu l'introduzione del **miglioramento continuo** (denominato "**kaizen**"), ovvero "*l'apporto di miglioramenti progressivi, anche di piccolissima entità, per conseguire l'obiettivo dell'eliminazione degli sprechi* (denominati "**Muda**") *che aggiungono costi senza aggiungere valore*" (Liker). Si tratta di una filosofia totale, che mira alla perfezione ed alimenta il Toyota Production System ogni giorno.

### 2.3.1 Il successo delle aziende Giapponesi nell'economia occidentale (Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978)<sup>11</sup>

A metà degli anni Settanta, nell'economia occidentale vide l'ingresso vittorioso di molte aziende giapponesi: tra le più rinomate, si può citare Sony, Panasonic, Yamaha, Honda, Suzuki e soprattutto, la Toyota. Questi produttori, grazie ad un mix esplosivo di prodotti a costi bassi, qualità e varietà più alta, diventarono leader di interi settori industriali come il motociclismo, l'elettronica di consumo e l'orologeria. La penetrazione di questi articoli fu talmente sconvolgente che migliaia di aziende furono costrette a chiudere e, nonostante ciò, il mondo occidentale si convinse che l'ascesa delle aziende giapponesi fosse solo un processo passeggero (la frase più ripetuta dai produttori americani era "poi torneranno a comprare i nostri prodotti...") e giustificò il loro successo secondo i seguenti fattori, denominati "*Country Specific*":

- I giapponesi hanno un vantaggio di costo dovuto alle paghe basse, il cambio con lo Yen è favorevole e hanno un basso costo del capitale (attorno all'1-1,5%);
- I giapponesi hanno avuto fortuna: producono macchine piccole e che consumano poco nel momento dello shock petrolifero del 1973 (il costo del petrolio aumentò di dieci volte in un fine settimana);
- I giapponesi fanno un utilizzo molto spinto di tecnologie avanzate di automazione: questo era falso, secondo loro le tecnologie creano rigidità nei processi produttivi;

---

<sup>11</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

- I giapponesi sono stati finanziati dallo stato (MITI): questo è assolutamente vero. Il MITI ha svolto un ruolo fondamentale nella ricostruzione del tessuto industriale del Giappone;
- I giapponesi copiano;

Questi fattori, in parte veri ed in parte falsi, vennero utilizzati dagli osservatori americani per evitare analisi più approfondite. Il punto di svolta si ebbe nei primi anni Ottanta, quando la Toyota decise di aprire le porte delle sue fabbriche agli occidentali: da questa visita, i ricercatori più seri cominciarono a parlare di una *nuova competizione industriale*. A riguardo, Peter Senge, docente del MIT, disse *“A quei manager fu mostrato un metodo talmente innovativo che non erano preparati per capirlo”*. I più scettici furono definitivamente convinti della superiorità del modello giapponese grazie ai risultati del programma di ricerca *“International Motor Vehicle Program”* del MIT di Boston svolto da John Krafcik e 3 professori: Womack, Jones e Roos. In questo studio risiedeva la volontà di determinare le prestazioni di produzione di alcuni stabilimenti produttori di automobili, suddividendoli in tre classi distinte:

- Stabilimenti con management e manodopera giapponese;
- Stabilimenti fuori dal territorio giapponese, con management e manodopera locale;
- Stabilimenti *transplant*, con management giapponese e manodopera locale;

Dalla raccolta di una massa enorme di dati e la loro analisi, Krafcik scoprì che non vi era confronto tra stabilimenti americani e giapponesi. Ma ciò che non ci si aspettava fu la netta superiorità degli stabilimenti *transplant* su quelli americani, nonostante non fossero performanti come quelli giapponesi. Su quest'ultimo punto, è interessante riportare il caso di NUMMI.

### 2.3.2 NUMMI (New United Motor Manufacturing Inc)

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Womack, Jones & Roos, 1990; Ichi.pro; Adler, 1993)<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

ICHI.PRO, *Dal peggiore al migliore: lezioni da NUMMI*, [www.ichi.pro.it](http://www.ichi.pro.it);

Paul S. Adler, University of Southern California *Taylorismo democratico: il sistema di produzione Toyota nel caso NUMMI*, 1993;

Nel 1984 a Fremont (California) Toyota e General Motors crearono una joint venture denominata NUMMI (New United Motor Manufacturing Inc), riaprendo lo stabilimento chiuso appena due anni prima e riconosciuto come la peggior fabbrica di automobili del Nord America: l'assenteismo dei lavoratori fluttuava tra il 20 ed il 50%, era diffusa l'assunzione di alcool e di droghe sul posto di lavoro e spesso vi era l'abitudine di sabotare le macchine che essi stessi costruivano, lasciando bulloni e lattine di bibite nei pannelli delle automobili per infastidire i clienti. L'obiettivo di General Motors fu quella di cambiare l'industria automobilistica, introducendo negli Stati Uniti il TPS, ed introdurre una piccola autovettura per colmare un buco all'interno della sua linea di prodotti; dal canto suo, Toyota aveva la necessità di bypassare le contingenze imposte dagli Stati Uniti: i modelli giapponesi stavano riscuotendo così tanto successo in America che il governo decise di aggiungere tariffe aggiuntive a qualsiasi auto importata. Al fine di aggirarle, l'unico modo era produrre automobili in suolo statunitense. Così le due aziende, grazie ad un investimento di 450 milioni di dollari riportarono in vita la vecchia fabbrica e concordando che la maggioranza della forza lavoro sarebbe stata scelta fra i lavoratori licenziati del vecchio stabilimento: nei 20 mesi successivi furono assunti 2200 lavoratori, di cui l'85% facenti parte di questa categoria. L'obiettivo prefissato da NUMMI era quello di *costruire le proprie auto al minor costo possibile e con la maggior qualità possibile*, e a tal fine la gestione delle operazioni di NUMMI fu modellata a partire dal Toyota Production System, introducendo alcuni concetti chiave come il *kanban*, il *livellamento della produzione (heijunka)*, il *miglioramento continuo (kaizen)*, il *controllo visivo*, l'*autonomazione (jidoka)* ed il *lavoro standardizzato*: la combinazione di questi elementi creò un'organizzazione estremamente disciplinata e trasformò in poco più di 6 mesi la peggior fabbrica del Nord America nella migliore (**Figura 2.12 e 2.13**).



**Figura 2.12: Lo stabilimento NUMMI di Fremont, California**

---

Womack, Jones & Roos, *The machine that changed the world*, 1990;





**Figura 2.13: Dipendenti dello stabilimento NUMMI con i manager giapponesi**

John Krafcik analizzò estensivamente la produttività dello stabilimento NUMMI (**Figura 2.14**): era decisamente più alta rispetto al vecchio impianto GM di Fremont ed all'impianto esistente GM di Framingham (paragonabile a NUMMI per mix di tecnologia e prodotto), e si rivelò produttiva quasi quanto l'impianto Toyota di Takaoka, in Giappone. Questo ultimo risultato si rivela ancora più significativo considerando il fatto che la forza lavoro in NUMMI era in media di dieci anni più vecchia di quella dello stabilimento giapponese.

	General Motors	Toyota	NUMMI
Assembly Hours per Car	31	16	19
Assembly Defects per 100 Cars	130	45	45
Assembly Space per Car	0.75	0.45	0.65
Inventories of Parts (Average)	2 weeks	2 hours	2 days
Space used for Rework	15%	None	7%
Absenteeism	15%	None	1.5%

**Figura 2.14 Confronto tra General Motors, Toyota e NUMMI** (Fonte: Womack, Jones & Roos)

Il motivo dell'elevata produttività di NUMMI ha chiaramente a che fare con l'intensità del lavoro: nella vecchia fabbrica di Fremont i tempi standard erano impostati per occupare l'operatore al 75% (quindi per 45s su un ipotetico ciclo di 60s); la NUMMI mirava invece ad occupare il lavoratore per tutto il tempo ciclo, arrivando ad una media di 57s. Ciò fu raggiungibile grazie all'applicazione del sistema di produzione Toyota e all'organizzazione del lavoro basata sull'abbassamento drastico delle scorte di emergenza, l'introduzione di procedure operative standard, livelli di produzione variabile e risposte rapide ai guasti con correzioni degli errori durante il processo produttivo. I lavoratori della

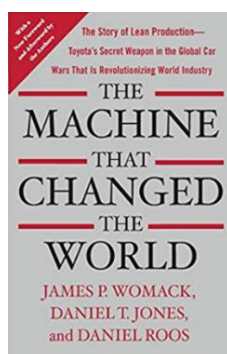
NUMMI espressero ovviamente lamentele riguardo il nuovo ambiente intensamente disciplinato e regolamentato ma nonostante questo fu valutata positiva anche l'esperienza lavorativa dei dipendenti, ottenendo i seguenti risultati attraverso interviste eseguite negli anni seguenti:

- Nessun dipendente avrebbe preferito lavorare nel vecchio stabilimento;
- La "soddisfazione complessiva del lavoro" crebbe dal 76% nel 1987 al 90% nel 1991;
- La partecipazione al programma di suggerimenti crebbe dal 26% del 1986 al 94% del 1992 (con una media di 6 suggerimenti l'anno da parte di ciascun operatore);
- Il tasso di assenteismo si mantenne ad un livello estremamente basso di circa 3%;

La risposta positiva al sistema Toyota risiede, in parte, nella sensazione diffusa tra i lavoratori che la regolamentazione non fosse imposta dall'alto ma invece adottata in maniera congiunta come il miglior modo per raggiungere un obiettivo molto difficile: agli ingegneri industriali che redavano gli standard lavorativi, chiusi nei loro uffici e studiando manuali, si sostituirono gli operai e i team Leader a cui veniva affidato un cronometro ed insegnato come valutare procedure alternative consigliate dai loro colleghi per assicurare la miglior allocazione dei compiti ed il bilanciamento della produttiva. I metodi migliori dovevano quindi essere applicati con grande costanza, ma gli operatori erano fortemente incoraggiati a suggerire miglioramenti, con i manager che li prendevano in seria considerazione. Ciò suggerisce che cominciando dall'assunto che gli stessi dipendenti vogliono contribuire al bene dell'azienda è possibile creare un'organizzazione che diffonda e suggerisca miglioramenti nelle pratiche operative standard ed ottenere un alto livello di impegno dagli stessi.

Un famoso motto Toyota cita: *"Prima di produrre dei prodotti, dobbiamo formare buoni uomini"*

Krafick evinse quindi che il modello Toyota è non solo superiore, ma anche *esportabile* fuori dai confini del Giappone, oltrepassando i fattori *"country specific"*.



I risultati di questa ricerca portarono alla pubblicazione di un libro rivoluzionario, *“The machine that changed the world”* (Figura 2.15) di Womack, Jones e Roos, in cui si afferma per la prima volta che è nato un nuovo modello, più performante ed esportabile, e l’America capisce che è definitivamente nata una nuova era.

Figura 2.15: “The Machine That Changed The World” di Womack, Jones e Roos

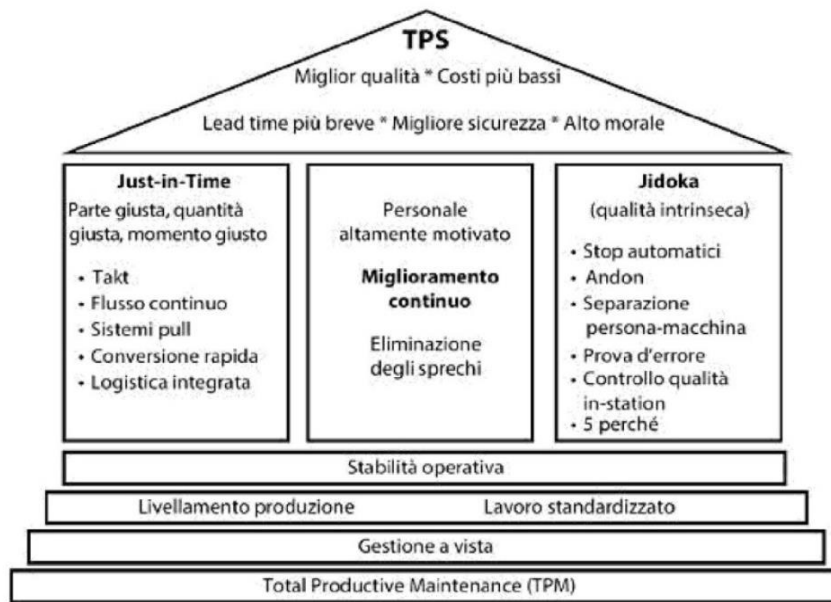
## 2.4 La Casa del Toyota Production System

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978; Imai, 2015, King P.L, 2009)<sup>13</sup>

Applicando e migliorando il TPS giorno dopo giorno all’interno dei suoi stabilimenti, dipendenti e dirigenti imparavano costantemente nuovi metodi e varianti dei vecchi, attraverso un’effettiva pratica in fabbrica. Tutto ciò veniva portato avanti senza documentarne gli aspetti teorici, e ciò in Toyota funzionava benissimo anche perché l’azienda era relativamente piccola e di conseguenza la comunicazione efficace. Man mano che le “best practice” maturavano fu chiaro che insegnarle ai fornitori non sarebbe stato altrettanto facile: Fujio Cho quindi, discepolo di Taiichi Ohno, sviluppò uno dei simboli più riconoscibili nella moderna teoria della produzione, la *“Casa del TPS”* o *“Tempio del Valore”* (Figura 2.16).

---

<sup>13</sup>Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;  
Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;  
Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;  
Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;  
King P.L, *Lean thinking per le aziende di processo: gestire la complessità senza sprechi per essere più flessibili e veloci*, Ulrico Hoepli Editore S.p.A., Milano, 2009;



**Figura 2.16: Il “Tempio del Valore” del Toyota Production System** (Fonte: King P.L, 2009)

La rappresentazione grafica a forma di casa non è casuale: infatti, *essa risulta solida se e solo se sono solidi il tetto, i pilastri e le fondamenta*. Un elemento debole indebolisce tutto il sistema.

- Il tetto rappresenta gli obiettivi della Lean Production, ovvero *qualità migliore, costi più bassi e lead time più breve*.
- I due pilastri esterni sono il *Just In Time* (consegnare al processo cliente solo ciò che serve e quando serve) ed il *Jidoka* (non lasciare mai che un difetto arrivi alla fase successiva, dotando le macchine di sistemi di fermata “intelligente”).
- Al centro della casa si trovano le *persone*, concetto legato sia alle tematiche di partecipazione attiva alle attività aziendali, sia alla sicurezza del posto di lavoro (*obiettivo zero infortuni*).
- Nelle fondamenta si trovano i concetti fondamentali del TPS, come il *kaizen* (miglioramento continuo, con uso di problem solving e sviluppo del personale), l'esigenza di *processi standardizzati, stabili ed affidabili*, il *visual management* (gestione visiva).

Ciascun elemento della casa è importante di per sé, ma ancor più importante è il modo in cui gli elementi creano sinergia tra di loro, rinforzandosi a vicenda: infatti, utilizzare il Just In Time significa produrre solo il necessario, riducendo le scorte a magazzino, e l'ideale del one-piece flow è produrre un'unità per volta seguendo le richieste del mercato. Riducendo le scorte, i difetti qualitativi sono visibili immediatamente e ciò rinforza il jidoka interrompendo il processo di produzione e spingendo i dipendenti a risolvere il più in fretta possibile i problemi: ciò non accadrebbe in un modello di produzione di massa, dove l'alto livello di scorte non ne genererebbe l'urgenza. Se lo stesso problema si verifica ripetutamente arriva il momento di investire nella TPM (Total Productive Maintenance), in cui ogni operatore è tenuto a ispezionare periodicamente i macchinari e gli attrezzi di lavoro: da qui la centralità della persona, perché solo attraverso il miglioramento continuo le attività possono raggiungere la stabilità necessaria. Inoltre, all'interno degli stabilimenti Toyota vi è la pratica diffusa di incentrarsi sul QCDSM (Quality, Cost, Delivery, Safety, Morale): l'azienda non metterà mai a repentaglio la sicurezza dei suoi lavoratori per ottimizzare la produzione. Taiichi Ohno infatti a riguardo scriveva:

“Ogni metodo disponibile per ridurre il numero di ore di lavoro al fine di abbattere i costi deve naturalmente essere perseguito con vigore; ma non dobbiamo mai dimenticare che la sicurezza è il fondamento di tutte le nostre attività”.

## 2.5 I Cinque Principi del Pensiero Snello

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978; Imai, 2015; Benchmark SixSigma, 2017; Danese, 2018)<sup>14</sup>

Il modello Lean non è semplicemente un insieme di metodi e tecniche da utilizzare: esso è prima di tutto un modo di pensare, o *forma mentis*, che lo alimenta giorno per giorno. Questa rappresentazione è stata codificata per la prima volta da Womack e Jones all'interno del loro libro “*Lean Thinking*”. Dal titolo di questo libro si vede innanzitutto come il termine “production” venga

---

<sup>14</sup>Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

Benchmark Sixsigma, *Kaizen, Kaikaku, Kakushin*, [www.benchmarksixsigma.com](http://www.benchmarksixsigma.com), 2017;

Pamela Danese, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici 1*, 2018

sostituito da “thinking” ed infatti si comincia a parlare di un modello che può essere applicato anche al di fuori del solo settore manifatturiero, come aziende di servizi (ospedali, banche...).

All’interno del volume, il Pensiero Snello viene presentato come “un modo di fare di più con meno, avvicinandosi a quello che richiede il cliente”, ponendo il focus sugli sprechi e la loro eliminazione, e descritto da **Cinque Principi (Figura 2.17)**: essi sono inseriti all’interno di un percorso continuo, in accordo con le fondamenta della casa del TPS, il *kaizen* (miglioramento continuo), secondo cui non esiste un traguardo, ma solo un obiettivo a cui tendere asintoticamente.



**Figura 2.17: I cinque principi del pensiero snello**

1. **Definire il valore:** il primo passo è quello di capire *cos'è importante agli occhi del cliente*, e solo lui ritiene ciò che è di valore e ciò che non lo è, e che rappresenta quindi uno spreco. In molte aziende si ha la brutta abitudine di pensare che l'area commerciale possa avere la sfera di cristallo su ciò che realmente chiede il mercato, ma questa può essere una percezione più o meno corretta, e spesso non è la strada giusta da percorrere. In un ambiente Lean invece è assodato che solo *gli attributi del prodotto o servizio che il cliente è disposto a pagare* siano effettivamente valore, mentre il restante è spreco che va eliminato. Lo strumento migliore per fare ciò è chiamato *QFD (Quality Function Deployment)*: si tratta di un approccio complesso ed attento al dettaglio svolto in gruppo. La metodologia nasce attorno agli anni '60 dalla mente di Yoji Akao, ed essenzialmente è un *“sistema per tradurre le esigenze del cliente in adeguate specifiche interne all'azienda in ogni stadio del ciclo di sviluppo del prodotto, dalla ricerca all'assistenza tecnica”*: è quindi possibile portare la voce del cliente esterno all'interno dei processi aziendali. È infine importante specificare che il termine “cliente” può

assumere due diversi significati: può essere colui che acquista il prodotto o servizio, ma anche colui che realizza l'attività successiva a quella che si sta eseguendo all'interno del processo (in questo caso si parla di *cliente interno*). In entrambi i casi è comunque indispensabile rispondere efficacemente alle loro richieste in termini di qualità, tempo e costo, perché solo attraverso la soddisfazione dei clienti interni a ritroso dal cliente finale, si ottiene la completa soddisfazione di quest'ultimo.



**Figura 2.18: Flussi di materiali ed informazioni e rappresentazione del “cliente interno”**

**2. Identificare il flusso di valore:** il secondo passo riguarda l'identificazione delle attività da svolgere in modo tale che i processi possano fornire il valore desiderato al prodotto e quindi, conseguentemente, al cliente. Il flusso va mappato nella sua interezza, ovvero dovrà includere, oltre alle attività interne ed esterne, anche le risorse umane e materiali che costituiscono il processo di realizzazione del prodotto/servizio, dal momento in cui il cliente ordina alla consegna. La “mappatura” consente di distinguere le attività in tre categorie (**Figura 2.19**):

- **Attività a valore aggiunto:** contribuiscono ad aumentare il valore del prodotto/servizio, ed il cliente è disposto a pagarle;
- **Attività a non valore aggiunto:** non contribuiscono a creare valore per il cliente e che sono quindi candidate ad essere eliminate. All'interno di esse è possibile una ulteriore distinzione: infatti, non tutte le attività a non valore aggiunto possono essere eliminate, ma al massimo riducibili. Un tipico esempio è il set-up di una macchina: non conferisce valore, ma in determinate circostanze deve essere svolto.





Figura 2.19: Le diverse tipologie di attività di un processo (Fonte: Panizzolo, 2019)

La principale tecnica di mappatura del flusso del valore è lo strumento del *VSM (Value Stream Mapping)*, che permette di identificare tutti i **flussi informativi** e **flussi di materiali** che percorrono l'azienda in un senso e nell'altro, iniziando dal cliente e terminando a monte della filiera produttiva, considerando il **tempo di attraversamento** che il prodotto/servizio impiega a percorrere il flusso dalla ricezione dell'ordine alla consegna. La mappatura in prima fase fornisce uno stato corrente "*as is*" per poi portare allo stato futuro "*to be*", ed è applicabile a singoli processi ("*Process Value Stream*"), all'intero stabilimento ("*Plant Value Stream*") oppure a tutto il flusso tra clienti e fornitori ("*Total Value Stream*"). In figura sottostante è riportato un esempio di VSM (Figura 2.20), con le sue icone riconosciute a livello internazionale (Figura 2.21).

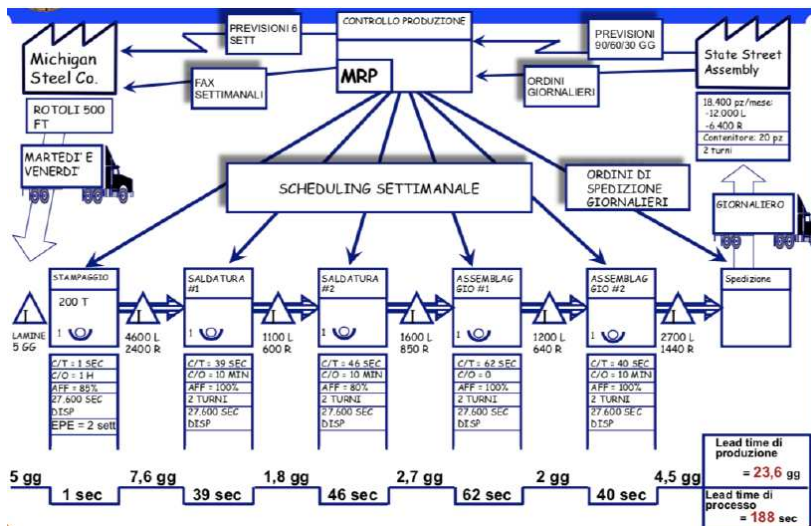


Figura 2.20: Esempio di Value Stream Mapping (Fonte: Panizzolo, 2019)



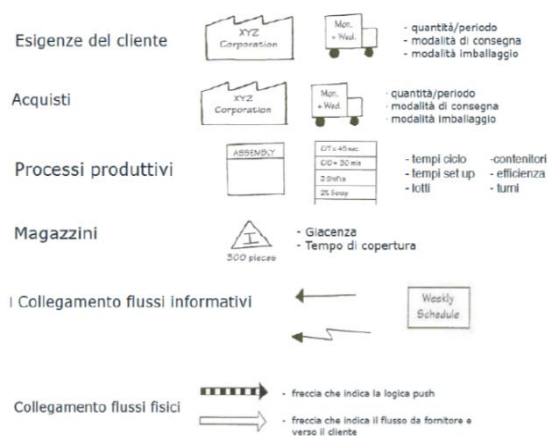


Figura 2.21: Icone della Value Stream mapping (Fonte: Panizzolo, 2019)

**3. Fare scorrere il flusso:** il terzo passo è quello di fare scorrere il flusso identificato, in modo continuo e senza interruzioni, abbassando il più possibile il **lead time di attraversamento**. Il flusso è al centro del messaggio Lean secondo cui abbreviare il tempo necessario per passare dalle materie prime al prodotto/servizio permette di ottenere la qualità migliore, i costi più bassi e i tempi di consegna più brevi. A tal fine è quindi fondamentale l'eliminazione delle attività non a valore, i cosiddetti sprechi, che rendono intermittente il flusso rallentandolo o bloccandolo. Si è visto come, in molti casi, i ritardi hanno a che fare raramente con la qualità, ma sono causati da un inefficiente **processo di produzione a lotti** ("**Batch and Queue**"), caratterizzato da grandi quantità di materiale processato e stoccato in attesa di essere trasferito alla fase di produzione successiva (*sovrapproduzione*). In un ambiente snello l'obiettivo è passare ad un **flusso a pezzo singolo** ("**One Piece Flow**") eliminando costantemente il lavoro ed il tempo sprecato che non aggiungono valore, e questo in Toyota significa usare piccoli lotti, affiancare il più possibile i processi e movimentare il materiale senza interruzioni tra un processo e l'altro. Per essere più chiari, ottenere un "flusso" secondo il TPS significa che, al momento della ricezione di un ordine da parte del cliente, si mette in moto il processo di reperimento delle materie prime necessarie per evadere l'ordine di quel cliente, e quello soltanto. Dopodiché queste fluiscono direttamente negli stabilimenti dei fornitori, in cui gli operatori assemblano immediatamente l'ordine e lo spediscono al cliente: *nessuno produce nulla prima che la persona o la fase successiva del processo ne abbia bisogno*. Una volta eliminati gli sprechi, è possibile aiutare a far scorrere il flusso grazie ad alcuni strumenti:

- **Produzione a takt time:** il *takt time* (o tempo di ciclo) è il tasso della domanda del cliente, ovvero il ritmo a cui il cliente acquista i

prodotti. L'obiettivo è di allineare il ritmo produttivo al takt, sincronizzandosi con la richiesta dei clienti: ovviamente, questo risulta di più facile applicazione nelle operazioni ripetitive e che riguardano volumi relativamente alti;

- **Creazione di celle di produzione flessibili:** passaggio dalla tradizionale fabbrica organizzata con macchinari raggruppati per tecnologia a *macchinari organizzati in armonia con il flusso dei materiali che vengono trasformati in prodotto finito* (solitamente disposti a "U") (Figura 2.22);

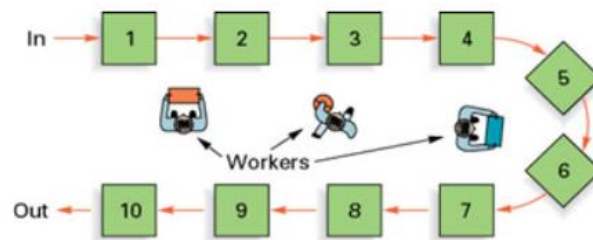
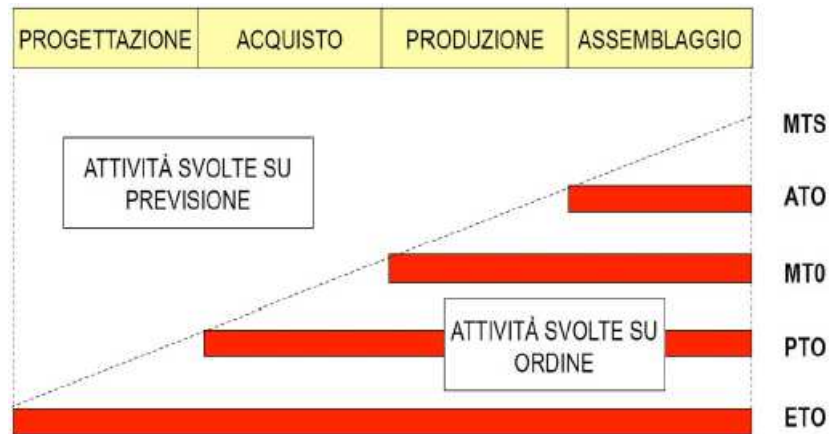


Figura 2.22: Cella di produzione con layout ad "U"

- **Riduzione del tempo di Set-Up:** la metodologia **SMED** (Single Minute Exchange of Die) **consente** di ridurre fortemente i tempi impiegati per il riattrezzaggio di una macchina e trae le sue origini nel 1950 da Shigeo Shingo. Il cuore della metodologia è legato all'individuazione ed alla distinzione delle attività che sono svolte a macchina ferma (*IDE*, Inside Exchange Of Die) da quelle svolte mentre la macchina è in funzione (*OED*, Outside Exchange of Die). Successivamente l'obiettivo sarà quello di trasformare quante più possibile IDE in ODE, in modo da portare il set-up della macchina nell'ordine del minuto;
- 4. Implementare un sistema "Pull":** una produzione si dice *tirata dal cliente* ("Pull") se si produce solo quello di cui ha bisogno, nel momento in cui lo vuole e nella quantità che richiede. Questa modalità si differenzia da quella "Push", in cui la fase a monte di un processo spinge quella a valle: è infatti la domanda che deve comandare la produzione e non viceversa. Tutto questo rappresenta un cambio radicale rispetto agli schemi produttivi classici, in cui i sistemi di programmazione della produzione basati sulle previsioni (come l'MRP) facevano da padrone nel definire quanto e quando produrre. È molto importante sottolineare come *la pianificazione della produzione* sia un concetto diverso dalla *modalità di risposta al mercato*:

Secondo Wortmann, è possibile individuare quattro principali tipologie di produzione industriale, scegliendo come variabile gestionale la cosiddetta *modalità di risposta al mercato* (Figura 2.23). Ciò che fa la differenza è il posizionamento del **decoupling point**, ovvero il punto di disaccoppiamento tra l'ordine del cliente e la fabbricazione del prodotto e che individua la posizione delle scorte all'interno del flusso produttivo:



**Figura 2.23: Classificazione in base alla modalità di risposta al mercato di Wortmann (Fonte: Danese, 2018)**

- Nelle aziende *MTS* (*make to stock*) l'azienda produce beni in base a previsioni di vendita che vengono stoccati a magazzino in attesa dell'ordine del cliente. Risulta quindi adatta per prodotti a basso valore unitario e ridotta complicità;
- Nelle aziende *ATO* (*assembly to order*) la fase di assemblaggio è tirata dall'ordine del cliente: la fabbricazione dei componenti è quindi gestita su previsioni ed è una modalità adatta per beni ad elevata ampiezza di mix ma accomunati da alcuni sottogruppi standard;
- Nelle aziende *MTO* (*make to order*) anche la fase di fabbricazione dei componenti è preceduta dall'arrivo dell'ordine del cliente: solo le fasi di approvvigionamento dei materiali e progettazione sono anticipate ed è una modalità tipica di aziende che lavorano su commessa per lo più ripetitiva. In questo gruppo rientra anche MEHITS S.p.A.;
- Nelle aziende *ETO* (*engineer to order*) l'ordine del cliente risale fino alle fasi di progettazione, ed è il caso tipico delle commesse singole ad alto valore unitario;

La classificazione sopra riportata dipende esclusivamente dal mercato, ovvero il *confronto tra il tempo che il cliente è disposto ad aspettare e quello necessario per produrre il bene*. Si tratta quindi di una variabile esogena, che non dipende dall'azienda, mentre il flusso interno dei materiali è perfettamente controllabile ed è una sua scelta se fare un *movement* di tipo *push* o *pull*. Gli strumenti principali per rendere la movimentazione dei materiali "tirata" dal cliente sono il *kanban*, grazie a cui la scorta di materiale è ripristinata dal processo a monte solo quando sta per terminare, attraverso un sistema visivo come un cartellino posto in una rastrelliera; l'individuazione del *processo peacemaker*, che separa la produzione a monte tirata dal cliente e quella a valle spinta ("push") con logica FIFO e dà il battito alla *value stream*: è solitamente il processo più a valle e quindi più vicino al cliente, a cui solitamente è effettuato il **livellamento della produzione** (sia in termini di volume sia di mix) denominato *Heijunka*, seguendo la logica "*every part every x*". Questo schema produttivo che significa produrre "ogni pezzo ogni tot tempo" significa abbandonare la classica produzione a lotti e ricercare la sequenza elementare di componenti che meglio insegue la domanda di mercato, considerando i tempi ciclo. Non si costruiscono però i prodotti in base all'afflusso effettivo degli ordini dei clienti, ma si prende il volume totale degli ordini di un periodo e li si ripartisce in modo che ogni giorno si produca la stessa quantità e lo stesso mix: in un vero One Piece Flow si potrebbero costruire due prodotti nell'effettiva sequenza di produzione degli ordini, ma ciò costringerebbe a lavorare in modo irregolare. Perciò si prende l'effettiva domanda del cliente, si determina il ritmo del volume e del mix e si programma in modo uniforme il lavoro di ogni giorno: questo modello produttivo è chiamato *mixed model*, dal momento che si mescolano i diversi prodotti ma al contempo si uniforma la domanda del cliente rendendola una sequenza prevedibile e standardizzata. Nella foto sottostante è riportata una *Heijunka Box*: in colonna sono riportati gli intervalli temporali ed in riga un prodotto rappresentato da un *kanban*. Questo sistema visivo è molto efficace in quanto mostra in tempo reale se l'azienda è allineata o è in ritardo rispetto alla domanda del mercato.

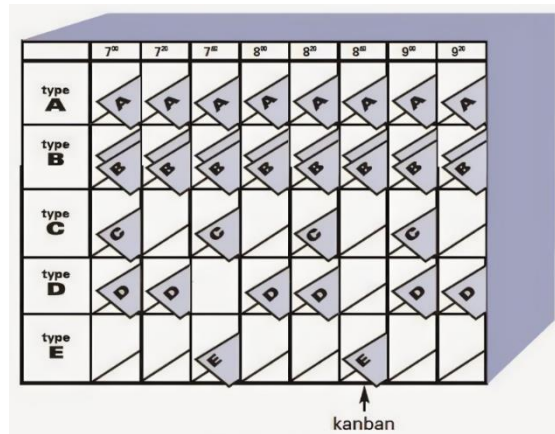


Figura 2.24: Heijunka Box (Fonte: lean14, [www.lean14.blogspot.com](http://www.lean14.blogspot.com))

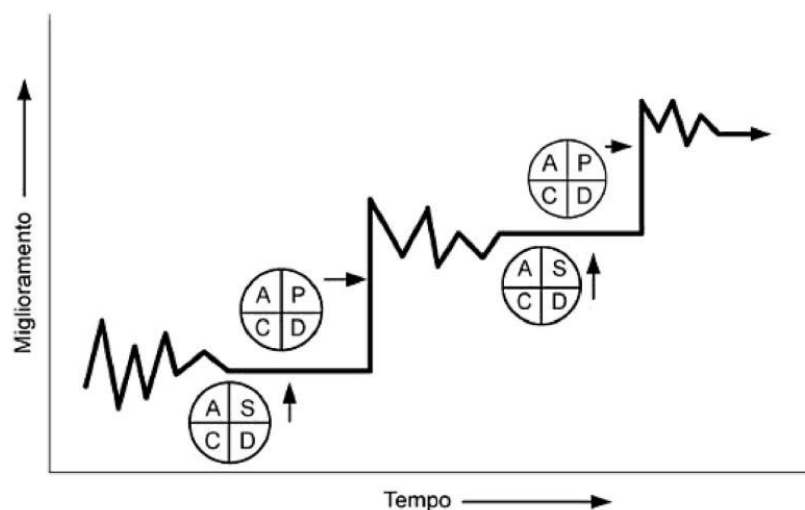
5. **Ricerca la perfezione:** l'ultimo principio è il cuore del miglioramento continuo, in giapponese *kaizen*. La parola *kaizen* (Figura 2.25) deriva dall'unione di due termini giapponesi: *kai* (che significa miglioramento o cambiamento) e *zen* (che significa migliore, buono): permette quindi di chiudere il ciclo dei cinque principi e di poter ricominciare daccapo, senza fine.

改善

Figura 2.25: "Kaizen" in giapponese

La perfezione non rappresenta un punto d'arrivo, ma solo un asintoto a cui tendere, giorno dopo giorno, senza poterlo mai raggiungere. Questo si ottiene passo dopo passo attraverso il coinvolgimento di tutti per l'identificazione e la rimozione degli sprechi per creare un flusso produttivo veloce ed aumentare il valore per il cliente. La principale logica di gestione del miglioramento continuo in azienda è il metodo scientifico del **ciclo PDCA** (*Plan, Do, Check, Act*) (Figura 2.26), elaborato per la prima volta dagli americani e trasferito in Giappone tra il '46 ed il '50, in cui si parte dall'individuazione della causa radice, comprendendo e descrivendo bene il problema (*plan*); successivamente si applicano delle contromisure per cercare di risolverlo (*do*) e si monitora l'efficacia delle azioni intraprese (*check*); infine, se la fase di "*do*" ha dato i suoi frutti si entra all'interno

dell'ultimo fase (act) in cui si rendono operative le attività correttive trovate ovvero *standardizzandole*.



**Figura 2.26: Miglioramento continuo attraverso i cicli PDCA** (Fonte: Imai, 2015)

Questo ciclo rappresenta quindi un miglioramento che, sommato a quelli successivi e precedenti, consente di perseguire l'eccellenza. Katsuki Watanabe, ex presidente Toyota, dice la sua riguardo il miglioramento continuo:

*“Non c'è genialità alla Toyota, facciamo soltanto ciò che crediamo sia giusto, cercando di migliorare qualcosa ogni giorno, passo dopo passo. Ma quando più miglioramenti si accumulano nel tempo, diventano una rivoluzione”.*

È molto importante, una volta terminato un ciclo PDCA, impedire che la “ruota” possa tornare indietro e scendere di un gradino: bisogna assicurarsi che gli standard vengano effettivamente mantenuti attraverso un secondo ciclo denominato SDCA (standardize, do, check, act), il quale deve essere una azione routinaria, sostenuta ogni giorno. Rappresenta il cuneo che impedisce al ciclo PDCA di ritornare allo stato passato, perdendo i miglioramenti acquisiti. Su questo si basano alcuni strumenti fondamentali della gestione snella, come i *report A3*, con cui è possibile identificare e risolvere i problemi, pianificando strategie di medio-lungo termine che, attraverso un *deployment*, verranno suddivise in tattiche di breve periodo e per livello di responsabilità (dalla direzione fino agli operatori); gli strumenti di *Visual Management*, con cui è possibile diffondere all'interno dell'azienda la cultura del miglioramento continuo grazie ad informazioni visibili e facilmente comprensibili su ciò che accade e cosa si deve fare; gli *Standard*, ovvero i già citati “cunei” che segnano i punti dai quali non si può regredire ma dai quali si deve solo avanzare

cercando il miglioramento giorno dopo giorno; i *cantieri kaizen* (a cui è sempre associato un A3-T, ovvero una tattica derivante dall'A3) della durata solita di una settimana, in cui vengono inserite figure aventi diverse competenze e focalizzate sulla risoluzione di uno specifico problema operando nel cosiddetto "*gemba*", ovvero "il luogo in cui accadono le cose": solitamente si tratta di una linea/reparto produttivo.

All'interno del grande mondo del miglioramento continuo, spesso si utilizza il termine kaizen per indicare tutti i tipi di miglioramento possibili. Ad essere più precisi invece, si possono distinguere *tre livelli di miglioramento* (Figura 2.27):

- **Kaizen:** ci si riferisce a *miglioramenti incrementali* riguardanti processi che esistono già ed utilizzano risorse note. Sono quindi i passi quotidiano di miglioramento descritti precedentemente;
- **Kaikaku:** è un *miglioramento sensibile* dei prodotti dell'azienda, che magari incorporano tecnologie radicalmente diverse. È quindi un'innovazione più forte denominata anche "*breakthrough*" e si riferisce al medio/lungo periodo;
- **Kakushin:** sono *miglioramenti che sostanzialmente vanno ad alterare il business model* dell'azienda. Degli esempi possono essere, rimanendo nel mondo Toyota, la Mirai (auto ad idrogeno) e la Prius (auto ibrida). Sono miglioramenti riferiti al lungo periodo;

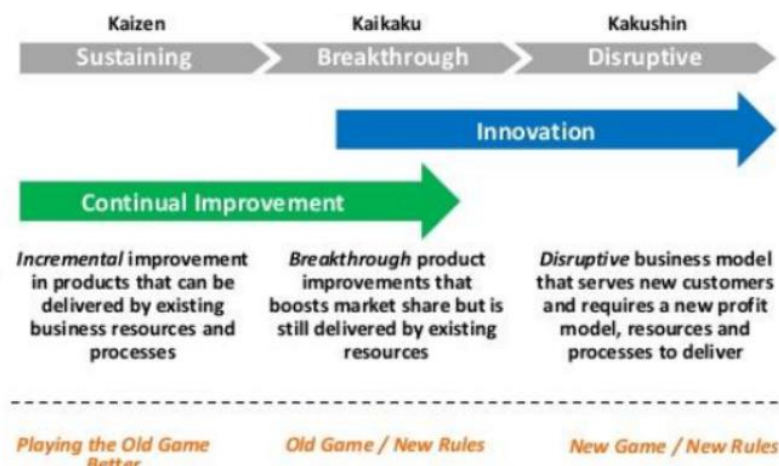


Figura 2.27: I tre diversi livelli di miglioramento. Kaizen, kaikaku e kakushin (Fonte: Benchmark Sixsigma, [www.benchmarksixsigma.com](http://www.benchmarksixsigma.com), 2017)

## 2.6 Le difficoltà nell'applicazione dei cinque principi

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004)<sup>15</sup>

Un ambiente caratterizzato da un'atmosfera di *apprendimento incessante*, che metta in discussione ogni cosa col fine di migliorarla, e che non solo sappia accettare il cambiamento ma anche *accoglierlo*, è possibile crearlo solo laddove siano ben stabili i due pilastri fondamentali del TPS citati nel precedente paragrafo: il miglioramento continuo ed il rispetto per le persone. Nonostante i benefici ottenibili dall'introduzione in azienda della *filosofia lean* e dei suoi strumenti, in termini di efficacia ed efficienza (riduzioni di costi, riduzioni dei tempi di attraversamento ed innalzamento della qualità al cliente), vi è sempre la possibilità di incontrare resistenze da parte degli operatori, impiegati ma anche dirigenti: l'adozione di questa nuova filosofia implica una grande trasformazione culturale ed una ridefinizione dei propri schemi mentali in alcuni casi completamente opposti ai nuovi. È quindi compito del management garantire la solidità dei pilastri della casa del Toyota Production System, assumendosi la responsabilità nel motivare le persone e promuovere la fiducia reciproca tra tutti i membri dei team nella definizione di un obiettivo ed un percorso condiviso per raggiungerlo.

## 2.7 I Sette Sprechi

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978; Imai, 2015; OraConsulting, 2021)<sup>16</sup>

Taiichi Ohno, durante la sua lunga esperienza in Toyota trascorse molto tempo negli stabilimenti, esaminando le attività che aggiungevano valore al prodotto ed eliminando quelle che non ne aggiungevano. L'applicazione del Toyota Production System ha la sua origine appunto dall'analisi del processo

---

<sup>15</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

<sup>16</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

OraConsulting, I nemici della Lean Organization: gli sprechi, [www.oraconsulting.altervista.com](http://www.oraconsulting.altervista.com), 2021;



di produzione dal punto di vista del cliente; bisogna quindi dapprima rispondere alla seguente domanda:

“Cosa vuole il cliente di questo processo?” (come cliente è inteso sia quello esterno, sia quello interno, legato al processo della fase successiva di lavorazione): questo definirà quindi il valore ed attraverso gli occhi del cliente sarà possibile separare le azioni che ne aggiungono da quelle che non le aggiungono. Toyota è riuscita ad identificare sette principali tipologie di spreco, denominato “*muda*”, applicabile non solo ad una linea di assemblaggio ma anche a molti altri processi come il lavoro d’ufficio e lo sviluppo di prodotti:



Figura 2.28: I 7 Sprechi della filosofia lean (Fonte: OraConsulting, [www.oraconsulting.altervista.com](http://www.oraconsulting.altervista.com), 2021)

### 1. La sovrapproduzione

Per il Toyota Production System, la sovrapproduzione rappresenta lo spreco capitale: secondo Ohno, infatti, è il problema che dà vita a quasi tutti gli altri sprechi ed è generato dalla tendenza di portarsi rispetto al programma di produzione per cautelarsi dal rischio di guasti dei macchinari, pezzi difettosi ed assenteismo degli operatori. Altre motivazioni possono essere il tentativo di saturare l’utilizzo dei macchinari costosi e manodopera. Produrre più di quanto il cliente richieda conduce necessariamente ad un accumulo di scorte, che restano in attesa di essere lavorate nelle fasi successive. Nel sistema *Just In Time* portarsi in avanti rispetto al programma di produzione è considerato persino peggio che restare indietro e rappresenta la peggiore delle inefficienze comportando il consumo prematuro di materia prime e di

personale, fabbisogno aggiuntivo di spazio per stoccare la merce in eccesso e l'aumento dei costi di trasporto ed amministrazione.

## **2. Il tempo di attesa**

Una mancata sincronizzazione tra le varie fasi dovuta ad un problema nel bilanciamento del processo porta inevitabilmente a delle *inefficienze da attesa*: l'operatore potrebbe quindi rimanere inattivo, aspettando che la fase a monte termini la sua operazione. Questo potrebbe accadere nel caso in cui due stazioni successive abbiano tempi ciclo uno superiore all'altro: se la fase a monte è più veloce si generano code di materiale in attesa di essere lavorate; invece, se la fase più rapida è quella a valle, l'operatore attenderà che arrivino i pezzi da processare. Un altro motivo può essere la mancanza od il ritardo nell'approvvigionamento da parte del magazzino, oppure l'indisponibilità di un macchinario dovuto a guasti o manutenzione non programmata. L'ultima forma di *muda* da attesa può essere rappresentata anche dall'attività di sorveglianza e controllo di una macchina automatica da parte dell'operatore: infatti questa operazione non apporta alcun valore al prodotto, così come quelle precedentemente descritte. Sono a tutti gli effetti dei "tempi morti".

## **3. Le giacenze (o scorta inutile)**

Si tratta del primo effetto negativo della sovrapproduzione: materie prime, componenti *WIP (Work In Process)* o prodotti finiti conservati in quantità che superano l'effettiva richiesta del cliente (interno ed esterno) e che provocano di conseguenza:

- Aumento del Lead Time di attraversamento;
- Obsolescenza e deterioramento delle stesse;
- Possibile danneggiamento delle merci;
- Aumento dei costi operativi: richiedono spazio, attrezzature e servizi aggiuntivi come magazzini, carrelli elevatori ecc.);

Analogamente alla sovrapproduzione, le risorse immobilizzate consentono di mascherare alcuni problemi che non vengono quindi risolti: è il famoso caso della *metafora dell'acqua del fiume*. Le scorte rappresentano l'acqua in un fiume, il quale nasconde i problemi che sono nascosti sul fondale, in analogia con i massi a pelo d'acqua, secche ecc. Se il livello del fiume è alto (ovvero le scorte) nessuno prenderà a cuore i problemi della produzione, perdendo così l'opportunità di intervenire e migliorare il processo; al contrario, se il livello del fiume è basso, i

problemi riaffioreranno in superficie e verranno affrontati e risolti nel minor tempo possibile.

**4. Il trasporto** La movimentazione del materiale (che può avvenire tramite carrelli, transpallet, nastri trasportatori ecc.) non crea mai valore aggiunto: si tratta di una lavorazione aggiuntiva ma essenziale che, se non adeguatamente ottimizzata, comporta un enorme spreco di tempo e risorse. In aggiunta è un'attività che può causare danni al materiale trasportato compromettendone la qualità e la puntualità di consegna. Per ovviare al problema del trasporto dei materiali è necessario agire sull'organizzazione spaziale delle varie fasi del processo produttivo, minimizzandone la distanza e limitando il più possibile i lunghi percorsi.

#### **5. Il movimento inutile**

Per movimenti inutili si intendono tutte le azioni dell'operatore all'interno del ciclo di lavoro che non aggiungono valore al prodotto finale (chi cammina, per esempio, non sta apportando valore) e sono distinti dai trasporti del materiale precedentemente descritti. Infatti, osservando più da vicino un operatore al lavoro, si può facilmente notare come la maggior parte delle sue attività riguardi il prelievo, il trasporto ed il deposito di oggetti: al fine di minimizzare questi sprechi è perciò necessario progettare al meglio la postazione di lavoro ed il posizionamento degli attrezzi a banco, modificare la disposizione dei macchinari e degli scaffali.

#### **6. Il processo inutile (o rilavorazione)**

La mancata sincronizzazione tra le fasi del processo, l'insistenza degli operatori nell'affinare la lavorazione o il non rispetto degli standard operativi può portare in molti casi a *rilavorazioni*: si vengono a creare quindi operazioni inutili per lavorare i componenti, movimentazioni non necessarie e difetti di produzione. È considerato spreco anche la fabbricazione di prodotti di qualità superiore a quella richiesta dal cliente. Molto spesso è possibile eliminare queste inefficienze attraverso tecniche rapidi ed efficaci basate sul buon senso. Prendendo come esempio una fabbrica di apparecchi telefonici in cui si assemblano i microtelefoni e i corpi principali nella linea, al fine di evitare graffi durante il trasporto dei componenti, questi vengono messi all'interno di buste di plastica. Procedendo però con l'analisi del problema, risulterebbe più efficace

rendere adiacenti l'assemblaggio dei microtelefoni ed il montaggio finale, evitandone l'inserimento all'interno delle buste.

## 7. I difetti

I difetti di lavorazione nel prodotto comportano onerose rilavorazioni, pezzi di scarto, ispezioni di qualità ed interrompono la produzione. Nel contesto dell'odierna produzione di massa, il malfunzionamento automatico può dare luogo ad un grande numero di pezzi difettosi che a loro volta possono danneggiare attrezzature e macchine costose: è quindi in questo caso che risulta fondamentale dotarle di un congegno di fermata rapida in caso di difetti, ovvero il concetto di *Jidoka*. L'operatore di produzione è quindi autorizzato ad intervenire fermando la linea ogni qualvolta si verifichi un problema che non permette la realizzazione di pezzi conformi allo standard.

A queste sette tipologie di sprechi è possibile affiancarne un'ottava: **la creatività inutilizzata dei dipendenti** (o **spreco dell'ingegno**). Non prestare ascolto ai dipendenti e non interagire con essi può dare luogo a perdite di idee, capacità, opportunità di miglioramento ed apprendimento.

### 2.8 Le tre MU: muda, mura e muri

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Imai, 2015)<sup>17</sup>

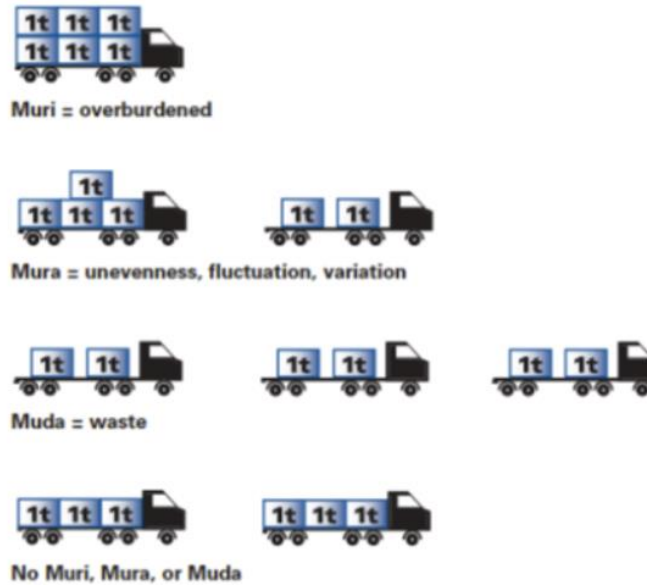
In Giappone, i vocaboli "muda", "mura" e "muri" sono spesso correlati, e la filosofia Lean mira a combatterli tutti e tre, nonostante fino ad adesso si sia parlato solo di muda, ovvero lo spreco: entrambi rappresentano fonti di inefficienza all'interno dei processi (**Figura 2.29**). **Mura** identifica una interruzione od un disturbo dell'andamento regolare delle operazioni, come ad esempio nell'arrivo dei pezzi da lavorare da una macchina o nella schedulazione operativa. Un esempio pratico possono essere due operatori che stanno eseguendo lavorazioni in due fasi successive ed uno di loro impiega più tempo dell'altro ad eseguire il proprio compito. **Muri** identifica invece un "sovraccarico"

---

<sup>17</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

negli operatori, nelle macchine o nei processi operativi. Un esempio pratico è vedere un operatore madido di sudore mentre è intento nel suo lavoro oppure udire lo stridere di una macchina.



**Figura 2.29: Muda, Muri e Mura** (Fonte: Panizzolo, 2019)

Muda, mura e muri identificano quindi l'esistenza di un problema da eliminare attraverso le pratiche kaizen da attuare nel gemba: ciò porterà immediatamente benefici visibili in termini di qualità, tempi e costi.



### 3. LA CENTRALITÀ DEL “GEMBA”

Un aspetto fondamentale del mio periodo di tirocinio in MEHITS S.p.A. è stato senza dubbio quello di aver trascorso moltissimo tempo tra i reparti e le linee produttive: non è irragionevole affermare che oltre il 75% della giornata è stata spesa a fianco degli operatori impegnati nelle loro mansioni.

All'interno di questo terzo capitolo quindi verrà riportata la centralità del “*gemba*” nella filosofia snella, sostantivo giapponese che indica il luogo in cui si svolge l'attività manifatturiera, che, accoppiato alle pratiche *kaizen* di miglioramento continuo, forniscono una serie di metodi e strumenti low-cost, basati sul buon senso e fondati su un approccio di apprendimento attraverso la sperimentazione pratica, in grado di innalzare le performance aziendali in termini di qualità e produttività e perseguire l'obiettivo di eliminazione degli sprechi

### 3.1 Cos'è il gemba?

(Paragrafo tratto da: Panizzolo, 2019; Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978; Imai, 2015)<sup>18</sup>

Nella lingua giapponese, la parola gemba indica “il luogo effettivo in cui avviene l'azione”. Può avere una più ampia accezione e non essere circoscritto al solo ambito della produzione manifatturiera: infatti, con “gemba” si può denotare una postazione operativa, una scena del delitto o perfino una location cinematografica. Riportandosi al contesto aziendale, nel gemba “hanno luogo tutte le attività che apportano valore nella prospettiva della soddisfazione del cliente e in cui si rilevano i dati”: è il luogo in cui si formano prodotti e servizi. Nel primo caso ci si riferisce quindi al luogo produttivo vero e proprio; nel secondo caso ci si riferisce al luogo in cui i clienti stabiliscono una relazione con gli operatori del front office ed entrano in contatto con i servizi offerti.

Spesso, il management aziendale colloca in secondo piano il luogo della produzione e tende a dare maggiore importanza ad altre aree come il marketing e le vendite, ignorando importanti opportunità di successo e di redditività per l'intera azienda: il gemba abbraccia una molteplicità di funzioni operative ed amministrative, soddisfacendo il cliente e mirando alla sopravvivenza ed alla prosperità della fabbrica. È di fondamentale importanza che il management si mantenga in stretto contatto con le figure del gemba, fornendo il supporto necessario alle attività produttive anziché considerarlo una fonte di inconvenienti, intoppi e difficoltà scaricandovi semplicemente istruzioni e disegni senza che vengano prese in considerazione le sue reali necessità (**Figura 3.1**). Così facendo, è possibile favorire un flusso bidirezionale di informazioni molto efficace: i manager capiscono le esigenze della produzione e gli operatori hanno un'idea molto più chiara delle loro aspettative.

---

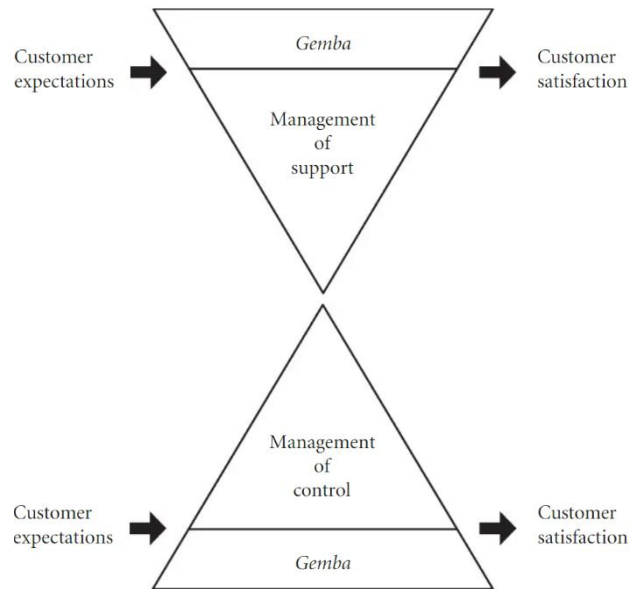
<sup>18</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;





**Figura 3.1: Management al servizio del gemba vs management alla guida del gemba**  
(Fonte: Imai, 2015)

Tutto questo richiede in via preliminare un forte commitment di tutti i membri dell'organizzazione, con gli operatori che vanno motivati ad esercitare il proprio ruolo e ad essere fieri ed orgogliosi del proprio lavoro, compito che rientra nelle responsabilità del management nei confronti del proprio gemba: solo in questo modo esso può diventare la fonte del conseguimento di miglioramenti low-cost ispirati al buon senso.

### 3.2 Le basi del gemba kaizen

(Paragrafo tratto da: Imai, 2015, Liker & Attolico, 2004, Panizzolo, 2019, Ohno, 1978)<sup>19</sup>

L'applicazione del miglioramento continuo nel gemba da parte dei membri dell'azienda, siano essi operatori o funzionari di più alto livello all'interno dell'organigramma, richiede il rispetto di tre regole fondamentali. Esse rappresentano i tre pilastri della **casa gemba** nella metodologia di miglioramento basato sul buon senso (o *low-cost*) (**Figura 3.2**): ogni azienda di qualsiasi settore

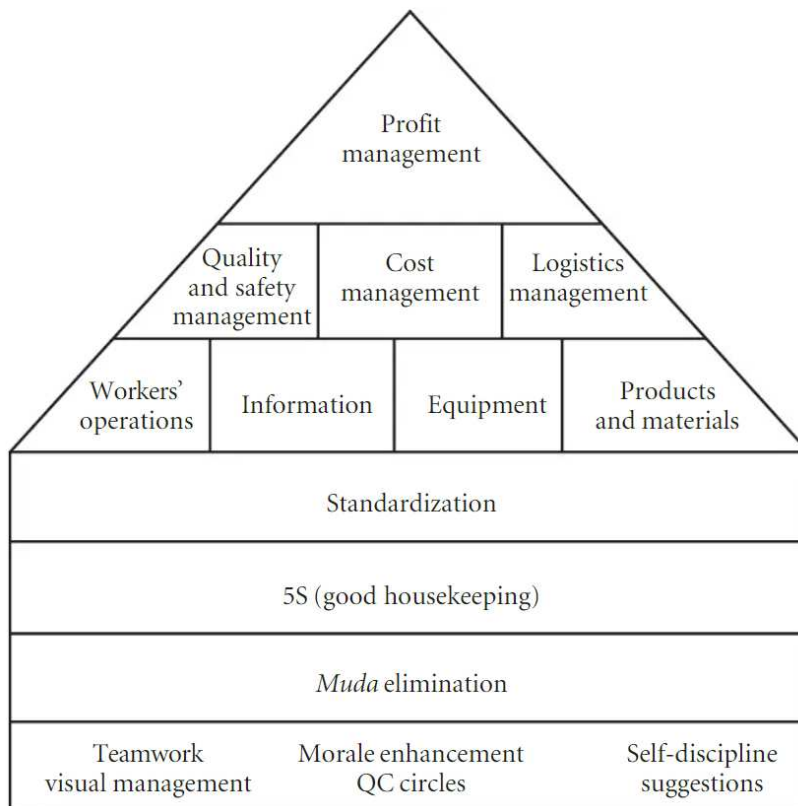
<sup>19</sup> Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

deve iniziare categoricamente con le seguenti attività, le quali non comportano nessuna nuova tecnologia o teoria di management ma comportano benefici straordinari per il gemba stesso:



**Figura 3.2: La casa gemba.** (Fonte: Imai, 2015)

### 3.2.1 Autodisciplina (o housekeeping)

L'autodisciplina (o housekeeping) è un ingrediente indispensabile del buon management, attraverso cui è possibile la fornitura al cliente di prodotti e servizi di buona qualità. L'assenza di housekeeping all'interno dei reparti operativi si traduce con molta probabilità in inefficienze, scarsa qualità, alti costi e difficoltà nel rispettare i termini di fornitura convenuti con il cliente (interno od esterno): costituisce il punto di partenza per qualsiasi azienda che voglia essere considerata un produttore serio e che aspiri all'eccellenza in ambito mondiale. Il riordino dei siti operativi (non solo nel contesto manifatturiero, ma anche nei servizi) è ottenibile dall'applicazione delle **5S** (o cinque fasi di housekeeping) (**Figura 3.3**). La linea guida è quella secondo cui *qualunque sia il tipo di servizio offerto, vi sarà sempre qualcosa che complica inutilmente il lavoro e risulta d'intralcio per soddisfare il cliente, a meno che non lo impedisca del tutto*: materiali in eccesso, attrezzi mancanti ma anche informazioni superflue sono tutti ostacoli alla normale attività produttiva. Queste cinque fasi derivano dalle iniziali dei cinque vocaboli giapponesi ad esse collegate:

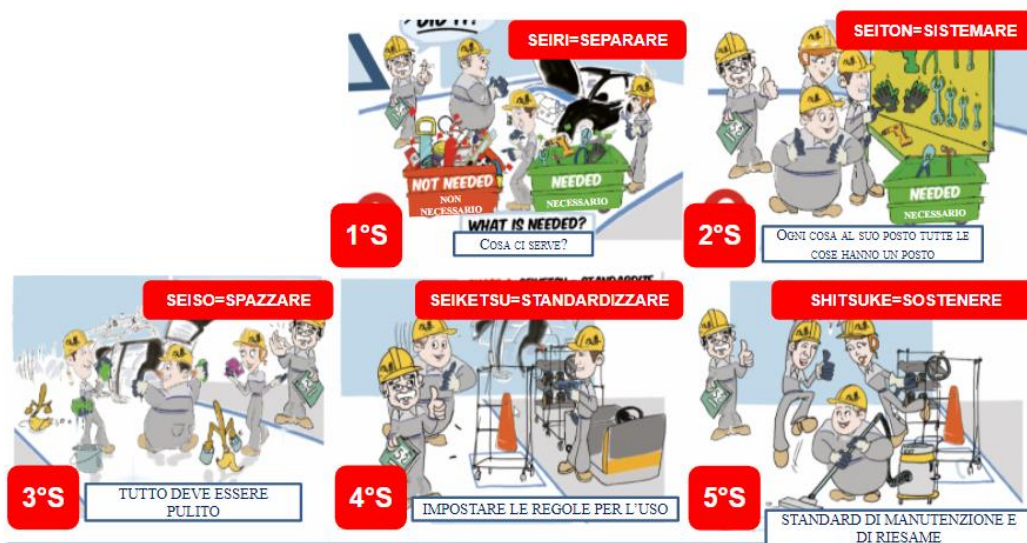


Figura 3.3: Le 5S (Fonte interna MEHITS)

- 1 **Seiri** (*separare*): in questa prima fase si separa ciò che è necessario da ciò che non lo è. Vanno quindi distinti tutti gli elementi necessari per l'attività in questione, stabilendone anche un numero massimo: analizzando con dettaglio il processo, si può scoprire come siano pochi gli elementi davvero indispensabili, mentre molti altri non verranno mai usati, se non forse in un futuro lontano. Una strategia valida è classificare come necessario solo ciò che si prevede di usare entro trenta giorni, tutto il resto sarà etichettato come non necessario. Seiri ha inizio con la visita in lungo e in largo della zona del gemba sotto indagine e gli incaricati hanno il compito di applicare un'etichetta rossa su qualsiasi materiale, attrezzo o macchinario ritenuto non necessario: l'operatore che invece lo ritiene indispensabile per la sua attività dovrà dimostrarlo, altrimenti verrà rimosso assieme a tutti gli altri. È necessario che i manager e gli operatori vedano con i propri occhi e siano presenti durante queste "ispezioni" delle postazioni di lavoro, poiché forniscono valide indicazioni sul modo in cui l'azienda lavora. Una volta accumulati tutti gli elementi etichettati in rosso è possibile dare inizio all'organizzazione di attività di miglioramento che apportino le giuste correzioni al sistema, ed è per questo motivo che risulta fondamentale la partecipazione di tutti i manager. L'eliminazione del superfluo libera spazio e migliora la flessibilità di utilizzo delle postazioni di lavoro. Inoltre, ridurre all'essenziale il materiale a disposizione abbatte drasticamente i tempi di ricerca di qualsiasi attrezzo.
  
- 2 **Seiton** (*mettere in ordine*): dopo aver eliminato il materiale superfluo è necessario disporre in bell'ordine tutto ciò che è rimasto nel gemba, ovvero

lo stretto indispensabile, che risulta però senza senso se gli attrezzi o i materiali sono collocati troppo lontani o sono di difficile reperimento. Vanno quindi classificati e disposti in modo tale da ridurre al minimo il tempo e lo sforzo per la loro ricerca, assegnandoci un nome, una collocazione ed una quantità: ogni elemento deve avere una propria collocazione ed ogni spazio nella postazione di lavoro deve avere un suo scopo preciso. Questo è perseguibile tracciando ad esempio un semplice rettangolo sul pavimento per delimitare la zona dei contenitori di materiale WIP (*work in process*) oppure applicando delle sagome sul banco di lavoro che richiamano la figura dei corrispondenti attrezzi in posizioni ben definite. Facendo ciò sarà immediato accorgersi quando qualsiasi oggetto non si trova al proprio posto.

- 3 Seiso (ripulire):** la terza fase si traduce nella pulizia giornaliera delle postazioni di lavoro, ovvero macchinari, attrezzi, pavimenti e pareti. La fase di pulizia ha lo scopo intrinseco del *controllo*: l'operatore in questa fase potrà riscontrare qualcosa che non funziona o che non si trova al suo posto, come trafile di olio e bulloni allentati precedentemente ricoperti da polvere ed olio. E' risaputo infatti che i guasti dei macchinari hanno inizio con vibrazioni ed ingresso di particelle come polvere, sfridi di materiale e trucioli di legno.
- 4 Seiketsu (sostenere):** la quarta fase è riferita al mantenimento di pulizia e salubrità dell'ambiente di lavoro e l'ordine nella propria persona. In parole povere è la reiterazione quotidiana delle precedenti *seiri*, *seiton* e *seiso* con costanza e perseveranza: solo sostenendo in maniera adeguata giorno dopo giorno la propria postazione di lavoro, rimuovendo tutto ciò che è superfluo e tenendo ordinato e pulito lo stretto necessario si possono raggiungere miglioramenti elevati. Praticare *gemba kaizen* una volta ogni tanto, occasionalmente, non porta a risultati duraturi nel tempo perché facilmente le cose torneranno ad essere come prima. Sarà compito dei manager stabilire con quale periodicità ripetere *seiri*, *seiton* e *seiso* e con la partecipazione di chi, e deve diventare parte integrante della pianificazione annuale.
- 5 Shitsuke (standardizzare):** l'ultima "S" è la maturazione dell'autodisciplina, rendendo stabile l'applicazione delle cinque fasi attraverso la redazione e l'applicazione di opportuni standard operativi. È fondamentale che le 5S diventino parte integrante del lavoro quotidiano e siano considerate uno stile di vita dell'operatore: con lo *shitsuke* interiorizzano le regole concordate.

All'interno degli standard operativi saranno incluse anche le modalità di valutazione dell'avanzamento di ciascuna fase, che possono essere:

- Autovalutazione;
- Valutazione da parte di un consulente esterno;
- Valutazione da parte di un superiore;
- Una combinazione delle precedenti;

Gli operatori di ciascuna postazione possono avanzare alla successiva S se e solo se avranno superato con successo la valutazione per la fase precedente: all'interno del gemba sono presenti importanti variabili che tendono a riportare la situazione allo stato originario e la modalità di avanzamento precedentemente descritta giova al morale degli operatori, a cui vengono riconosciuti man mano i propri sforzi.

### 3.2.2 Eliminazione delle inefficienze

Si definiscono *inefficienti* tutte le attività che non apportano valore, ed i clienti non le pagano. Qualsiasi attività operativa all'interno del gemba si articola in una serie di processi, che possono intercorrere dalla ricezione delle materie prime e componenti fino all'assemblaggio finale e la spedizione del prodotto finito, e al loro interno il tempo in cui si aggiunge valore non dura più di qualche secondo: questo perché i momenti a valore aggiunto sono separati da troppi *muda* (sprechi). L'obiettivo finale è quello di tentare di mettere in piedi un insieme di processi composti unicamente da attività a valore senza attese fra l'una e l'altra.

L'eliminazione degli sprechi e il rinforzo dell'autodisciplina (descritta nel precedente paragrafo) il più delle volte vanno di pari passo: l'applicazione sistematica delle 5S porta ad una riduzione dei muda, con gli impianti produttivi che risultano molto ordinati.

### 3.2.3 Standardizzazione

Si può intendere lo **standard** all'interno dei siti operativi come "*il modo migliore di eseguire un certo lavoro*". In ciascun processo che compone una data attività è necessario rispettare un certo standard al fine di garantire la qualità del risultato finale e prevenire il ripetersi degli errori: è possibile affermare che l'autodisciplina sia in grado di ridurre del 50 per cento il tasso di errore e nella stessa misura anche la standardizzazione. Nel momento in cui la produzione di massa, attraverso Taylor e Ford, ha sostituito l'artigianato come modello produttivo dominante, standardizzare le attività è diventato una scienza, con conseguenze anche drammatiche: gli ingegneri industriali, sempre armati dei loro cronometri, cercavano di spremere l'operatore fino all'ultima goccia di

produttività, il quale finiva a lavorare di più in cambio della stessa paga e questo spesso sfociava in proteste sindacali e nella custodia delle tecniche e strumenti per risparmiare tempo. L'idea degli standard di Ford però non era quella distruttiva del management taylorista caratterizzato da una burocrazia rigida ed inflessibile, bensì egli professava la standardizzazione come strumento per un progressivo miglioramento nel futuro, in completa sintonia con la visione di Toyota. L'azienda giapponese è riuscita con la sua filosofia a trasformare gli standard da strumenti rigidi che rendono il lavoro ripetitivo e degradante generando conflitti tra forza lavoro e dirigenza a pratiche positive ed efficaci che conferiscono potere di innovazione per i dipendenti: Imai (1986) all'interno del libro *Kaizen* cita testualmente che "è impossibile migliorare un processo finché non viene standardizzato". Per apportare un miglioramento, infatti, è necessario dapprima stabilizzare il processo, altrimenti qualsiasi azione migliorativa sarà semplicemente una variazione adottata occasionalmente. Non è così semplice però: in occidente gli standard sono considerati incompatibili con la natura umana in quanto vi è la convinzione che non sia lecito vincolare le persone e che sia invece corretto lasciarle libere di svolgere il proprio lavoro come meglio credono. Nonostante ciò, il management, nella routine quotidiana, ha il compito non solo di mantenere l'adesione degli standard ma anche di migliorare i processi nell'intento di innalzare le performance contemplate negli standard stessi. La loro revisione deve essere svolta con priorità basate su fattori di qualità, costo, consegna, sicurezza, urgenza, gravità delle conseguenze e lamentele dei clienti: il processo produttivo è considerato sotto controllo quando non si riscontrano anomalie e, in caso contrario, gli standard attuali vanno immediatamente rivisti od aggiunti di nuovi. Per Taiichi Ohno gli standard operativi uniti alle informazioni fornite dagli operatori sono elementi importanti del Toyota Production System: grazie ad essi la Toyota è riuscita a mantenere un'alta capacità produttiva e prevenire pezzi difettosi, incidenti e guasti. Nella sua essenza, uno standard collega e trasforma le materie prime, i lavoratori e le macchine in un insieme affinché si produca nella maniera più efficace possibile. Esso contiene tre elementi principali:

- *Takt time*: è il tempo stabilito per produrre un pezzo/unità, determinato dal ritmo della domanda di mercato;
- *Sequenza lavorativa*: è l'ordine nel quale le operazioni vanno eseguite;
- *Inventario standard*: è la quantità di scorte di cui ha bisogno il singolo lavoratore per svolgere il suo lavoro in maniera standardizzata;

### 3.2.3.1 Caratteristiche principali degli standard

In aggiunta ai tre elementi principali riportati in precedenza, gli standard sono caratterizzati dalle seguenti proprietà, alcune di esse già in parte descritte:

- Riflettono anni di esperienza e di *know-how* degli operatori e quindi sono il modo più *agevole, sicuro ed efficiente* di eseguire un lavoro;
- Permette di conservare il *know-how* e le *competenze tecniche* di un dipendente eccellente in caso abbandoni l'azienda senza aver comunicato il suo sapere ai colleghi;
- In caso di mancanza di standard od un loro utilizzo scorretto inevitabilmente inefficienze ed anomalie: sono quindi in grado di *mostrare la relazione fra causa ed effetto*;
- Il compito degli standard è quello del *mantenimento* di un dato livello di qualità e produttività, ma anche di *miglioramento* dei processi. È compito del management controllarne la variabilità facendoli rispettare ed introducendone di nuovi dove necessario. Solo allora, quando il processo sarà stabilizzato, sarà possibile studiare un ulteriore miglioramento;
- Vanno comunicati in *forma semplice e ben comprensibile* da parte dell'operatore: di solito si tratta di documenti di testo comprensivi di figure, diagrammi e foto;
- L'operatore va addestrato fintanto che lo standard non diventa il suo modo naturale di lavoro e sono quindi la *base per l'addestramento*;
- Oltre che a ricordare agli operatori la corretta esecuzione del lavoro, gli standard aiutano i supervisor del gemba a verificare se il lavoro procede correttamente. Sono generalmente affissi in una bacheca o alla portata dell'operatore e sono *un riferimento per l'audit* da parte del management;
- Aiutano a tenere sotto controllo la *qualità* e la *variabilità* di un determinato processo: è compito del management definire opportuni control points e vigilare affinché siano sempre rispettati.

### 3.3 Genchi Genbutsu

(Paragrafo tratto da: Liker & Attolico, 2004; Ohno, 1978; Imai, 2015; Panizzolo, 2019)<sup>20</sup>

Chiedendo ai dipendenti di Toyota (operanti in produzione, nello sviluppo prodotti, nelle vendite o in qualsiasi altro ufficio) che cosa distingue la filosofia del Toyota Way dagli altri approcci al management, la loro risposta sarà sempre la medesima: il *genchi genbutsu*. “*Genchi*” indica la posizione e “*genbutsu*” gli effettivi materiali o prodotti. Il suo significato più immediato è quello di recarsi nel *gemba* per osservare la situazione e comprendere a fondo ciò che accade: il primo passo di ogni processo di risoluzione di un problema (*problem solving*), dallo sviluppo di un nuovo prodotto alla redazione di un nuovo standard operativo, ad esempio, passa dall’andare a vedere coi propri occhi il campo di battaglia. Taiichi Ohno, padre del Toyota Production System, aveva come principio “*L’officina innanzi tutto*”: egli non può prescindere dalla realtà che trovava nell’impianto produttivo, poiché solo da lì era in grado di cogliere le informazioni più dirette, concrete e stimolanti. Fujio Cho, ex presidente Toyota, nel periodo in cui ha ricoperto la carica di manager dello stabilimento a Georgetown (Ontario, Stati Uniti) era solito trascorrere ore ad osservare una certa lavorazione/processo, in uno stato che molti manager definirono “quasi ipnotizzato”. Successivamente dal suo ufficio giungeva una comunicazione di implementazione di alcuni principi del TPS nello stabilimento: il solo modo che aveva per comprendere a fondo lo svolgimento del lavoro era andare a controllare di persona. Gli eventi a cui poteva assistere non sarebbero stati riportati da nessun rapporto, diagramma o presentazione, benché la loro importanza sia comunque notevole. L’applicazione del *genchi genbutsu* non è però così facilmente applicabile, perché necessita di competenze specifiche per analizzare e capire con occhio critico i processi del flusso del materiale e di informazioni, della standardizzazione ecc., oltre che saper risalire alla radice dei problemi osservati e comunicarla efficacemente ai colleghi. È spesso utilizzata, nel sistema Toyota, l’espressione “*parlare con i dati*”: il miglioramento continuo è un processo di *problem solving*, e cercare di risolvere un problema affidandosi solamente all’intuito ed a sensazioni non è un approccio scientifico. La raccolta e l’analisi di dati riguardo la situazione attuale è fondamentale per capire dove ci si trova ed è il primo spunto per migliorare. Il *genchi genbutsu*, quindi, non è

---

<sup>20</sup> Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;

Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;



semplicemente “andare a guardare” ed avere in cambio una impressione. Come spiega Tadashi Yashima (presidente del Toyota Technical Center) fidarsi del buon senso può non bastare, è solo con la raccolta e l’analisi di dati che si può confermare o smentire una intuizione. Successivamente sono elencati i suoi dieci principi di managementi:

- Tieni sempre a mente l’obiettivo ultimo;
- Assegna con trasparenza gli incarichi a te stesso e agli altri;
- Pensa e parla sulla base di informazioni e dati verificati e dimostrati;
- Approfitta il più possibile della saggezza ed esperienza degli altri;
- Condividi le informazioni in modo tempestivo;
- Riferisci, informa ed offri consulenza in modo tempestivo;
- Analizza e comprendi i limiti delle tue capacità;
- Cerca sempre di condurre attività kaizen;
- Pensa “fuori dagli schemi”;
- Stai sempre attento a tutelare la tua sicurezza e salute;

### 3.3.1 Le “Gemba Golden Rules”

La gestione efficace di un sito produttivo, come descritto, passa necessariamente attraverso il contatto intimo con il *gemba*: relazioni scritte e riunioni (a volte anche mensili) non bastano per comprendere fino in fondo ciò che accade nella realtà. Nascono quindi cinque “regole auree” per la gestione del *gemba*:

1. *Appena si presenta un problema, recarsi immediatamente nel gemba*

Il management ha in carico l’assunzione e la formazione degli operatori, la definizione degli standard ed il progetto di prodotti e processi: devono conoscere in prima persona le condizioni operative del sito produttivo recandosi tempestivamente sul posto e sviluppando sicurezza nell’intervento attraverso la pratica di questa azione. Le informazioni che si possono trovare sul campo sono le più affidabili ed immediate, e la qualità andrebbe quindi affidata a chi è in contatto continuo con la produzione piuttosto di chi si basa semplicemente sulla lettura ed interpretazione di dati, i quali molte volte vengono raccolti solo per compiacere il capo e registrati da dispositivi di misura in modo non corretto.

2. *Controllare il genbutsu*

Il *genbutsu*, riferendosi al contesto produttivo, può consistere in una macchina che si è guastata, un attrezzo malfunzionante o addirittura un reclamo da parte di un cliente: i manager devono recarsi nel *gemba* e domandarsi “Perché è successo?” anziché scaricare la responsabilità

dell'accaduto ad altri all'interno di una sala riunioni. Riconoscere il problema, molte volte, significa essere già a metà dell'opera.

3. *Prendere subito i primi provvedimenti provvisori*

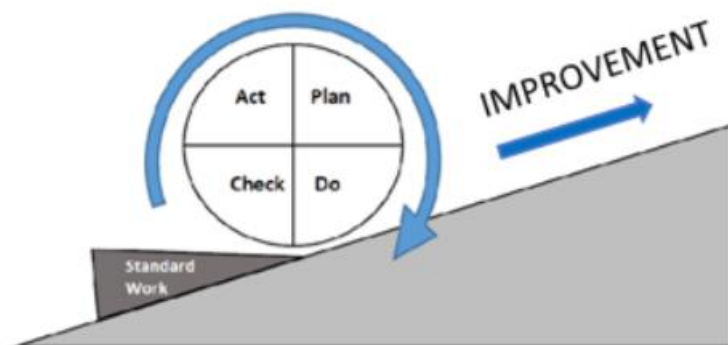
Quando ci si accorge di un problema è necessario fermarlo immediatamente attraverso contromisure (anche temporanee) senza pianificare in maniera eccessiva come procedere successivamente: si discuterà in maggior dettaglio delle azioni migliorative quando ci si troverà in una condizione di maggior sicurezza.

4. *Trovare la causa radice dei problemi*

Anche se molti problemi sono risolvibili in maniera rapida ed efficace con l'utilizzo del buon senso, altri richiedono maggiori sforzi di preparazione e pianificazione, come ad esempio il superamento di difficoltà di natura tecnica oppure l'introduzione di una nuova tecnologia. Per questi ultimi casi è incentivato l'utilizzo di strumenti evoluti di problem solving supportati da raccolte di dati da molteplici fonti. Uno dei metodi più diffusi per risalire alla causa radice di un problema che si presenta nel gemba e quello dei "Cinque perché", ideato da Taiichi Ohno e che consiste nel chiedersi cinque volte perché è accaduto un determinato fatto e darsi altrettante risposte: spesso le cause reali di un problema sono nascoste dietro i sintomi più evidenti e ovvi di un cattivo funzionamento del processo produttivo. Va da sé che il numero effettivo di iterazioni dipenderà dalla complessità del problema che ci si trova ad affrontare.

5. *Stabilire degli standard che evitino il rappresentarsi dell'anomalia*

Contribuire alla soddisfazione del cliente attraverso gli *obiettivi QCD* (*Quality, Cost, Delivery*) può risultare minacciato dal presentarsi di problemi o anomalie come guasti ai macchinari e ritardi nelle consegne di semilavorati e materie prime. Oltre a risolvere il problema "di petto" non appena si presenta, il manager deve fare in modo che esso non si ripresenti nel futuro, rimuovendone la causa radice: per questa azione vengono in aiuto le *procedure* che guidano alla soluzione del problema e che divengono in seguito un nuovo standard inserito all'interno di un ciclo SDCA (standardize, do, check, act) (cap. 2.4.5) agente come un "cuneo" il quale fa sì che non si possa tornare indietro alla condizione precedente, favorendo il successivo miglioramento.



**Figura 3.4: Il concetto di “cuneo” dello standard**

Ogni anomalia che si riscontra darà quindi vita ad un progetto di miglioramento, che darà luce ad un nuovo standard oppure alla revisione di uno già esistente.

### 3.4 Visual management

(Paragrafo tratto da: Imai, 2015; Liker & Attolico, 2004)<sup>21</sup>

Il *visual management* è una pratica di comunicazione e gestione che ha come scopo quello di mettere in evidenza il gembutsu (prodotti, diagrammi, indicatori di produzione...) consentendo tanto il management quanto gli operatori di tenersi aggiornati sugli obiettivi QCD della soddisfazione del cliente. È parte integrante delle fondamenta della casa Gemba ed è ampiamente adottata nelle aziende Lean. Assolve a numerose funzioni, le cui più importanti sono riportate di seguito.

#### 1. Dare visibilità ai problemi

Se le anomalie non sono identificabili, non è possibile apportare alcuna azione di miglioramento e gestire il processo in maniera efficace: i problemi vanno perciò messi in piena evidenza a tutti i dipendenti (manager, supervisori ed operatori) in maniera tale da prendere nel minor tempo possibile le opportune manovre correttive e migliorative. Attraversando più livelli organizzativi, le informazioni provenienti dal gemba perdono di concretezza, mentre utilizzando il *visual management* basta transitare tra i reparti e le linee produttive per rendersi immediatamente conto di eventuali irregolarità di processo.

<sup>21</sup> Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;  
Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2004;

Nella filosofia Lean si pone molta importanza alla necessità di ottenere il risultato corretto al primo tentativo: questo è dovuto al fatto che, in accordo con il target di abbattimento del primo dei sette sprechi (cap. 2.5.1) ovvero la *sovrapproduzione*, la diminuzione delle scorte fa in modo che non possa esistere una “rete di salvataggio” che consenta di approvvigionare le stazioni di lavoro per molto tempo in seguito ad una anomalia. Al momento della fermata di un macchinario, ad esempio a causa di un guasto, vengono utilizzate bandierine o luci di colore rosso o giallo spesso accompagnate da una musica o una sirena d’allarme, al fine di segnalare tempestivamente problemi di qualità e chiedere aiuto per la sua risoluzione: questo sistema è denominato *andon* e permette l’applicazione del principio del *jidoka* (o *autonomazione*), che significa dotare i macchinari di intelligenza umana che siano capaci di fermarsi in caso di anomalie in maniera autonoma. Risulta notevolmente più efficace impedire che i problemi di qualità arrivino alla fase successiva di lavoro, interrompendo il processo e risolvendo il problema, piuttosto che affrontarlo a posteriori. Taiichi Ohno, in un’occasione, ha affermato che “Una linea di assemblaggio che non si ferma, o è perfetta, oppure è pessima”.

## 2. *Restare a contatto con la realtà*

Il visual management è in grado di aiutare operatori e supervisor a gestire e migliorare i processi produttivi puntando alla soddisfazione del cliente in termini di obiettivi QCD. All’interno delle fabbriche giapponesi è usuale imbattersi in un quadro in cui è indicata la *schedulazione delle attività di produzione associata all’effettivo avanzamento*, che può assumere la forma di una bacheca, un tabellone in cartone oppure una lavagna magnetica. Nonostante una soluzione high-tech come uno schermo oppure un monitor possa sembrare una soluzione migliore, la semplicità di un tabellone rappresenta la potenza di questo strumento: chiarezza e facilità di interpretazione sono i suoi punti di forza. Grazie ad esso è possibile pianificare e livellare la produzione degli ordini dei clienti nel tempo regolando il flusso di materiali ed ottimizzando l’impiego delle risorse. Il suo formato, anche all’interno della stessa azienda, può variare da stabilimento a stabilimento per adattarsi meglio ai suoi processi, prodotti e sistemi, ed agli operatori è lasciata la sua modifica ma anche quella del contenuto informativo: essi, aggiornando di volta in volta la posizione delle pedine magnetiche (o di qualunque altro oggetto si utilizzi per la schedulazione della produzione) possono notare immediatamente eventuali intasamenti del flusso, intervenendo con tempestività. Inoltre, apportando loro le modifiche alla schedulazione, si viene a creare un

senso di titolarità ed appartenenza ad un unico gruppo che li aiuta a collaborare più efficacemente e produttivamente.

3. *Esporre gli standard*

Il visual management è in grado di rivelare a colpo d'occhio se la situazione operativa è sotto controllo oppure no: se si osserva un carrello lasciato fuori dall'area di parcheggio segnata sul pavimento oppure una corsia di passaggio è ingombra di scatole o altro materiale non necessario, allora è chiaro che vi sono anomalie. Gli standard affitti accanto alle postazioni di lavoro sono strumenti di visual management, in quanto non solo contengono le modalità di lavoro corrette per gli operatori, ma fanno capire al manager se esse sono rispettate oppure no.

4. *Gestire l'approvvigionamento di parti*

Le *rastrelliere kanban* oppure i sistemi di gestione visuale come il *ripristino vuoto per pieno* permettono il trasporto del materiale da parte degli asservitori nella quantità giusta e col tempismo giusto per la produzione di quella postazione di lavoro. Attraverso una semplice scala cromatica che può andare dal verde (non c'è bisogno di produrre nulla) al giallo (le scorte stanno finendo) per terminare con il rosso (le scorte sono finite, c'è bisogno di effettuare un ripristino), è possibile inviare un segnale chiaro di produzione o attesa.

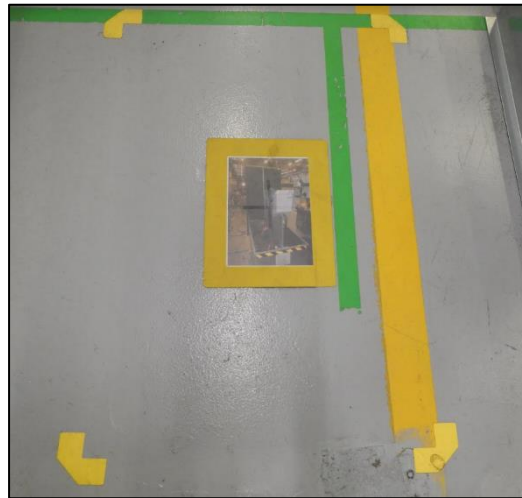
5. *Esplicitare gli obiettivi*

Il visual management aiuta a chiarire gli obiettivi di miglioramento, sicurezza e produzione programmati per il futuro. Può essere utile un cartello in cui, all'interno di un diagramma temporale della durata prefissata, si riporta l'obiettivo desiderato (come, ad esempio, il tempo di set-up da raggiungere di un certo macchinario) e la situazione di partenza (tempo di set-up attuale). Dopodiché si tiene monitorata la situazione aggiornando il diagramma con l'avanzamento dei progressi (nell'esempio precedente, il tempo di ogni nuovo set-up): gli operatori hanno in questo modo la consapevolezza di ciò che i manager ed i supervisori si aspettano da loro.

6. *Mostrare i risultati e le prestazioni conseguite*

Mettendo in luce e mostrando i risultati ottenuti attraverso le attività di miglioramento gli operatori si sentono coinvolti e motivati verso il raggiungimento di un obiettivo comune, dettato dalle strategie aziendali. Questo è uno degli effetti più forti del visual management: “i numeri, da soli, non bastano a motivare le persone. Senza rappresentazione visiva, i numeri sono lettere morte” (Imai, 2015).

In **Figura 3.5** e **Figura 3.6** sono riportati alcuni esempi di visual management utilizzati in MEHITS, in particolare nella sede M11 di Bassano del Grappa.



**Figura 3.5: Angolari gialli con all’interno la fotografia di un carrello dei tubi di rame, rappresentante la sua area di parcheggio (Fonte interna MEHITS)**



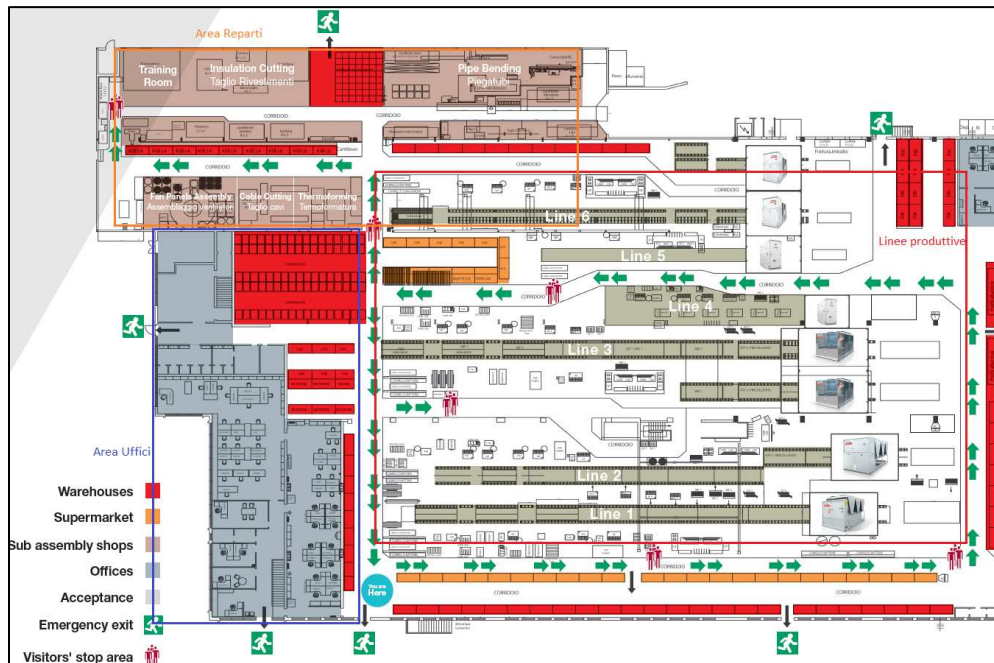
**Figura 3.6: Tabellone logistico con le macchine in partenza suddivise per linea produttiva e data (Fonte interna MEHITS)**

## 4. INTRODUZIONE ALLO STABILIMENTO M11 E DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

Con il quarto capitolo si comincia ad entrare nel “cuore” della tesi. Al suo interno, infatti, sarà presentato il flusso produttivo dello stabilimento, con particolare attenzione alle varie postazioni di linea ed ai reparti. Ciò risulta indispensabile per comprendere la natura del problema che ha dato avvio alle attività eseguite in questo progetto: l'avvicinamento al *takt time* di linea della fase di saldobrasatura dell'impianto frigorifero al fine di ottenere un migliore bilanciamento della stessa. Come si vedrà attraverso l'utilizzo dello *Yamazumi Chart* il contenuto di lavoro presente nelle sue sottofasi è tra i più elevati, rappresentando un *vincolo*: da qui la necessità di portare fuori linea, all'interno di un nuovo reparto produttivo, alcune semplici lavorazioni eseguite dal frigorista sulle tubazioni in rame provenienti dal reparto piegatubi (PTB), che non necessitano di competenze elevate, scaricandovi ore/uomo e, possibilmente, efficientandole in una area dedicata. Operazioni che prenderanno il nome di “*Finitura dei tubi di rame*”.

#### 4.1 Lo stabilimento M11 di Bassano del Grappa

Lo stabilimento M11 di Bassano del Grappa (**Figura 4.1**), headquarters di MEHITS, oltre alle **sei linee di assemblaggio** e **cinque reparti produttivi**, alimentati dal **magazzino interrato** e dai **supermarket** posizionati a bordo linea, ospita al suo interno gli **uffici** della Direzione, degli enti centrali ed anche quelli di funzione, come Ufficio Tecnico, Risorse Umane e Controllo di Gestione.



**Figura 4.1: Lo stabilimento M11 di Bassano del Grappa** (Fonte interna MEHITS)

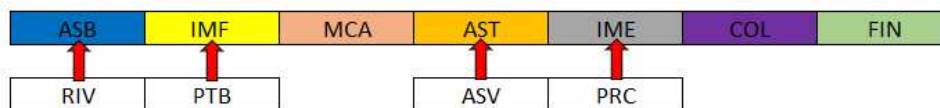
Copre un'area di circa 12500 m<sup>2</sup> e, come accennato in precedenza, dispone di sei linee di assemblaggio e cinque reparti produttivi, i quali lavorano con una giornata di anticipo per permettere l'approvvigionamento dei semilavorati alle varie postazioni produttive. Questo è possibile grazie al lavoro degli *asservitori* che trasportano il materiale necessario attraverso carrelli, transpallet e muletti in locazioni ben definite della linea. L'azienda, pur rispondendo al mercato con una logica PTO (*Purchase to Order*) al fine di permettere al cliente ampia personalizzazione di prodotto, nel suo ciclo di realizzazione della macchina (che sia un *chiller*, una *pompa di calore* o una *unità polivalente*) è possibile individuare alcuni componenti principali (come basamento, scambiatori di calore, carpenterie...) comuni a diverse tipologie e taglia di macchina. Questo porta inevitabilmente ad una logica di standardizzazione dei componenti che, sebbene non sia ancora utilizzata al massimo delle sue potenzialità, consente ugualmente di snellire sia il flusso di movimentazione interno degli articoli, sia quello verso la fabbrica e, non meno importante, il magazzino stesso. MEHITS, infatti, è caratterizzata da un magazzino ed un flusso di merci in entrata particolarmente snello grazie all'introduzione, attraverso *attività kaizen*, della **milk run**, ovvero la route di ritiro merci presso i fornitori: questo permette di gestire i componenti



strategici con logica *Just In Time*, consegnandoli allo stabilimento appena qualche giorno prima di essere assemblati sulle macchine in produzione, in maniera tale da accorciare il periodo di tempo in cui rimangono a scorta all'interno del magazzino.

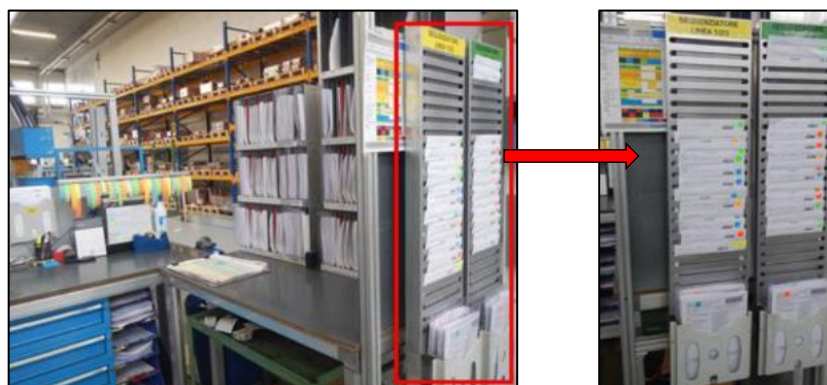
#### 4.1.1 L'area reparti

I cinque reparti produttivi lavorano solitamente con una giornata in anticipo rispetto alla data di inizio prefissata della commessa e preparano tutti i materiali ed i semilavorati di produzione interna che, per scelta strategica aziendale, non vengono acquistati dall'esterno e che vengono poi portati a bordo linea con sistemi di trasporto elettrico o manuale, come carrelli, muletti o transpallet.



**Figura 4.2: L'asservimento del materiale dai reparti alle linee** (Fonte interna MEHITS)

L'asservimento avviene poche ore prima dell'inizio dell'assemblaggio del telaio (la prima fase tecnica del ciclo) ed è controllato dal cosiddetto *gestore* o *Mizusumashi* il quale, in funzione della schedulazione della produzione effettuata dall'ufficio logistico, organizza le attività di part picking dei materiali dal magazzino/supermarket e dai reparti, di part feeding alle linee ed il lavoro dei reparti nella sequenza richiesta. La postazione del gestore è caratterizzata dalla presenza di un *Heijunka Box* (**Figura 4.3**), contenente in ogni tasca la documentazione relativa alla commessa in partenza ed all'ordine di prelievo dei materiali associata ad essa.



**Figura 4.3: Postazione di lavoro del gestore (sinistra) ed Heijunka Box/Sequenziatore (destra)** (Fonte interna MEHITS)

I reparti produttivi di M11 sono:

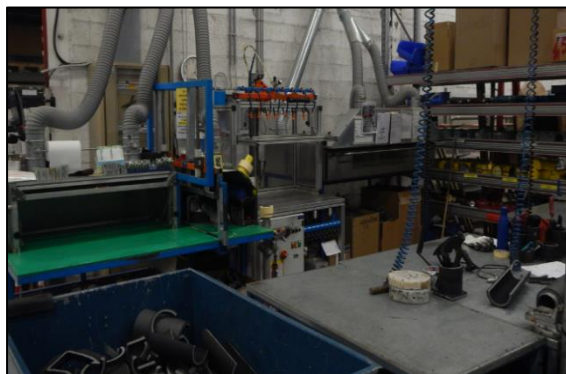
- **Reparto Ventilatori (ASV):** in questo reparto (**Figura 4.4**) viene preassemblato l'assieme denominato "boccaglio", formato dalle cofanature metalliche, dalle ventole e dal motore elettrico che ne permette la rotazione. Il boccaglio va installato al di sopra delle batterie

condensanti delle macchine condensate ad aria, per permettere lo scambio termico ed il passaggio di stato da gas a liquido del fluido refrigerante in ad alta pressione in uscita dal compressore. In **Figura 4.5** è riportato un carrello contenente un assieme ventilatore dal reparto su apposito carrello di trasporto:



**Figura 4.4 e 4.5: Reparto ventilatori e assieme bocaglio su carrello di trasporto** (Fonte interna MEHITS)

- **Reparto termoformatura gusci (TFG):** in questo reparto (**Figura 4.6**) vengono rivestiti i tubi ed i vari componenti del circuito idrico delle macchine che lo richiedono, per permetterne l'isolamento ed evitare la formazione di condensa durante gli scambi di calore. È presente un forno operante alla temperatura di circa 200 °C in cui un foglio di materiale elastico isolante viene riscaldato e successivamente portato sottovuoto al di sopra di appositi stampi di acciaio per un determinato intervallo di tempo: l'azione del vuoto e del raffreddamento del foglio isolante permette di ottenere la forma desiderata. Dopodiché l'operatore taglierà il l'eccesso del foglio e rivestirà le tubazioni idriche in acciaio incollando le lamine termoformate.



**Figura 4.6: Il reparto di termoformatura, in cui si vede il forno (a destra) ed il box per la pressatura sottovuoto (centro).** (Fonte interna MEHITS)

- **Reparto rivestimenti (RIV):** in questo reparto (**Figura 4.7**) l'operatore taglia a misura i rivestimenti isolanti termici (applicati agli scambiatori di calore a piastre) ed i rivestimenti isolanti acustici (applicati sulle

pannellature delle macchine e sulla cofanatura delle pompe, se la commessa lo richiede) che vengono richiesti dalla specifica commessa di produzione, mediante l'utilizzo di specifiche *dime*.



**Figura 4.7: Banco di lavoro del reparto rivestimenti, con la bobina di isolante a sinistra e il cutter appoggiato sul banco** (Fonte interna MEHITS)

- **Reparto preparazione cavi (PRC):** in questo reparto (**Figura 4.8**) l'operatore ha il compito di preparare le bobine di cavo elettrico (utilizzato sia in linea, sia nell'assemblaggio delle ventole) e i capillari (per il collegamento di sensori come manometri e trasduttori dall'impianto frigo alla centralina del quadro elettrico della macchina).



**Figura 4.8: Il reparto preparazione cavi** (Fonte interna MEHITS)

- **Reparto piegatura tubi di rame (PTB):** in questo reparto (**Figura 4.9**) le verghe di rame ricotto provenienti dal fornitore vengono tagliate alla misura adeguata mediante una sega circolare e lavorate da una macchina denominata *piegatubi* la quale, tramite l'inserimento di un programma di piega (sviluppato su 3 coordinate  $x,y,z$ ), darà la geometria richiesta a ciascun tubo dell'impianto frigo della macchina. Il kit di tubi appartenente a ciascuna commessa viene poi posizionato all'interno di un carrello (**Figura 4.10**) ed è pronto ad essere trasportato a bordo linea per la saldobrasatura dell'impianto frigorifero. Il reparto PTB ritaglierà una

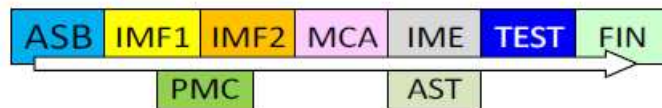
parte importante del progetto di tesi e sarà spiegato in maniera più esaustiva all'interno del successivo paragrafo.



**Figura 4.9 e 4.10: Il reparto PTB con panoramica sulla macchina piegatubi (sinistra) e carrelli contenenti il kit dell'impianto frigo (destra) (Fonte interna MEHITS)**

#### 4.1.2 Le linee produttive

M11 assembla le sue unità in un numero considerevole di varianti, consentendo al cliente una quasi illimitata personalizzazione di prodotto, sia dal punto di vista delle dimensioni, sia dal punto di vista delle caratteristiche. Questo comporta inevitabilmente alcune difficoltà, legate alle tecnologie, alle attrezzature ma soprattutto di carattere gestionale: le attività di assemblaggio del *chiller*, della *pompa di calore* o dell'*unità polivalente* non sono totalmente standardizzate ma soggette alla discrezionalità dell'operatore il quale, attraverso la sua esperienza, conosce lo svolgimento corretto delle attività da eseguire. Le fasi tecniche di realizzazione della macchina si svolgono lungo sei linee produttive lunghe circa cinquanta metri, in cui l'unità avanza attraverso le diverse postazioni di lavoro tramite una rulliera. Due linee (LN04 e LN05) sono specializzate nella realizzazione di piccole unità condensate ad acqua, le restanti quattro (LN01, LN02, LN03 e LN06) sono specializzate nella realizzazione di unità condensate ad aria, ognuna delle quali è a sua volta deputata ad accogliere determinate famiglie di prodotto. Nonostante le problematiche gestionali precedentemente elencate, la base costitutiva dei prodotti è sempre la medesima ed è progettata a catalogo. Infatti, l'unità idronica è composta dagli stessi componenti di base (compressore, scambiatore di calore, valvola di espansione) a cui verranno aggiunti componenti optional in caso la configurazione scelta dal cliente lo richieda. Seppur con qualche differenza, quindi, è possibile individuare alcune **macrofasi tecnologiche (Figura 4.11)** comuni a tutti i prodotti eseguite in specifiche postazioni di lavoro localizzate lungo la linea.



**Figura 4.11: Il ciclo di assemblaggio** (Fonte interna MEHITS)

Seguendo la sequenza di assemblaggio, esse sono:

- **Assemblaggio del basamento (ASB):** questa fase consiste nell'assieme delle carpenterie che costituiscono lo scheletro dell'unità, sul quale verranno successivamente assemblati tutti i componenti della macchina, come la posa dell'evaporatore a fascio tubiero o a piastre (a seconda della famiglia di prodotto), gli eventuali pompa e/o accumulo (parte dell'impianto idrico) e la sistemazione dell'eventuale isolamento acustico (**Figura 4.12**).



**Figura 4.12: Posa dei longheroni nella fase ASB con evaporatore a fascio tubiero pronto per la posa** (Fonte interna MEHITS)

- **Pre-montaggio compressori (PMC):** questa fase viene svolta in un apposito banco posizionato a bordo linea, in cui l'operatore realizza i cosiddetti "tandem" o "trio" (coppie o terne di compressori) saldabrasando mediante fiamma ossiacetilenica i collettori di rame e le tubazioni di mandata ed aspirazione e cablando la scatola elettrica dei compressori. Una volta terminata l'operazione, i compressori sono sollevati e posizionati all'interno della macchina mediante l'utilizzo di un carro ponte (**Figura 4.13**).



**Figura 4.13: Postazione di pre-montaggio compressori ad opera finita, pronti ad essere installati in macchina** (Fonte interna MEHITS)

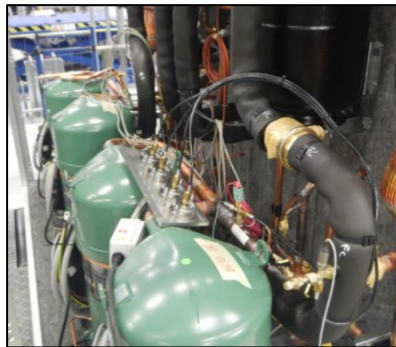


- **Impianto frigo (IMF):** si tratta della parte più corposa e critica dell'intero ciclo di assemblaggio ed è spaccettata in più sottofasi. Al suo interno viene realizzata la saldatura dell'impianto frigorifero della macchina, suddiviso in *linea di mandata*, *linea di aspirazione* e *linea liquido*, le quali collegheranno i diversi componenti (batterie condensanti, evaporatori a fascio tubiero/piastre, valvola di espansione, filtri, eventuali desurriscaldatori...) (**Figura 4.14**). Consiste in diverse operazioni svolte dal frigorista, che verranno approfondite successivamente all'interno del paragrafo successivo.



**Figura 4.14: Due operatori impegnati nella realizzazione del circuito frigorifero** (Fonte interna MEHITS)

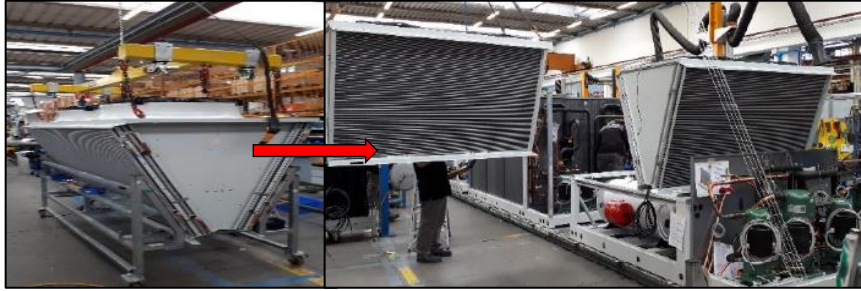
- **Montaggio capillari (MCA):** in questa fase tecnica il capillarista ha il compito di collegare tutti i componenti della macchina (compressori, valvole termostatiche, manometri, trasduttori, valvole di sicurezza...) ai cavi del circuito elettrico, che costituiranno il "sistema nervoso" dell'unità (**Figura 4.15**).



**Figura 4.15: Focus su parte del circuito frigo (linea di mandata) ad opera finita da parte del capillarista** (Fonte interna MEHITS)

- **Assemblaggio della struttura (AST):** per le unità con moduli a "V traverso" la fase tecnica prevede la costruzione dei moduli condensanti a V a bordo linea mediante l'uso di una dima (**Figura 4.16**) e la successiva installazione nell'unità, collegando il circuito frigorifero mediante saldatura rame-rame dei collettori. Dopodiché si montano le eventuali cofanature delle pompe e le carpenterie superiori del telaio. Per le unità

bi-batteria (come, ad esempio, quella riportata in Figura 4.13) la posa delle batterie condensanti è effettuata in ASB.



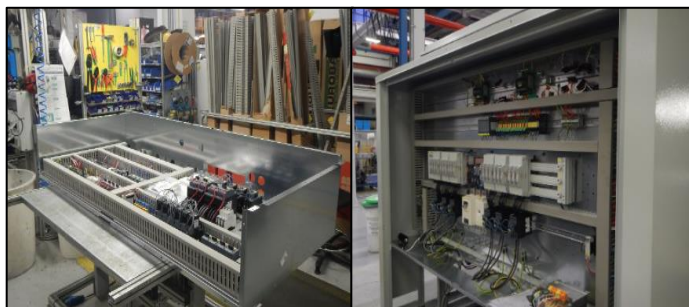
**Figura 4.16: Modulo condensante a V appena assemblato su dima (sinistra) e successivo montaggio in macchina (destra) (Fonte interna MEHITS)**

- **Impianto idrico (IMI):** la fase IMI (Figura 4.17) prevede la posa delle tubazioni idriche, il loro collegamento ad eventuali pompe/accumulo ed il loro staffaggio.



**Figura 4.17: Postazione IMI in cui si nota il carrello degli asservitori pronto con flange, gomiti e gusci termoformati per l'impianto idrico (Fonte interna MEHITS)**

- **Impianto Elettrico (IME):** anche questa fase tecnica è spaccettata in due sottofasi. A bordo linea, in anticipo di una commessa rispetto all'effettiva unità presente sulla rulliera, avviene il **cablaggio del quadro elettrico (CQE) (Figura 4.18)**, in cui si realizza il "cervello" della macchina a partire da zero. Successivamente il quadro viene installato e si completano tutti i collegamenti elettrici rimanenti.



**Figura 4.18: Postazione CQE con quadro in fase di realizzazione (sinistra) e successivamente montato sull'unità in linea (destra) (Fonte interna MEHITS)**

- **Collaudo (COL):** prima di entrare all'interno della cabina di collaudo (**Figura 4.19**) viene testato il corretto funzionamento della macchina attraverso prove a vuoto, prove dielettriche, vengono programmate le schede elettroniche e viene effettuata la carica di gas refrigerante. Successivamente l'unità entra in cabina e, dopo aver effettuato gli allacciamenti idrici ed elettrici, viene messa in esercizio ed è testata nelle sue condizioni di esercizio.



**Figura 4.19: Messa in vuoto dell'unità (sinistra) e cabina di collaudo (destra)** (Fonte interna MEHITS)

- **Finitura (FIN):** a seguito dell'uscita dalla cabina di collaudo, il finitore eseguirà le ultime operazioni: montaggio delle pannellature esterne, la sistemazione del rivestimento isolante delle tubazioni, l'applicazione delle etichette ed infine l'imballo dell'unità (**Figura 4.20**).



**Figura 4.20: unità in fase di finitura in uscita dal collaudo (sinistra) ed unità imballata pronta ad essere spedita al cliente finale** (Fonte interna MEHITS)



## 4.2 Background: focus sulla fase Impianto Frigo (IMF) ed il Reparto Piegatubi (PTB)

All'interno di questo progetto di tesi, sono due le aree produttive in cui l'introduzione del nuovo reparto di finitura tubi ha avuto un impatto notevole: la fase tecnica **Impianto Frigo (IMF)**, ed il **Reparto Piegatubi (PTB)**, strettamente collegati tra loro. Risulta quindi necessario un maggior approfondimento del loro stato attuale (*as is*), per comprendere al meglio la definizione del problema, che sarà discussa nel prossimo paragrafo, ma anche per confrontarlo con occhio critico con lo stato futuro (*to be*).

### 4.2.1 La fase Impianto Frigo (IMF)

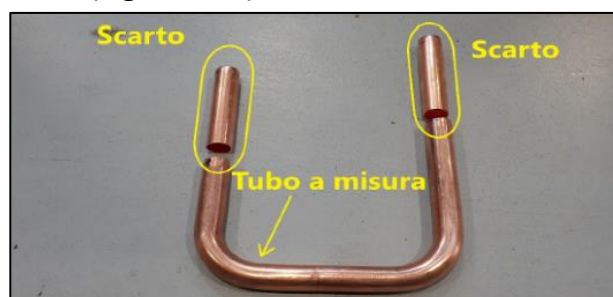
La fase di saldobrasatura dell'impianto frigorifero, il "cuore" dell'unità di raffrescamento e/o riscaldamento dell'acqua, rappresenta la lavorazione più corposa e critica dell'intera linea di assemblaggio. Viene svolta successivamente all'assemblaggio del basamento (ASB) ed ha inizio con la brasatura dei collettori dell'olio e dei tubi di mandata ed aspirazione dei compressori (PMC), mentre termina con l'ultima saldatura che chiude il circuito frigorifero dell'unità che, nello specifico, si suddivide in:

- *Linea liquido*: è il tratto di circuito che collega il condensatore (scambiatore a batteria alettate/microchannel per le unità condensate ad aria, scambiatore a piastre per le unità condensate ad acqua) all'evaporatore (scambiatore a fascio tubiero o a piastre), passando per il filtro e la valvola di espansione meccanica oppure elettronica. In questa porzione di impianto il fluido si trova in fase liquida;
- *Linea di aspirazione*: è il tratto di circuito che collega l'uscita dell'evaporatore all'entrata del compressore, zona in cui il fluido refrigerante si trova in fase gassosa a bassa temperatura;
- *Linea di mandata*: è il tratto di circuito che inizia dall'uscita del compressore e termina con l'entrata nel condensatore. Il fluido refrigerante si trova pertanto nella condizione di gas caldo ad elevata temperatura e pressione, pronto a cedere calore trasformandosi in liquido;

Nella sua postazione di lavoro il frigorista non svolge solamente operazioni di lettura degli schemi del circuito frigo e brasatura: infatti, all'interno della sua mansione (che in azienda è considerata tra le più strategiche date le "*skills*" possedute dalla figura) sono contenute altre attività a più basso valore aggiunto, tra le quali il consulto dei documenti tecnici della macchina (dimensionali 3D del circuito frigorifero per le unità totalmente diseguate oppure libri mastri

contenenti foto di archivio del circuito per le unità di vecchia generazione)<sup>22</sup> ma, soprattutto, **operazioni di finitura delle tubazioni in rame**, prima di poter essere saldate a realizzazione dell'impianto frigorifero. Queste consistono principalmente in:

- **Taglio delle estremità**: la prima operazione da effettuare alla tubazione in rame consiste nel misurarla e portarla a misura a livello dei tratti dritti iniziale e finale mediante l'utilizzo di un tagliatubi manuale. Infatti, come si vedrà in seguito più approfonditamente, i tubi piegati provenienti dal reparto PTB non sono a misura, ovvero non rispettano le dimensioni richieste dal circuito frigorifero dell'unità: la macchina piegatubi presenta infatti limiti inferiori per quanto riguarda la lunghezza dei tratti iniziali e finale e ciò si traduce a livello di linea in **muda di rilavorazione e scarti elevati di rame** (Figura 4.21)

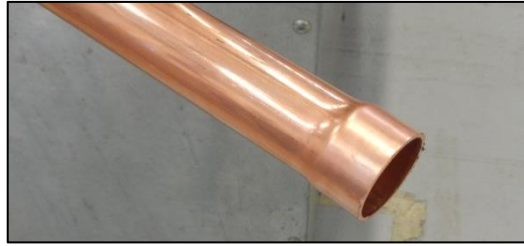


**Figura 4.21: Esempio di tubazione in rame che necessita di essere portata a misura nei tratti iniziale e finale, con evidenziati gli scarti che andranno tagliati** (Fonte interna MEHITS)

- **Bicchieratura**: al fine di poter effettuare la saldatura tra due tubazioni in rame dello stesso diametro, è necessario allargare l'estremità di uno dei due in modo da formare un accoppiamento maschio-femmina. Questa operazione è anche denominata *allargatura/espansione* ed è eseguita in linea tramite una pistola ad aria compressa dotata di testine espandibili per ogni diametro di tubazione (Figura 4.22).

---

<sup>22</sup> In MEHITS, nel 2017 è stata progettata la prima macchina "3 Diamanti" (sinonimo di qualità riconosciuta dalla casa madre Mitsubishi Electric), chiller o pompa di calore condensate ad acqua modello NX-W, completamente disegnata anche a livello di tubazioni dell'impianto frigorifero. Successivamente, solo alcune altre famiglie di prodotto sono state rivisitate e disegnate: per questo motivo vi è la coesistenza di famiglie con gradi di progettazione differenti;



**Figura 4.22: Estremità di una tubazione espansa, che permette l'accoppiamento maschio femmina per un tubo dello stesso diametro (Fonte interna MEHITS)**

- **Fori per prese di pressione:** il funzionamento ed il controllo della macchina è influenzato dalla pressione che il fluido refrigerante esercita in determinate zone del circuito frigorifero. È perciò necessario, dove previsto dallo schema frigorifero dell'unità, la saldatura/brasatura di punti di attacco per il collegamento di manometri (misuratori di pressione) che il capillarista installerà nelle postazioni di lavoro successive. La presa di pressione necessita quindi di *fori* per poter essere saldata, eseguiti tramite avvitatore con punte di diametro adeguato (**Figura 4.23**)



**Figura 4.23: Prese di pressione saldate su circuito frigorifero (Fonte interna MEHITS)**

- **Fori per boccole:** in aggiunta alle prese di pressione, l'unità necessita di ulteriori dispositivi per svolgere correttamente il compito di raffreddare o riscaldare l'acqua. Il circuito frigorifero, infatti, può prevedere la presenza di trasduttori, pressostati e valvole di sicurezza. I primi due vengono collegati al circuito tramite una croce in ottone, avvitata all'interno di una *boccola da un quarto di pollice*<sup>23</sup>. Le valvole di sicurezza sono invece

<sup>23</sup> Per i fori per le boccole da ¼" si utilizza invece un trapano a colonna denominato Flow Drill<sup>®</sup>: una punta diamantata ruota a velocità elevata (3500 rpm) penetrando il materiale a mano a che esso si riscalda per deformazione plastica (non avviene alcuna asportazione di materiale). Questo crea una corona di materiale che permette il perfetto accoppiamento per la brasatura della boccola;

collegate attraverso una *boccola da mezzo pollice*<sup>24</sup> (Figura 4.24). In entrambi i casi, le boccole di ottone sono brasate a banco dal frigorista dopo aver effettuato gli opportuni fori.

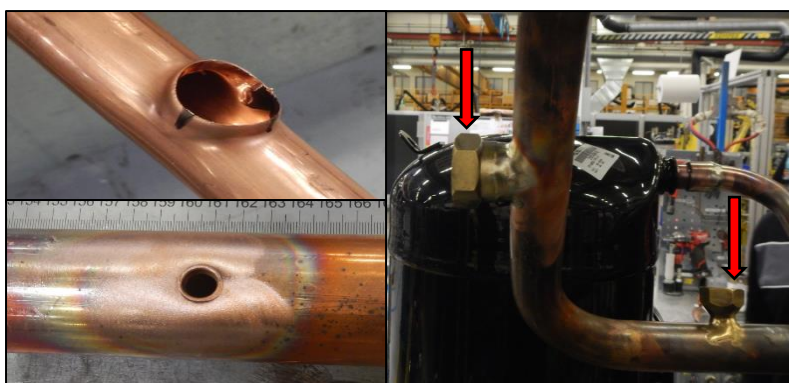


Figura 4.24: Boccola da 1/2" (sinistra) e da 1/4" (destra) saldate sulla linea di mandata, in uscita dal compressore (Fonte interna MEHITS)

#### 4.2.2 Il Reparto Piegatura Tubi (PTB)

Il Reparto di Piegatura tubi (PTB) fornisce alle linee il kit delle tubazioni in rame piegate per la realizzazione del circuito frigorifero. Ogni kit viaggia all'interno di carrelli dotati di ruote e di una tasca in cui è inserita la commessa (ordine di lavoro) a cui appartiene quel kit (Figura 4.25). Il reparto prepara le tubazioni

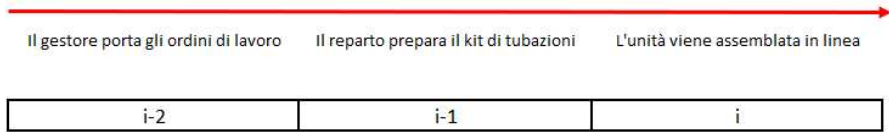


delle macchine un giorno in anticipo rispetto alla loro partenza prevista in linea, in maniera tale da renderle disponibili il prima possibile alla fase di **Impianto Frigo (IMF)**. La schedulazione delle commesse di cui preparare il kit è effettuata dal gestore (Paragrafo 4.1.1) il quale, solitamente attorno a fine giornata, inserisce gli ordini di lavoro all'interno della tasca del *sequenziatore del reparto piegatubi* (Figura 4.26): quindi, se  $i$  è la data di partenza prevista di una certa commessa  $x$ , il gestore porterà le carte della commessa  $x$  nella serata del giorno  $i-2$ .

Figura 4.25: Carrello contenente il kit di tubi piegati (Fonte interna MEHITS)

<sup>24</sup> Per i fori per le boccole da 1/2" viene utilizzato uno strumento denominato T-Drill<sup>®</sup>: si tratta di un trapano dotato di una testa con alette espandibili. Nella prima fase di foratura le alette sono chiuse e l'attrezzo agisce come un semplice trapano. Una volta che la punta è penetrata all'interno della tubazione, è possibile aprire le alette ed invertire la rotazione del mandrino: questo permette la creazione di un collare della dimensione adeguata;

Reparto piegatura tubi



Tasca per inserimento delle commesse del gestore

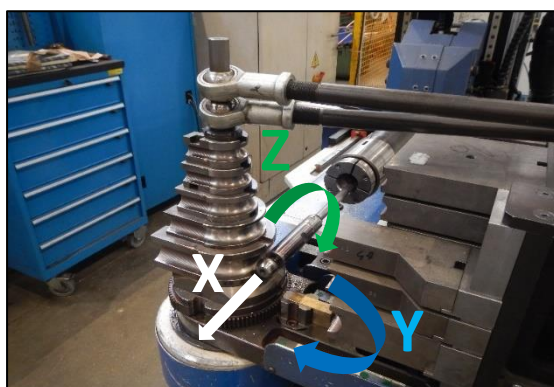
Sequenziatore delle commesse giornaliere



Figura 4.26: Tabellone del reparto PTB; a sinistra si può vedere la tasca suddivisa in giorni (Lunedì-Venerdì) in cui il gestore inserisce le commesse da lavorare, a destra il sequenziatore delle commesse giornaliere suddiviso per linea produttiva (Fonte interna MEHITS)

Alla mattina del giorno *i-1* il primo compito del piegatubista è quello di stampare, da una cartella di rete della postazione PC, il **programma di piega** degli ordini di lavoro *x* di cui preparare il kit frigorifero: si tratta di un file Excel, univoco di quel modello e taglia, contenente *le coordinate XYZ* (di tutti i tubi da realizzare di quella determinata unità), di cui necessita la macchina piegatubi per ottenere la tubazione desiderata, in aggiunta ad altre informazioni. La **Figura 4.27** chiarirà maggiormente il concetto appena discusso:

BN1-5342-NX-W 202 -T122000085-01									
D [mm]	CODICE TUBO	SP. [mm]	L [mm]	FASE	Q.tà	COD. PIEGA	X	Y	Z
16	T121000640	1,0	430	LIQ	1	6 P1	100	90	0
						6 P2	300	0	0
22	T121000650	1,5	721	LIQ	1	1 P1	150	90	0
						1 P2	114	180	90
						1 P3	250	0	0
22	T121000652	1,5	1454	LIQ	1	2 P1	150	90	0
						2 P2	125	45	90
						2 P3	355	90	-90
						2 P4	332	90	-90
						2 P5	250	0	0



**Figura 4.27: Screenshot del programma di piega di una unità (sopra) e rappresentazione delle coordinate di lavoro della macchina piegatubi (sotto)** (Fonte interna MEHITS)

Le coordinate XYZ si riferiscono a:

X: avanzamento rettilineo del posizionatore [mm]. Indica quindi la lunghezza del tratto intermedio del tubo;

Y: angolo di piega del braccio mobile [°]. Indica quindi l'angolo della curva del tubo, compreso tra 0° e 180°;

Z: rotazione del posizionatore attorno al proprio asse [°]. Indica la differenza d'angolo tra due curve consecutive;

I programmi di piega, una volta stampati, si inseriscono all'interno di una busta di plastica trasparente assieme alla relativa commessa e si inserisce poi il tutto all'interno delle tasche del sequenziatore, in base alla linea in cui verrà assemblata l'unità. Delle calamite rosse vengono poi poste in corrispondenza dei



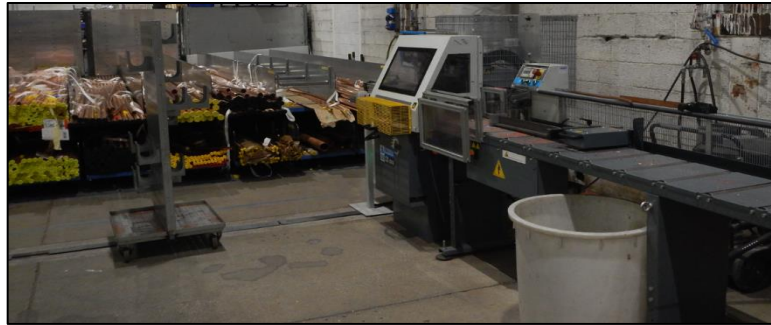
diametri delle tubazioni che quella commessa necessita (**Figura 4.28**): il reparto infatti, dispone di due macchine piegatubi<sup>25</sup> e al fine di minimizzare il tempo di set-up lavora "a lotti" di tubi dello stesso diametro. Attraverso le calamite è quindi possibile vedere a colpo d'occhio di quale commessa preparare il kit prima di passare al diametro successivo: una volta terminati i tubi di un certo diametro di una commessa, la calamita viene rimossa e si passa al diametro successivo.

**Figura 4.28: Tasca del sequenziatore. In basso si può vedere la riga su cui posizionare le calamite, in base al diametro dei tubi della commessa** (Fonte interna MEHITS)

<sup>25</sup> Il reparto dispone di due piegatubi, operanti su fasce di diametro differente. La prima macchina (Technology Star), più recente e tecnologicamente avanzata, lavora i diametri 16,18,22,28 e 35mm. La seconda macchina (Pedrazzoli), molto più datata, lavora i diametri 42,54,64 e 76mm;



Per realizzare una tubazione, l'operatore taglierà la verga di rame stoccata nelle vasche del diametro adeguato alla lunghezza riportata nel programma di piega utilizzando la sega circolare (**Figura 4.29**).



**Figura 4.29: Vasche per lo stoccaggio delle verghe di rame (sinistra) e sega circolare per il loro taglio a misura (destra)** (Fonte interna MEHITS)

Con un indelebile nero riporterà il codice del tubo in lavorazione sulla verga, in maniera tale da identificarlo prima di essere inserito nella pinza del posizionatore della macchina attraverso la "candela" ed avere avviato la lavorazione di piega. Una volta terminato il ciclo, il tubo viene estratto dalla candela e posto nel carrello corretto. Terminato il carrello (ovvero aver realizzato tutti i tubi piegati di una commessa) l'operatore lo trasporta nella postazione adibita alla lavorazione Flow Drill (vedere **Paragrafo 4.2.1**), situata di fianco al reparto di assemblaggio delle spallette, di fronte alla Training Room (vedere **Figura 4.1**). Qui, utilizzando dei libri mastri (denominati "Dox", per le unità con circuito frigorifero non disegnato) o un PC con accesso al portale PDM (per le unità nuove, con tubazioni e circuito frigorifero disponibili in formato CAD), si effettua il foro per le boccole da ¼" sui tubi di mandata ed aspirazione che lo richiedono, nella posizione indicata (**Figura 4.30**)



**Figura 4.30: Trapano a colonna Flow Drill** (Fonte interna MEHITS)

### 4.3 Definizione del problema

MEHITS S.p.A. opera in un contesto caratterizzato da una elevata competitività ed in continuo mutamento. Per mantenere la propria quota di mercato e, se possibile, innalzarla, le aziende del settore del condizionamento industriale devono operare in modo ottimale perseguendo tutti i principali obiettivi di performance delle Operations, catalogabili all'interno di cinque macroaree che incidono direttamente sulla soddisfazione del cliente e a cascata sulla competitività aziendale<sup>26</sup>:

- **Qualità**: si intende il “fare bene le cose”, realizzando prodotti e servizi che svolgano il proprio compito, soddisfino il cliente e siano esenti da problemi;
- **Costo**: si intende la produzione di beni e servizi in maniera economica che permetta un ritorno finanziario all'azienda grazie a prezzi di vendita competitivi;
- **Velocità**: si intende la minimizzazione del tempo che trascorre dal momento dell'ordine da parte del cliente alla consegna del prodotto;
- **Affidabilità**: si intende il rispetto degli accordi stretti con il cliente riguardanti il tempo di consegna di prodotti/servizi;
- **Flessibilità**: si intende la capacità di adattare le attività operative in situazioni inattese, come la richiesta di un prodotto personalizzato da parte di un cliente.

Nel mercato delle unità di condizionamento e climatizzazione industriale, la caratteristica di qualità dell'offerta è percepita dal cliente come pressoché omogenea e considerata un punto dal quale non si può transigere. Lo stesso ragionamento può essere portato avanti per quanto riguarda la flessibilità: il cliente richiede una forte customizzazione del prodotto, in modo da renderlo adatto alle sue esigenze e non è disposto ad accettare un articolo che non si confaccia perfettamente ai suoi bisogni (**Paragrafo 2.2**). Queste due caratteristiche possono quindi essere classificate come *fattori di base*<sup>27</sup>. Risultano invece di importanza strategica la velocità e l'affidabilità, classificati dalla direzione aziendale come *fattori prestazionali*: un loro incremento può portare benefici notevoli a livello di soddisfazione del cliente e maggior riconoscimento all'interno del mercato. La dinamicità di MEHITS spinge infatti l'azienda ad intraprendere in maniera ciclica, in accordo con la *filosofia kaizen*,

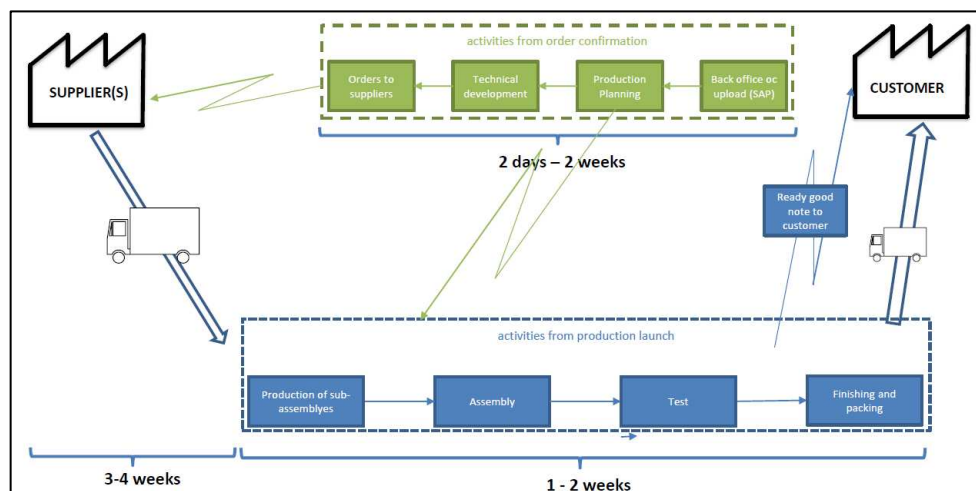
---

<sup>26</sup> Slack N., Brandon-Jones A., Danese P., Romano P., Vinelli A., *Gestione delle Operations e dei processi*, Quinta edizione, Pearson Italia, Milano – Torino, 2019;

<sup>27</sup> Stefano Biazzo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Sviluppo Prodotto*, 2019: il modello di Kano scompone l'offerta di prodotti e servizi in attributi di 3 tipi: *di base*, *prestazionali* e *delighters*. Per i primi la loro presenza viene data per scontata dal cliente; i secondi vengono riconosciuti positivamente dal cliente e sono utilizzati come riferimento per effettuare delle comparazioni tra prodotti; i terzi invece sono caratteristiche in grado di sorprendere il cliente grazie a caratteristiche inattese.



progetti di bilanciamento volti a migliorare le performance di **lead time di consegna** dei suoi prodotti, ovvero il tempo che intercorre dal momento in cui il cliente effettua l'ordine della macchina a quello in cui gli viene consegnata. Al suo interno è possibile individuare il **lead time di produzione**, composto dal tempo necessario per realizzare il prodotto e spedirlo. Come accennato all'interno del **Paragrafo 4.1**, riferendosi alla Classificazione di Wortmann, MEHITS risponde al mercato seguendo una logica **Purchase To Order (PTO)**: l'acquisto, l'approvvigionamento dei materiali e tutte le attività produttive avvengono solo in seguito della ricezione dell'ordine da parte del cliente (**Figura 4.31**).



**Figura 4.31: Flusso dell'ordine di vendita all'interno di MEHITS S.p.A.** (Fonte: Luca Zaffaina, *Induction Plan - KPO & Industrial Operations*, 2021)

Solo la progettazione delle unità avviene in anticipo, con il cliente che ha la possibilità di effettuare la scelta della macchina a catalogo e customizzarla attraverso l'interazione con l'Ufficio Commerciale coadiuvato dall'utilizzo di un configuratore di prodotto. La produzione dei chiller e delle pompe di calore risulta quindi sincronizzata e tirata dall'effettiva richiesta da parte del mercato: MEHITS si propone quindi come obiettivo lo *snellimento del flusso produttivo*, finalizzato alla riduzione del tempo di consegna al cliente ed il suo mantenimento nel lungo periodo. Ciò può essere raggiunto attraverso l'ottimizzazione del tempo di attraversamento dell'unità nella linea produttiva (**Paragrafo 4.1.2**) assicurando rapidità di uscita delle macchine ed ottenendo un vantaggio sui competitor. L'utilizzo dello **Yamazumi Chart** (o **Operator Balance Chart**)<sup>28</sup> può fornire una panoramica sullo stato attuale del bilanciamento delle linee: si tratta di un istogramma che riporta in ascissa le fasi del processo o le postazioni di linea (nel nostro caso, l'assemblaggio dell'unità) ed in ordinata il carico di lavoro. Si inserisce successivamente una riga orizzontale di altezza pari al *takt time* della

<sup>28</sup> Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;

linea, il quale rappresenta il ritmo al quale ogni fase del processo dovrebbe “pulsare” per essere perfettamente allineati alla domanda del mercato (in altre parole, rappresenta il ritmo produttivo che si sincronizza alle vendite). Quindi, in una situazione ottimale, il carico delle postazioni è pari al takt time. Quest’ultimo viene calcolato come il rapporto tra il tempo di lavoro disponibile in un certo intervallo temporale e la domanda richiesta dal mercato nello stesso intervallo temporale:

$$\textit{Takt Time} = \frac{\textit{Tempo di lavoro disponibile}}{\textit{n}^\circ \textit{ di unit\`a richieste dal mercato}}$$

Si tratta di uno strumento intuitivo e facile da utilizzare, ma allo stesso tempo molto potente e che consente di fare diverse osservazioni:

- *La linea è tanto più sbilanciata tante più colonne hanno carico di lavoro che superano il takt time;*
- *La linea è tanto più sbilanciata tante più postazioni hanno carico di lavoro diverso tra loro: questo si traduce in un problema di gestione del flusso;*

È possibile individuare ed effettuare una distinzione tra *vincoli* e *collo di bottiglia*: si definiscono vincoli tutte le fasi operative con carico di lavoro che eccede il takt time, mentre si definisce collo di bottiglia la fase avente carico di lavoro maggiore di tutte, ovvero la più lenta. Inoltre, lo Yamazumi Chart permette di calcolare il numero ideale di operatori da allocare alle diverse fasi:

$$\textit{N}^\circ \textit{ Ideale Operatori} = \frac{\textit{Tempo Ciclo}}{\textit{Takt Time}}$$

Effettuando un’ estrazione dal software gestionale aziendale (SAP) dei tempi previsti per ogni postazione di lavoro della linea è possibile costruire lo Yamazumi Chart. Prendendo come esempio Linea 5, in cui vengono assemblate unità di piccole dimensioni condensate ad acqua (**Paragrafo 1.3.2**), e come intervallo di riferimento l’anno fiscale 2020 (da Aprile 2020 ad Aprile 2021) viene calcolato dapprima il carico di lavoro medio per ogni postazione e successivamente il takt time, riportato all’interno del grafico come linea orizzontale, a demarcazione dei vincoli della linea (**Figura 4.32**):

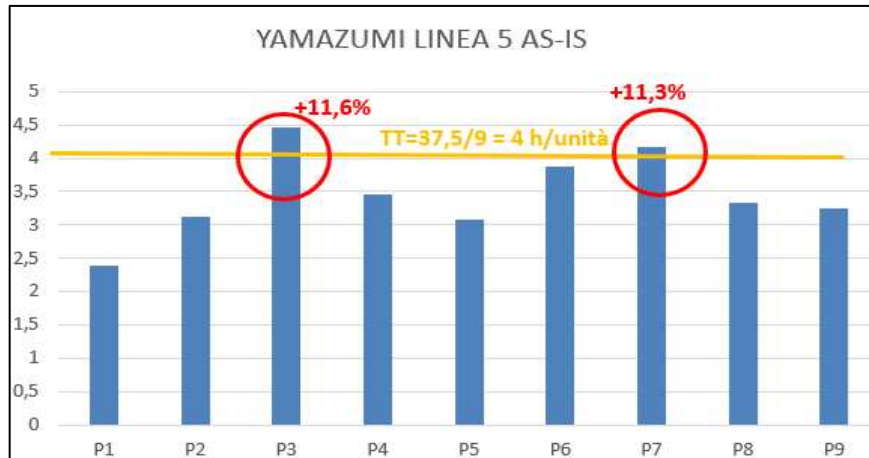


Figura 4.32: Yamazumi Chart di Linea 5, in cui si notano i vincoli dati dalle postazioni P3 e P7 (Fonte interna MEHITS)

Il takt time (linea arancione) è stato ricavato dividendo il numero di ore settimanali in cui la linea è produttiva (37.5h) per il numero di macchine in partenza programmate dalla logistica, che si può arrotondare a 9 unità/settimanali. Si nota immediatamente come le postazioni P3 e P7, le quali sono destinate alla saldobrasatura dell'impianto frigorifero e del cablaggio del quadro elettrico, superano di circa l'11% il takt time di 4h/macchina: questo dà luogo ad un flusso irregolare dell'unità lungo la linea, con le postazioni indicate che tarderanno a completare il lavoro, creando ozio nella fase a valle (il cosiddetto "starving", con la rulliera vuota e gli operatori che attendono)<sup>29</sup> ed un intasamento nella fase a monte ("blocking", con unità in coda che hanno già terminato la fase precedente). La postazione P3 è anche un collo di bottiglia, avendo tempo ciclo superiore alle altre. È possibile effettuare lo stesso ragionamento anche per Linea 2, che produce unità condensate ad aria (Paragrafo 1.3.2), ma che nel ciclo di assemblaggio segue la medesima logica e con takt time anch'esso di 4h/unità (Figura 4.33):

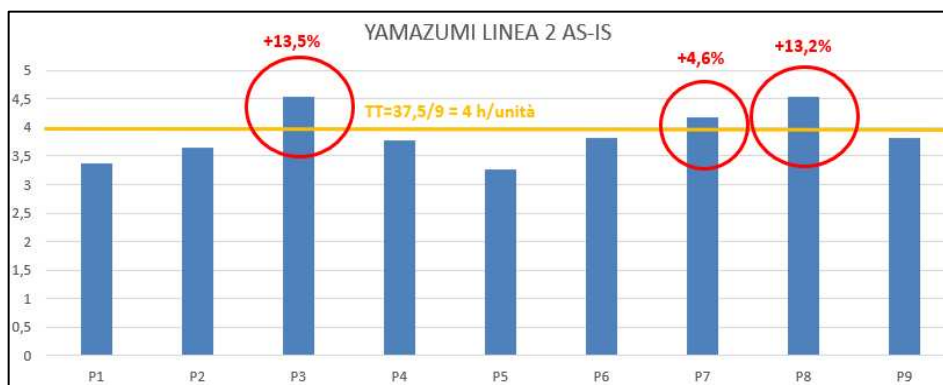


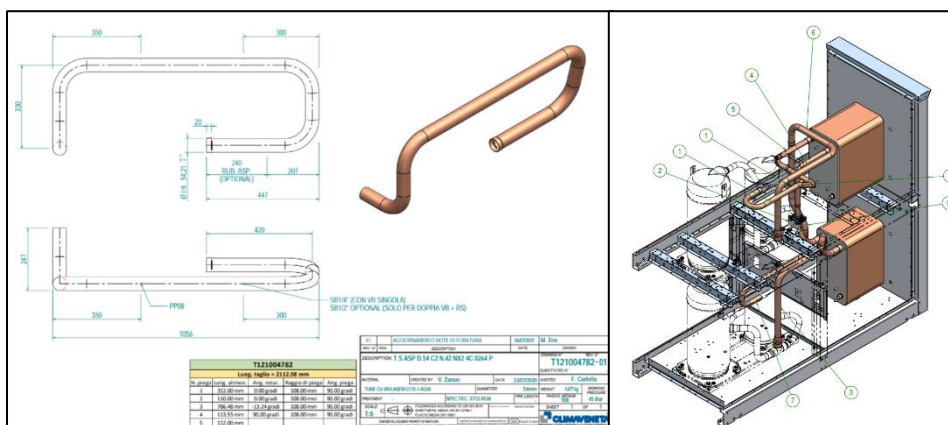
Figura 4.33: Yamazumi Chart di Linea 2, in cui si notano i vincoli dai dalle postazioni P3, P7 e P8 (Fonte interna MEHITS)

<sup>29</sup> Ilenia Zennaro, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Impianti Meccanici*, 2018;

Anche in questo caso sono riconoscibili i vincoli, rappresentati dalla postazione P3 (saldobrasatura dell'impianto frigo), P7 (impianto elettrico) e P8 (collaudo). Il problema del carico di lavoro sbilanciato verso la fase di impianto frigo è presente anche all'interno delle altre linee, ed il problema può essere risolvibile attraverso due diversi approcci: l'aumento del numero di operatori da destinare alla fase vincolo (con problemi legati alla mancanza di spazio per banchi di lavoro aggiuntivi e possibili intralci causati dalla mancanza di coordinazione delle attività) oppure lo spostamento alcune operazioni all'esterno della linea, all'interno di un reparto dedicato, in modo tale da alleggerire il carico di lavoro della postazione ed avvicinarsi il più possibile al takt time di 4h/unità. Da questi presupposti nasce quindi l'intenzione di creare *un reparto dedicato in cui effettuare tutte quelle operazioni legate alla fase di saldobrasatura dell'impianto frigorifero (Paragrafo 4.2.1) che non necessitano di particolari competenze/know how proprie della figura del frigorista:*

- Taglio;
- Foratura;
- Allargatura/Rastrematura;

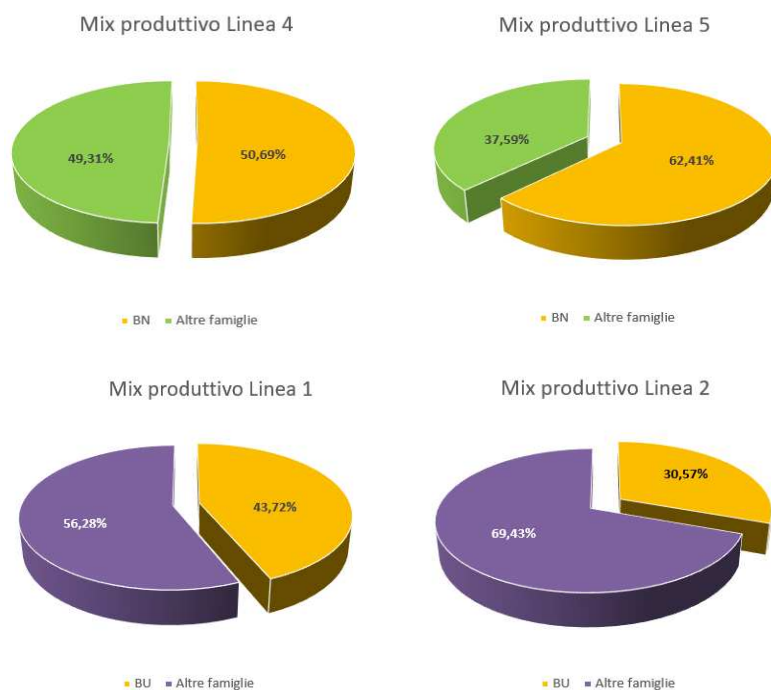
L'idea principale è quindi quella di passare dall'asservimento in linea di un kit di tubi piegati ad un *kit di tubi finiti*, della lunghezza corretta e con tutte le lavorazioni richieste. Ciò è però possibile solo per alcune famiglie di prodotto, in particolare BN1, BN3, BU2, BU3 e BU4: solo queste cinque famiglie, infatti, attualmente dispongono di un *piping* completamente disegnato, ovvero il circuito frigorifero dell'unità è realizzato a computer ed ogni tubazione è codificata attraverso una stringa alfanumerica, completa di quote di taglio, lavorazioni e programma di piega (**Figura 4.34**), e rappresentata in una tavola CAD in formato pdf consultabile accedendo al portale denominato PDM<sup>30</sup>.



<sup>30</sup> Acronimo di Product Data Management. Ci si riferisce ad un software per la raccolta e l'organizzazione di file nelle fasi di ideazione, progettazione e produzione di un bene. Fonte: Wikipedia

**Figura 4.34: Tubazione codificata e circuito frigorifero di un chiller completamente disegnati, disponibili sul portale PDM (Fonte interna MEHITS)**

Le BN1 e BN3 (modelli NX-W e NX-WN) sono rispettivamente chiller e pompe di calore condensate ad acqua e quindi assemblate in linea 4 e 5, le BU2 e BU3 (modelli NX2) sono chiller condensati ad aria a 2 o 4 compressori con evaporatore rispettivamente a piastre e a fascio tubiero, solitamente assemblati in linea 2 mentre le BU4 (modelli NX2 Multiscroll) sono chiller a 4 o 8 compressori con evaporatore a fascio tubiero solitamente assemblati in linea 1. Queste famiglie rappresentano una percentuale importante sul mix produttivo delle linee di destinazione: effettuando un'estrazione delle macchine realizzate negli ultimi 8 mesi, è possibile costruire un diagramma a torta, molto intuitivo, rappresentante il loro peso sul totale (**Figura 4.35**):



**Figura 4.35: % di unità con piping disegnato sul mix produttivo delle linee in cui vengono assemblate (Fonte interna MEHITS)**

Risulta evidente, alla vista dei grafici precedenti, come le famiglie di macchine disegnate rappresentino una importante fetta sul totale delle unità prodotte nelle varie linee: in linea 5 i volumi in gioco sono notevoli, con percentuali superiori al 60%, mentre in linea 4 ci si aggira sul 50%. In linea 1 e linea 2 la presenza delle BU è meno importante (30 e 40%) ma con previsioni di vendita che vedono nel futuro un loro consistente aumento. Considerati i volumi in gioco, l'idea della finitura del tubo di rame eseguita in reparto si prospetta come la mossa vincente per la riduzione del carico di lavoro della postazione di saldobrasatura dell'impianto frigorifero, cercando di avvicinarsi il più possibile al takt time di 4h/unità.

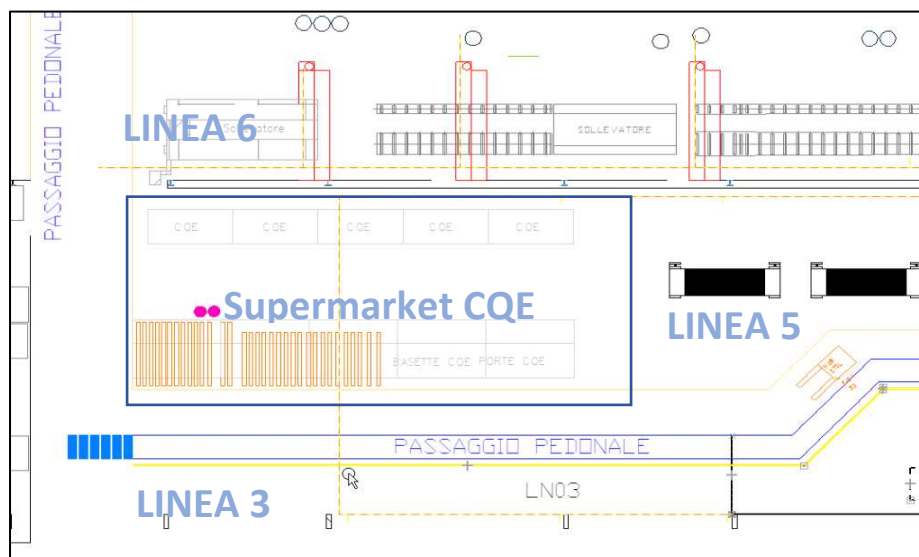


## 5. L'AVVIAMENTO DEL REPARTO DI FINITURA TUBI

Con il Capitolo 5 della tesi si intende illustrare la sequenza delle attività che hanno dato avvio al nuovo reparto di finitura tubi: la programmazione schedulata dei task all'interno delle varie settimane è risultata fondamentale per rispettare le scadenze concordate con il manufacturing manager. Come si vedrà, infatti, era necessario che la transizione dal vecchio flusso produttivo a quello nuovo non impattasse negativamente sul lead time di approvvigionamento del carrello delle tubazioni in rame dai reparti alle linee, diminuendo l'efficienza ed allungando il tempo di consegna dell'unità ai clienti.

## 5.1 La scelta del layout

La prima attività necessaria all'avviamento del nuovo reparto è stata quella dell'individuazione di un'area produttiva all'interno della quale inserire le attrezzature per eseguire la finitura delle tubazioni in rame. Purtroppo, gli spazi a disposizione sono da sempre un vincolo e non è stato possibile utilizzare alcuna metratura "libera" in cui adibire il nuovo reparto. La scelta è quindi ricaduta su un'area di circa 30m<sup>2</sup>, precedentemente utilizzata come supermarket in cui si effettuava il picking dei componenti per il cablaggio del quadro elettrico (fase CQE, **Paragrafo 4.1.2**) da parte dell'asservitore di linea (**Figura 5.1**)<sup>31</sup>.



**Figura 5.1: Planimetria del Supermarket CQE prima del suo trasferimento nel magazzino interrato (Fonte interna MEHITS)**

Quest'area è localizzata tra Linea 6 e Linea 5, e risulta strategica sotto due punti di vista:

- Le operazioni svolte sulle tubazioni in rame sono da sempre parte della mansione del frigorista e quindi eseguite in linea: il contatto e la visione del finitore sul lavoro di saldobrasatura eseguito nella postazione impianto frigo (IMF) da parte dei frigoristi è sicuramente di notevole aiuto, soprattutto per la possibilità di ottenere da loro un consulto rapido in caso di perplessità o dubbi;
- L'area si predispone come il naturale proseguimento del flusso dei carrelli delle tubazioni in rame: collocandosi in prossimità delle linee produttive

<sup>31</sup> Il supermarket CQE è stato a sua volta trasferito in un'area situata nel magazzino interrato a seguito ad una settimana Kaizen, in cui ha mantenuto la medesima funzione. Certamente, la strada percorsa dall'asservitore è maggiore, ma l'utilizzo del montacarichi facilita nettamente le operazioni di approvvigionamento delle postazioni interessate.



non si generano movimentazioni superflue dei carrelli (muda) e si riduce lo spazio percorso dall'asservitore della fase impianto frigo;

Successivamente è stato svolto un lavoro di misurazione dell'area occupata dalle attrezzature che sarebbero state installate all'interno del reparto<sup>32</sup>, in particolare:

- **Banco di misura:** per le operazioni di misurazione dei tratti iniziali e finali delle tubazioni, con l'individuazione della corretta sezione di taglio e il segno della posizione delle eventuali lavorazioni aggiuntive descritte al **Paragrafo 4.2.1**. A supporto dell'operatore, la presenza di un PC con collegamento ad Internet per visionare i disegni delle tubazioni caricate su PDM.
- **Banco di lavoro:** per le operazioni di foratura delle tubazioni in rame. Il banco doveva quindi ospitare diversi utensili: morsa, avvitatore, punte da trapano (da 4,5 e 8mm)<sup>33</sup> e T-Drill.
- **Tagliatubi orbitale:** in sostituzione del tradizionale tagliatubi manuale è stato progettato, assieme ad un fornitore noto all'azienda, un tagliatubi orbitale a funzionamento elettrico e pneumatico (**Figura 5.2**). In questo modo, si riduce di molto l'affaticamento dell'operatore: il taglio manuale dei tubi rappresenta l'attività più gravosa dal punto di vista muscolo-scheletrico.



**Figura 5.2: Tagliatubi orbitale elettrico** (Fonte interna MEHITS)

---

<sup>32</sup> Le attrezzature descritte successivamente erano già naturalmente presenti in azienda, "cannibalizzate" dalle aree in cui erano precedentemente localizzate: non è stato necessario alcun investimento iniziale, salvo il caso del tagliatubi orbitale elettrico.

<sup>33</sup> Sono necessari pre-fori con punta da 4mm per il T-Drill (foro per boccola da 1/2") e Flow Drill (foro per boccola da 1/4"), mentre le punte da 5 e 8mm per le prese di pressione.

- **Macchina per espansioni/rastremature:** precedentemente collocata in reparto piegatubi, consente di espandere e rastremare componenti in rame con precisione al decimo di millimetro (**Figura 5.3**). Oltre alla semplice bicchieratura dell'estremità per consentire l'accoppiamento maschio-femmina dello stesso diametro, il macchinario può effettuare una rastrematura, ovvero ridurne il diametro per favorirne l'ingresso in un determinato componente del circuito frigorifero, come valvole termostatiche o filtri<sup>34</sup>.



**Figura 5.3: Macchina per espansioni/rastremature (sinistra) ed esempio di componente rastremato (destra)** (Fonte interna MEHITS)

- **Trapano a colonna Flow Drill:** come descritto al **Paragrafo 4.2.2**, è utilizzato per i fori per le boccole da 1/4". Si tratta dell'unica lavorazione comune a tutte le famiglie di unità: per quelle per cui non è disponibile il piping disegnato a PDM, la posizione dei fori è consultabile da foto archiviate all'interno di un Dox (**Figura 5.4**).



**Figura 5.4: Esempio di DOX per una serie di famiglie di unità, contenente foto delle tubazioni da forare** (Fonte interna MEHITS)

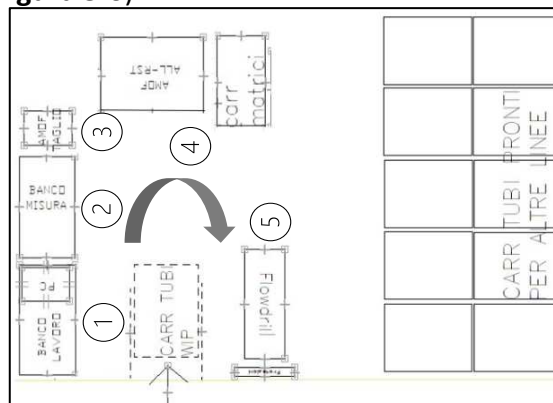
Una volta individuate e misurate le attrezzature necessarie, il passo successivo è stato quello di inserirle all'interno dell'area dell'ex supermarket CQE *nel modo*

<sup>34</sup> L'esigenza della rastrematura nasce dalla presenza sul mercato di fornitori di componenti con sistema metrico in pollici ("): questo comporta l'adattamento di alcune tubazioni con lavorazioni di rastrematura ed espansioni particolari in millimetri (mm).

*più efficace possibile*: fin dall'inizio c'è stata la consapevolezza del limitato spazio a disposizione, ma ciò non doveva assolutamente influire sui movimenti dell'operatore e dei materiali all'interno del reparto. Utilizzando quindi un software grafico 2D (Solid Edge<sup>R</sup>) sono state create diverse possibili alternative di layout: lo spirito motrice è stato sempre quello della configurazione di un *layout a cella*, ovvero con le attrezzature disposte secondo il ciclo tecnologico della finitura del tubo:

1. Segno delle lavorazioni
2. Taglio delle estremità
3. Fori per prese di pressione e boccole da ½"
4. Espansione/rastrematura
5. Flow Drill<sup>35</sup>

Il layout a cella possiede due caratteristiche importanti, ritenute essenziali per il funzionamento del reparto: il flusso a pezzo singolo (*one-piece flow*) e l'*overlapping*. Infatti, all'interno della cella verrà lavorato un tubo alla volta, senza accumuli di scorte, il quale potrà necessitare di tutte o solo alcune lavorazioni presenti all'interno del reparto: basterà semplicemente saltare una o più postazioni di lavoro (overlap) e fermarsi in quella richiesta. Il layout inizialmente valutato come miglior alternativa<sup>36</sup> (**Figura 5.5**) soddisfaceva i due requisiti sopra riportati e quindi l'operazione successiva è stata quella di riprodurre la disposizione delle macchine e dei banchi di lavoro con nastro carta, in maniera tale da rendersi conto degli ingombri reali e degli spazi per la movimentazione (**Figura 5.6**).



**Figura 5.5: Layout iniziale del reparto finitura tubi (FTB)** (Fonte interna MEHITS)

<sup>35</sup> Questa lavorazione è necessariamente effettuata come ultima: provoca un forte riscaldamento localizzato del tubo e sarebbe pericoloso il maneggiamento per altre operazioni successive;

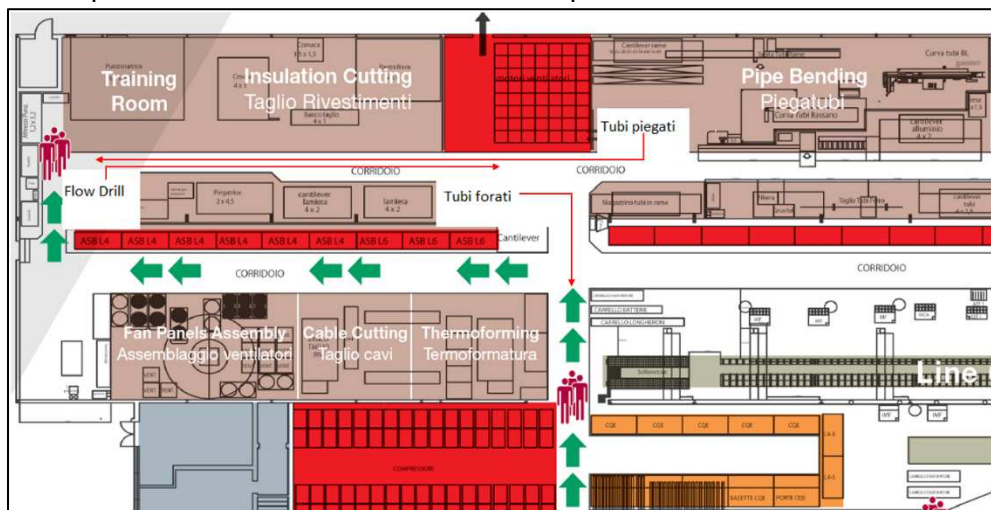
<sup>36</sup> La prima proposta di layout, come si vedrà all'interno dei capitoli successivi, non sarà quella definitiva: attraverso l'applicazione di tecniche di riduzione degli sprechi ed efficientamento di processo, è stato necessario riposizionare alcune attrezzature, cambiando di conseguenza il layout del reparto;



**Figura 5.6: Valutazione degli ingombri delle attrezzature mediante l'applicazione di nastro carta nel nuovo reparto (Fonte interna MEHITS)**

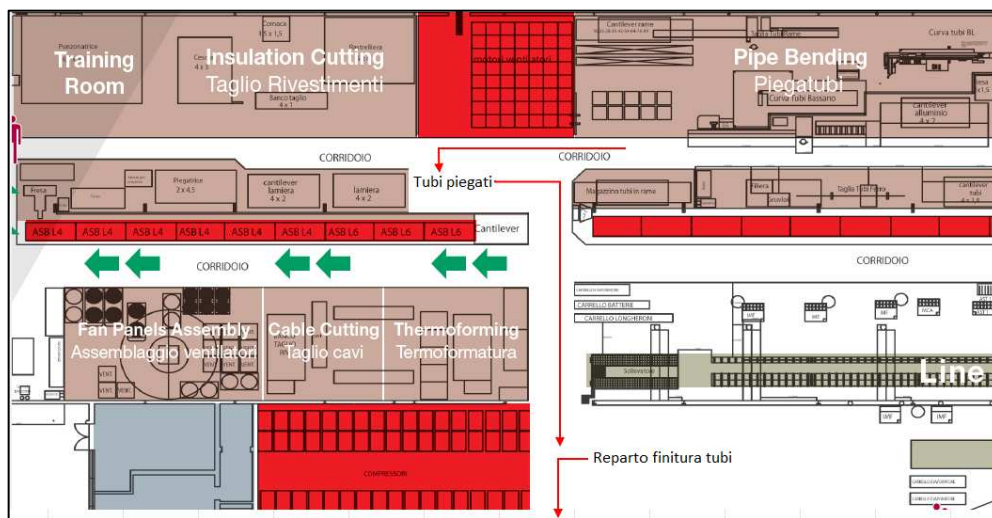
Infine, è stato effettuato un confronto tra lo stato attuale (as-is) e futuro (to-be) del flusso dei carrelli delle tubazioni in rame:

- Stato attuale:** come descritto all'interno del **Paragrafo 4.2.2**, i carrelli delle tubazioni in rame piegate provenienti dal reparto piegatubi vengono trasportati davanti al trapano a colonna *Flow Drill* situato di fronte alla Dojo Room, nell'angolo ovest dell'area reparti. Una volta forate le tubazioni di mandata ed aspirazione, esse vengono riposte all'interno del carrello e quest'ultimo viene movimentato e parcheggiato nell'area libera tra il reparto piegatubi ed il reparto di termoformatura gusci, pronto ad essere trasportato nella postazione IMF dall'asservitore. In **Figura 5.7** è riportato il flusso dei materiali *as-is* in pianta:



**Figura 5.7: Flusso di movimentazione dei carrelli dei tubi nello stato attuale *as-is* (Fonte interna MEHITS)**

- Stato futuro:** con l'introduzione del nuovo reparto, e lo spostamento del Flow Drill al suo interno, la movimentazione dei carrelli di fronte alla Dojo Room non è più necessaria. L'area precedentemente utilizzata per i carrelli contenenti i tubi forati ospiterà invece i carrelli con i tubi piegati, i quali verranno trasportati e lavorati nel reparto di finitura. Una volta completata la finitura dell'ultima tubazione, il carrello verrà riposto in un nuovo "parcheggio" adiacente. È importante fin da subito distinguere che *i carrelli, a seconda della famiglia di prodotto di appartenenza, seguiranno cicli di lavoro totalmente differenti*: le unità individuate nel **Paragrafo 4.3**, ovvero BN1, BN3, BU2, BU3, e BU4 subiranno tutte le lavorazioni indicate nelle tavole CAD caricate su PDM (taglio a misura, espansione/rastrematura, forature), mentre per le restanti unità il ciclo di lavoro sarà analogo al precedente, ovvero caratterizzato dai soli fori per le boccole da 1/4". Dalla **Figura 5.8** è immediato constatare come lo stato futuro consenta un flusso dei carrelli più lineare e di conseguenza minori spostamenti da parte dell'operatore:



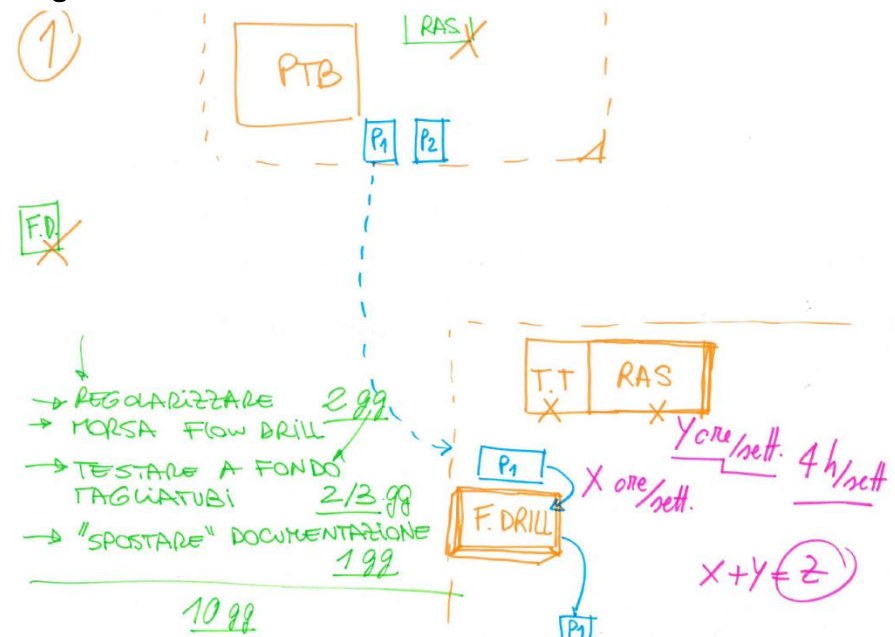
**Figura 5.8: Flusso di movimentazione dei carrelli dei tubi nello stato futuro to-be**  
(Fonte interna MEHITS)

## 5.2 Il piano di implementazione della finitura tubi

Dato il radicale cambiamento di processo nel flusso dei carrelli delle tubazioni in rame, è risultato necessario seguire un'estensione della finitura del tubo "a step": in comune accordo con il responsabile dell'ufficio Continuous Improvement (ovvero il mio tutor) e il Manufacturing Manager è stato programmato di suddividere l'avviamento del reparto in quattro distinte *milestone* di progetto:



### 5.2.1 Spostamento delle attrezzature, redazione della procedura di utilizzo della nuova tagliatubi orbitale e verifica del lead time di approvvigionamento



**Figura 5.9: Rappresentazione concettuale e visiva della milestone n°1** (Fonte interna MEHITS)

In questa prima fase (**Figura 5.9**) in cui non è stata effettuata la finitura di alcun ordine di produzione, gli obiettivi sono stati quelli dello spostamento delle attrezzature previste nel reparto, al fine di dare continuità alla lavorazione Flow Drill, e la redazione della procedura di utilizzo per la nuova tagliatubi orbitale ad azionamento elettrico, progettata in collaborazione con un fornitore dell'azienda. Infatti, prima di introdurre un nuovo macchinario o processo produttivo, risulta necessario testarlo a fondo, in maniera tale da rivelarne anticipatamente eventuali criticità<sup>37</sup>. Un'ulteriore importante attività è stata quella di verificare se il lead time di approvvigionamento del carrello delle tubazioni in rame potesse essere mantenuto come nello stato attuale: come anticipato nel **Paragrafo 4.2.2**, il reparto piegatubi, ed in generale tutti gli altri reparti, preparano il materiale necessario per una determinata commessa un giorno in anticipo rispetto alla data di inizio programmata dall'ufficio Logistico<sup>38</sup>, in maniera tale da non causare rallentamenti o fermate dell'unità in linea di assemblaggio. Ciò significa che, considerato che in una situazione ottimale, senza

<sup>37</sup> Taiichi Ohno, all'interno del suo libro più famoso "Lo spirito Toyota", sottolinea più volte l'importanza di redigere sé stessi le procedure di utilizzo e gli standard operativi;

<sup>38</sup> Ovviamente, questa regola è valida fintanto che l'avanzamento delle unità lungo la linea rispetta le tempistiche prefissate: in caso di ritardi per qualunque motivo, sarà compito del gestore portare l'informazione di slittamento delle attività;

manca di materiali e forza lavoro<sup>39</sup>, nelle linee 1,2,3 e 6 sono previste due macchine in partenza giornaliera ciascuna mentre per le linee 4 e 5 (in cui vengono assemblate unità caratterizzate da minor carico di lavoro) dalle due alle tre macchine giornaliere, per la fine dell'orario lavorativo della giornata precedente devono essere disponibili approssimativamente quattordici carrelli di tubi di rame pronti (nella situazione attuale *as-is*, con la sola lavorazione Flow Drill). Questo si verifica attualmente all'interno dell'azienda, grazie alla presenza di tre *piegatubisti*<sup>40</sup> i quali si suddividono i compiti del reparto nella seguente modalità:

- Due operatori si occupano della piegatura delle verghe di rame, e lavorano ognuno su una determinata macchina curvatubi;
- Un operatore rifornisce le due macchine curvatubi, tagliando le verghe alla giusta lunghezza, come indicato nel programma di piega in formato Excel (**Paragrafo 4.2.2**), utilizzando la sega circolare;

Per avere un riscontro matematico della fattibilità di 1 giorno di lead time nella situazione attuale (*as-is*), è possibile dividere il tempo necessario alla piegatura e foratura dei tubi di rame [h/gg] per il tempo disponibile del reparto [h/gg]. Per fare ciò, è possibile estrarre dal file utilizzato per la programmazione settimanale dei reparti le macchine in partenza per una certa data (in questo caso, fine Maggio 2021) ed estrarre la colonna relativa al numero di tubazioni associate ad esse ed il tempo previsto per la lavorazione Flow Drill dell'unità (**Figura 5.10**):

Caratteristica CV_ARCTX	Caratteristica CV_TAG	Data inizio cardine	FLOW DRILL	N. WK	N. Tubi
NX2-G02/K 0515	0515	26/05/2021	19,5	21	19
NX2-G02/K 0424	0424	26/05/2021	19,5	21	20
AW-HT/LN-CA-E 0604	0604	26/05/2021	13,7	21	10
AW-HT/LN-CA-E 0604	0604	26/05/2021	13,7	21	10
NX2-G06-Y 0374P	0374	26/05/2021	13,7	21	22
FGAH 4060 BG2	0604	26/05/2021	7,8	21	32
NECS-ME/D/S 0202	0202	26/05/2021	11,5	21	15
EW-HT/S 0512	0512	26/05/2021	19,5	21	16
NX-W 0802 - 25708	0802	26/05/2021	14,7	21	12
NECS-ME/B 0452 - 25736	0452	26/05/2021	11,5	21	18

**Figura 5.10: Schermata del file di programmazione settimanale dei reparti** (Fonte interna MEHITS)

Dopo aver effettuato alcune rilevazioni sul tempo medio per realizzare un tubo (compreso il taglio della verga) si può procedere al calcolo del *carico di lavoro previsto* nel reparto piegatubi:

$$\text{Carico di lavoro piegatura tubi} = 174 \text{ tubi/gg} \times 4,6 \text{ min/tubo} = 800 \text{ min/gg}$$

<sup>39</sup> A causa della pandemia, purtroppo molte aziende risultano in difficoltà nel reperimento di materiali e, non meno importante, nella disponibilità continuativa della forza lavoro;

<sup>40</sup> Per comodità di scrittura verrà utilizzato questo sostantivo per indicare l'operatore assegnato alla piegatura delle tubazioni in rame;

$$\text{Carico di lavoro Flow Drill} = \sum \text{tempi Flow Drill} = 145 \text{ min/gg}$$

Considerando 3 operatori fissi in reparto piegatubi che lavorano 8 ore al giorno con due pause da 15 minuti ciascuna, è possibile calcolare il *tempo disponibile*:

$$\text{Tempo disponibile} = 3 \text{ op} * 7,5 \text{h} (\text{gg} * \text{op}) * 60 \text{ min/h} = 1350 \text{ min/gg}$$

Infine, si determina la  *saturazione delle risorse*, dividendo il carico di lavoro previsto per il tempo disponibile:

$$\text{Saturazione reparto} = \frac{(800+145) \text{ min/gg}}{1350 \text{ min/gg}} = 0,7$$

Il risultato di 0.7 significa che in media il 70% del tempo a disposizione dell'operatore è utilizzato per la piegatura e la foratura dei carrelli dei tubi: questo significa che a fine turno i carrelli sono pronti ad essere portati in linea per giornata successiva. Le restanti ore lavorative vengono saturate dal taglio e filettatura delle tubazioni idriche in acciaio di produzione interna, e la riparazione delle tirarivetti e tirainseriti guaste provenienti dalle linee. Per l'analisi del mantenimento del lead time di 1 giorno nella situazione futura è importante considerare che, oltre alla lavorazione del Flow Drill, per le famiglie di prodotto con piping disegnato si aggiunge la finitura del tubo: l'obiettivo stavolta non risulta quindi capire se il reparto piegatubi dispone delle ore necessarie a piegare e forare tutti i carrelli per il giorno successivo, bensì *se è in grado di consegnare i carrelli contenenti le tubazioni piegate entro una certa ora*, così da permettere all'operatore di finitura del tubo di lavorarli e renderli disponibili per la giornata successiva. Se ciò non fosse possibile, sarebbe necessario anticipare di una ulteriore giornata la piegatura del tubo, con tre conseguenti implicazioni:

- Aumento di scorte WIP (*work in process*), che rappresentano uno dei sette sprechi di Taiichi Ohno;
- Aumento del numero di carrelli;
- Aumento dello spazio per il parcheggio dei carrelli;

Per verificare circa a che ora il primo carrello potrebbe essere pronto ad essere lavorato dal reparto di finitura tubi, si può procedere in modo analogo al precedente, riprendendo il carico di lavoro della sola piegatura dei tubi, pari a 800 min/gg. Ipotizzando che tutti e tre i piegatubisti inizino alle 8:00 a preparare il kit di tubi piegati, si ottiene:

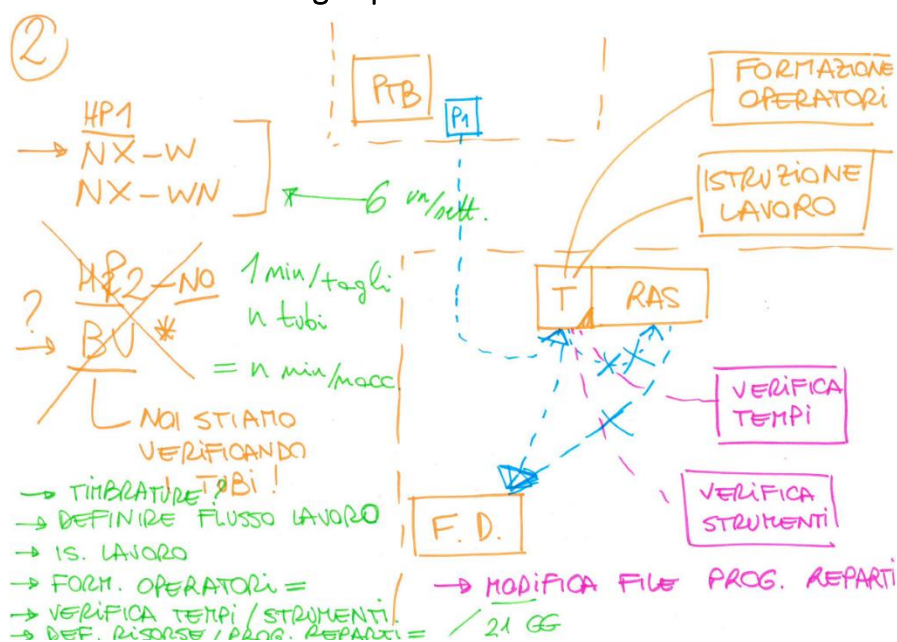
$$\text{Tempo di completamento piegatura tubi} = \frac{800 \text{ min/gg}}{1350 \text{ min/gg}} * 8 \text{h} = 4,75 \text{h}$$

Quindi, considerando che il reparto lavora un diametro alla volta, il primo kit di tubi piegati dovrebbe essere pronto indicativamente attorno alle 13:00. Da una



prima stima del tempo per effettuare la finitura del tubo<sup>41</sup> si può considerare il lead time di 1 giorno ancora valido: anche ponendosi nella situazione peggiore, in cui vi sono solo macchine disegnate in partenza il giorno seguente, le 4 ore rimanenti al reparto di finitura tubi sarebbero sufficienti per coprire almeno le prime unità per ogni linea, mentre le seconde unità saranno completate il mattino seguente<sup>42</sup>. Quindi, almeno in fase di pianificazione, è stato ritenuto senza ragione l'anticipo della piegatura tubi in reparto per le unità disegnate.

## 5.2.2 Introduzione del taglio tubi nella famiglia BN1-BN3, definizione delle timbrature e formazione degli operatori



**Figura 5.11: Rappresentazione concettuale e visiva della milestone n°2** (Fonte interna MEHITS)

Con la seconda fase (**Figura 5.11**) si è deciso di introdurre la prima modifica rispetto al flusso produttivo della situazione attuale: per le unità delle famiglie BN1 e BN3 (**Figura 5.12**) (modello NX-W e NX-WN, chiller e pompe di calore condensate ad acqua), oltre alla lavorazione Flow Drill, le tubazioni contenute all'interno del carrello subiranno anche l'operazione di taglio delle estremità in accordo con le misure riportate nella tavola CAD a monitor.

<sup>41</sup> L'esperienza da ex Team Leader del responsabile dell'ufficio CI ha permesso di attribuire come prima stima del tempo necessario alla finitura del kit di tubazioni in rame di circa 25 minuti per la famiglia BN1 e BN3, e circa 40 minuti per la famiglia BUx: valore che non si discosterà molto dalla realtà;

<sup>42</sup> Come dato approssimativo, si può considerare come situazione standard la "partenza" di due unità al giorno per ogni linea: ciò significa la posa del primo longherone nella fase ASB (assemblaggio basamento) della linea, ovvero la prima postazione di lavoro;



**Figura 5.12: Unità condensata ad acqua modello NX-W o NX-WN e il suo circuito frigorifero** (Fonte: www.melcohit.com)

La scelta di applicare il processo di taglio dei tubi inizialmente a questa famiglia di prodotto risiede nella relativa semplicità del suo circuito frigorifero. Esso, infatti, generalmente è composto da un kit contenente non più di una decina di tubazioni di diametro non elevato<sup>43</sup>, al fine di:

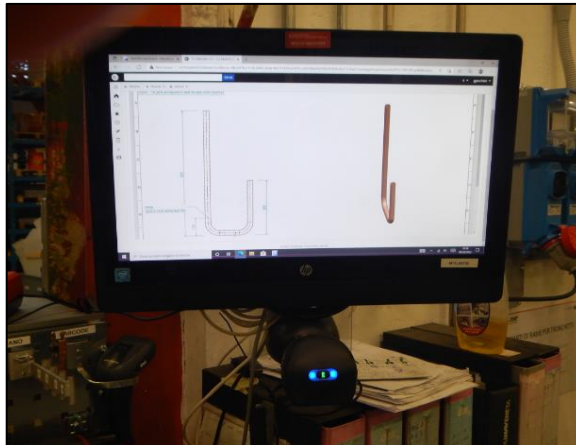
- Addestrare/formare l'operatore nella gestione del nuovo flusso produttivo, nella lettura dei disegni tecnici delle tubazioni e nel taglio mediante la nuova tagliatubi orbitale;
- Verificare e stimare i tempi di lavorazione del taglio dei tubi al fine di modificare la programmazione settimanale delle risorse impiegate nei reparti;

L'operatore, quindi, preleva il carrello contenente il kit dei tubi piegati dall'area di parcheggio carrelli di fronte al reparto PTB (**Paragrafo 5.1**), lo posiziona all'interno del reparto di finitura e, solo nel caso in cui l'unità appartenga alle famiglie di prodotto BN1 e BN3<sup>44</sup> procederà nel portare a misura i tubi ed effettuare i fori per le boccole da ¼" (per tutti gli altri carrelli, il flusso produttivo rimane invariato). Per l'operazione di taglio e foro per le boccole l'operatore ha a disposizione un tablet andon<sup>45</sup> con connessione al portale PDM in cui può visualizzare le tavole delle tubazioni contenute nel carrello (**Figura 5.13**), riportate nel programma di piega che viaggia con esso dentro l'apposita tasca.

<sup>43</sup> Il numero di tubazioni ed il loro diametro dipende dal numero di circuiti della macchina (legato a sua volta dal numero di compressori) e dalla potenza frigorifera che sviluppa la macchina. In generale, comunque, queste unità prevedono un numero di tubazioni decisamente inferiori rispetto alle BUx (NX2) con all'incirca 10-15 tubi per carrello;

<sup>44</sup> Come descritto all'interno del **Paragrafo 4.2.2**, la commessa dell'unità viaggia all'interno della tasca del carrello: sul foglio sono riportate tutte le informazioni della macchina, in particolare famiglia, modello e taglia;

<sup>45</sup> Nelle prossime pagine verrà spiegato nel dettaglio la funzionalità dell'andon;



**Figura 5.13: Tablet per la visualizzazione delle tavole dei tubi del circuito frigo** (Fonte interna MEHITS)

Digitando il codice dei diversi tubi all'interno del portale verrà visualizzata la relativa tavola, contenente le quote di taglio e le eventuali lavorazioni aggiuntive e, mediante delle stecche metriche installate sugli angoli del banco di misura, con un pennarello si riportano le sezioni di taglio delle estremità del tubo e la posizione dei fori (**Figura 5.14**).



**Figura 5.14: Banco di misurazione e segno delle tubazioni** (Fonte interna MEHITS)

Successivamente si troncano le estremità utilizzando la tagliatubi orbitale (**Figura 5.15**), si effettua il/i foro/i da  $\frac{1}{4}$ " e si riposiziona il tubo all'interno del carrello, contrassegnando la riga del programma di piega relativa al codice lavorato, in maniera tale da verificare la lavorazione dell'intero kit.



**Figura 5.15: Taglio della tubazione in rame con tagliatubi orbitale** (Fonte interna MEHITS)

È importante sottolineare che l'operatore, una volta giunto di fronte all'area di parcheggio dei carrelli tubi piegati, non prende in carico il kit di una unità in maniera casuale: inseguendo la logica del JIT (*Just In Time*) l'obiettivo è quello di rendere disponibile il carrello alla fase impianto frigo né in ritardo, né con troppo anticipo. Ad inizio del suo turno lavorativo, la prima attività del finitore è quella di verificare lo stato di avanzamento delle macchine nelle varie linee e riportare il tutto su una *tabella di programmazione* (Figura 5.16).

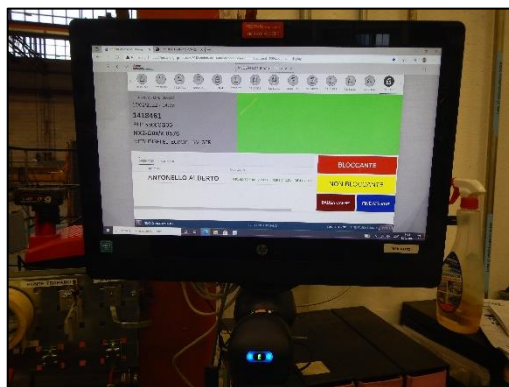
Programmazione FTB						
Data	LINEA 1 □	LINEA 2 ○	LINEA 3 ⬡	LINEA 4 ▭	LINEA 5 ⬠	LINEA 6 △
IN BASAMENTO						
Priorità 1	N°	N°	N°	N°	N°	N°
	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia
Priorità 2	N°	N°	N°	N°	N°	N°
	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia
Priorità 3	N°	N°	N°	N°	N°	N°
	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia

**Figura 5.16: Tabella di programmazione unità del reparto di finitura tubi** (Fonte interna MEHITS)

Le tre righe di priorità vengono compilate dal reparto piegatubi il giorno precedente, e rispecchiano la programmazione fornita dal gestore e dalla logistica (**Paragrafo 4.1.1**): ogni unità è contrassegnata da un bollino di geometria diversa<sup>46</sup> applicato sull'ordine di lavoro e contenente un numero progressivo univoco (solitamente compreso tra 1 e 200, fino ad esaurimento e conseguente reinizio del giro) il quale indica l'ordine di partenza sulle varie linee.

<sup>46</sup> Il bollino di forma quadrata indica che l'unità verrà assemblata in Linea1, cerchio se in Linea 2 e via dicendo, come riportato in **Figura 5.15**;

Queste corrispondono ai carrelli che potenzialmente dovrebbe essere disponibili alle linee il giorno seguente e che il reparto di finitura deve lavorare. L'operatore del reparto di finitura tubi ha il compito di compilare la prima riga, scrivendovi il numero progressivo dell'unità in fase ASB (basamento): si tratta della fase tecnica che precede l'impianto frigo e, in combinazione con le righe sottostanti, permette di individuare immediatamente quale carrello deve essere lavorato per primo, per secondo, per terzo e così via<sup>47</sup>. Chiaramente, andranno presi in carico per primi i carrelli di una stessa riga, in maniera tale da non bloccare nessuna linea e successivamente si passerà a quelli della riga sottostante, fino ad esaurire i carrelli contenenti i tubi piegati. Un altro aspetto fondamentale nell'introduzione della lavorazione di taglio delle estremità delle tubazioni riguarda le *timbrature*: all'interno di M11 ogni postazione di lavoro è caratterizzata dalla presenza di un *andon* (Figura 5.17).



**Figura 5.17: Schermata di timbratura di una commessa su tablet andon del reparto FTB**  
(Fonte interna MEHITS)

Si tratta di un tablet touch screen (analogo a quello di **Figura 5.13**) in cui l'operatore "timbra la commessa", ovvero segnala al gestionale l'orario di inizio e fine lavorazione di una specifica fase tecnica dell'unità, in relazione alla postazione in cui opera e, in caso di insorgenza di anomalie di qualsiasi tipo, può segnalarle inserendo la sua casuale (come progettazione, asservimento...) ed una descrizione in formato testuale, così da renderle visibili ed attivarne la risoluzione da parte degli enti di competenza. Ogni andon, in funzione della sua posizione lungo la linea, è impostato per timbrare le commesse in determinate fasi tecniche (**Paragrafo 4.1.2**): ad esempio, nella prima postazione di linea, adibita all'assieme delle carpenterie che costituiscono lo scheletro della macchina, la timbratura dell'operatore andrà ad incidere sulla fase ASB (per la posa e la rivettatura dei longheroni) e sulla fase IMF (per la posa degli

<sup>47</sup> Consideriamo il caso in cui in basamento di Linea 1 sia presente la macchina con progressivo numero 51 ed in linea 2 con progressivo numero 84. Se nell'area di parcheggio dei carrelli con tubi piegati si ha una unità di Linea 1 con progressivo numero 55 ed una unità di Linea 2 con progressivo numero 86, il carrello da lavorare con priorità più alta sarà quello di Linea 2, essendoci già  $(55-51=4)$  carrelli pronti per le Linea 1 e solo  $(86-84=2)$  carrelli pronti per Linea 2;

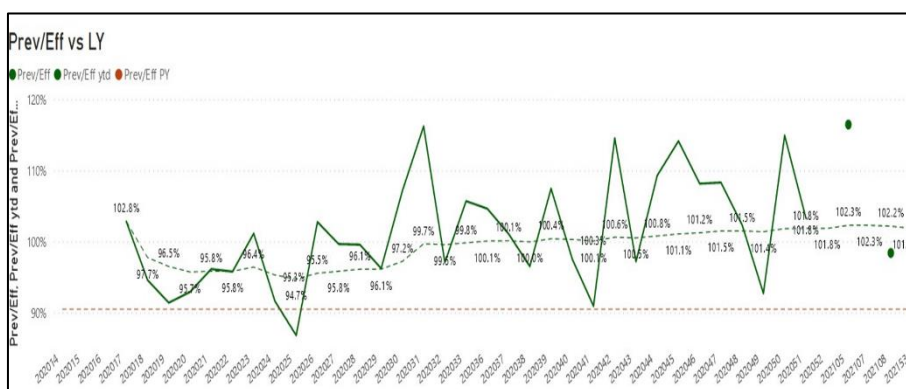
scambiatori a piastre e fascio tubiero). La somma di tutte le timbrature di una specifica fase tecnica relative ad una commessa andranno a determinare il *tempo effettivo di fase*:

$$\text{Tempo effettivo di fase} = \sum \text{Timbrature fase}$$

Il confronto con il *tempo previsto di fase* (ovvero un tempo associato a ciascuna fase tecnica dell'unità in base a rilievi passati) individua il *rendimento operativo di fase*:

$$\text{Rendimento operativo di fase} = \frac{\text{Tempo previsto di fase}}{\text{Tempo effettivo di fase}}$$

Più questo risultato si avvicina al 100% (o ancora meglio, lo supera) più significa che la fase tecnica ha performato bene. Al contrario, una riduzione del rendimento operativo indica che nel ciclo di lavoro dell'unità sono state riscontrate difficoltà (che possono essere di natura tecnica ma anche gestionale) e sorgono quindi opportunità di miglioramento. Questi due parametri (tempo effettivo e rendimento) saranno utilizzati come *marker* per tenere traccia dei benefici (o svantaggi) dello spostamento della finitura delle tubazioni fuori linea (**Figura 5.16**): trattandosi di operazioni precedentemente eseguite nelle postazioni di brasatura del circuito frigo, l'andon del reparto FTB è stato configurato per timbrare la fase tecnica IMF delle commesse delle macchine che subiranno il ciclo di lavoro della finitura del kit.

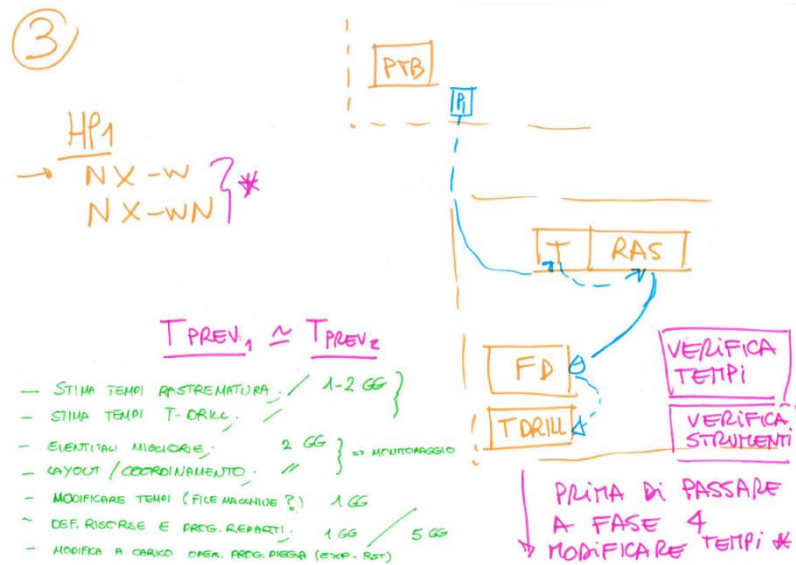


**Figura 5.16: Grafico che riporta il trend settimanale del rendimento operativo di una determinata famiglia di prodotto (Fonte interna MEHITS)**

L'operatore quindi, una volta estratto l'ordine di lavoro dalla tasca del carrello appena trasportato in reparto, timbra la commessa attraverso il lettore di codici a barre dell'andon e la chiude con l'inizio della lavorazione del successivo carrello.



### 5.2.3 Finitura completa delle famiglie BN1-BN3



**Figura 5.17: Rappresentazione concettuale e visiva della milestone n°3** (Fonte interna MEHITS)

L'inizio della terza fase (**Figura 5.17**) ha avuto inizio con l'inserimento nel ciclo di lavoro di finitura del tubo delle rimanenti operazioni: allargatura/rastrematura, fori per prese di pressione e fori per bocche da ½" (**Figura 5.18**).



**Figura 5.18: Foratura per prese di pressione (sinistra) ed espansione (destra)** (Fonte interna MEHITS)

Questo significa che in linea il kit frigorifero è pronto per essere sottoposto solamente ad operazioni di saldobrasatura. Rispetto allo step precedente, quindi, è stato necessario predisporre tutta l'attrezzatura mancante seguendo il principio delle 5S, ovvero "un posto per ogni cosa, ogni cosa al suo posto". (**Figura 5.19**)



**Figura 5.19: Strumenti e materiali per la finitura del tubo** (Fonte interna MEHITS)

Certamente, il carico di lavoro è notevolmente aumentato, e questa fase è stata preziosa per la *verifica dei tempi delle singole lavorazioni* in vista dell'introduzione all'interno del reparto di finitura della famiglia BU. Ogni operazione di finitura è stata tempificata al fine di riuscire ad ottenere una stima il più accurata possibile delle ore/uomo da assegnare al reparto ogni settimana. Per verificarne la correttezza, è stato confrontato il tempo timbrato sull'andon dall'operatore per completare una unità e quello previsto<sup>48</sup>, ottenuto moltiplicando ogni singola operazione di finitura per la sua durata teorica: come si vede in **Figura 5.20**, lo scarto tra timbrato e previsto per una unità a 2 compressori non è rilevante: 40 minuti contro 38 minuti.

Stima tempi NX-W										
FAM/TAGLIA	N° Tubi	min/misurazione	n° tagli	min/tgl	n° setup TT	min/setup TT	n° EXP	min/EXP	n°setup EXP	min/setup EXP
BN1	NX-W 0152	11	2	3	0,5	2	3	0,5	2	2
BN1	NX-W 0402	12	2	5	0,5	2	3	1	0,5	2
		n° RST	min/RST	n° setup RST	min/setup RST	n° TD	min/TD			
		0	0,5	0	2	1	2			
		0	0,5	0	2	1	2	T.Finitura 2C [min]	38	
C.I.D.	Data timbratura	Ordine	Descrizione ODP			Ora Inizio Andon	Ora Fine Andon	Taglia	Minuti	T.Tot FTB [min]
800544	13/12/2021	1405028	NX-W 0182			08:58:22	09:35:31	182	37	40,00
800544	13/12/2021	1405028	NX-W 0182			09:45:31	09:49:13	182	3	40,00

**Figura 5.20: Confronto tra tempi previsti (sopra) ed effettivi timbrati (sotto) di una unità NX-W 2 compressori** (Fonte interna MEHITS)

Si è quindi deciso di seguire questo metodo di programmazione del carico di lavoro per il reparto di finitura: il rapporto tra il totale delle ore stimate dalla somma delle macchine che effettuano il ciclo di finitura e il tempo lavorativo settimanale dell'operatore<sup>49</sup> fornisce il numero di teste necessario al reparto per il completamento dei carrelli.

$$\text{N° Operatori} = \frac{\text{Tempo previsto di lavoro}}{\text{Ore lavorative settimanali}}$$

<sup>48</sup> Le lavorazioni necessarie per il kit di tubi sono state ricavate passando in rassegna tutte le tavole che compongono il circuito frigorifero dell'unità;

<sup>49</sup> Tempo pari a 37,5h, ottenuto sottraendo le due pause giornaliere di 15 minuti alle 8 ore lavorative, moltiplicate per 5 giorni settimanali;

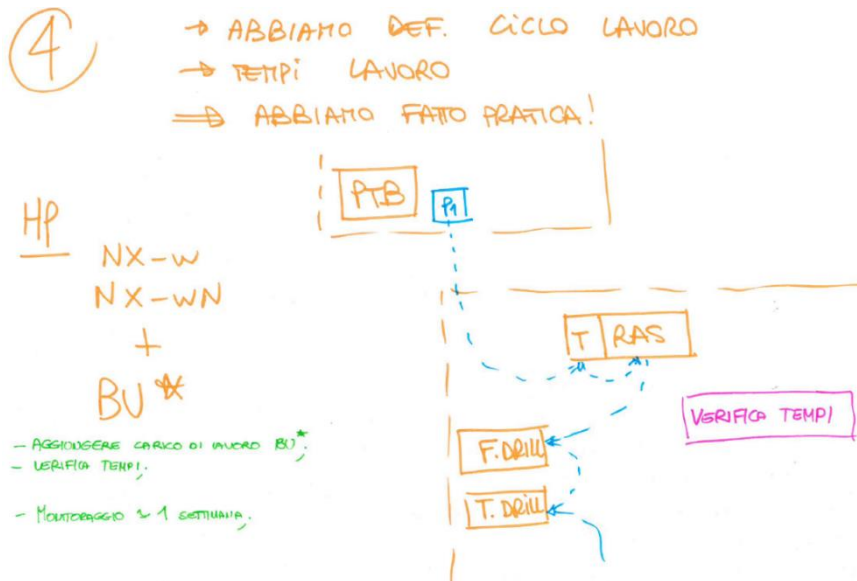


Infine, l'inserimento del numero di operatori previsti all'interno di un cruscotto settimanale (**Figura 5.21**) permette al Team Leader dei reparti di gestire le risorse al meglio, allocando gli operatori disponibili nei vari reparti in base al relativo carico.

WK37	PRC	ASV	RIV	FIL	PTB	TFG	Flow Drill	Kanban Rast	Finitura Tubi	Saldataura boccole	
H gg	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
N gg Lav	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Somma di Td. Prev PRC	Somma di Td. Prev ASV	Somma di Td. Prev RIV	Somma di Td. Prev FIL	Somma di Td. Prev PTB	Somma di Td. Prev TFG	Somma di Td. Prev Flow Drill	Somma di Td. Raccorderia codificata	Somma di Td. Finitura Tubi	Somma di Td. Saldataura boccole 1/4" e 1/2"	
Da Programmazione:				20,0		17,7					
kanban LN05-LN05						11,0		BN1	7		
kanban LN03						3,0		BN3	0		
Cusco aspirazione BG3/B04						0,0		BU2	3		
guasi compressori					50	6,0		BU3	6		
								BU4	6		
Kanban e pezzi vari								BG Light	2		
Attivar' extra			5,00					BR1	0		
n. totali NEW	68,8	43,4	26,2	20,0	77,3	37,7	13,2	2,3	28,7	25,6	TOT
n. Produzione											
n. KanBan											
n Operatori NEW	1,8	1,2	0,7	0,5	2,1	1,0	0,4	0,1	0,8	0,7	8,7
	PRC	ASV	RIV	FIL	PTB	TFG	Flow Drill	Kanban Rast	Finitura Tubi	Saldataura boccole	
	1,8	1,2	0,7	0,5	2,1	1,0	0,4	0,1	0,8	0,7	8,7

**Figura 5.21: Cruscotto settimanale dei reparti. In azzurro, la casella relativa agli operatori previsti in finitura tubi (FTB) (Fonte interns MEHITS)**

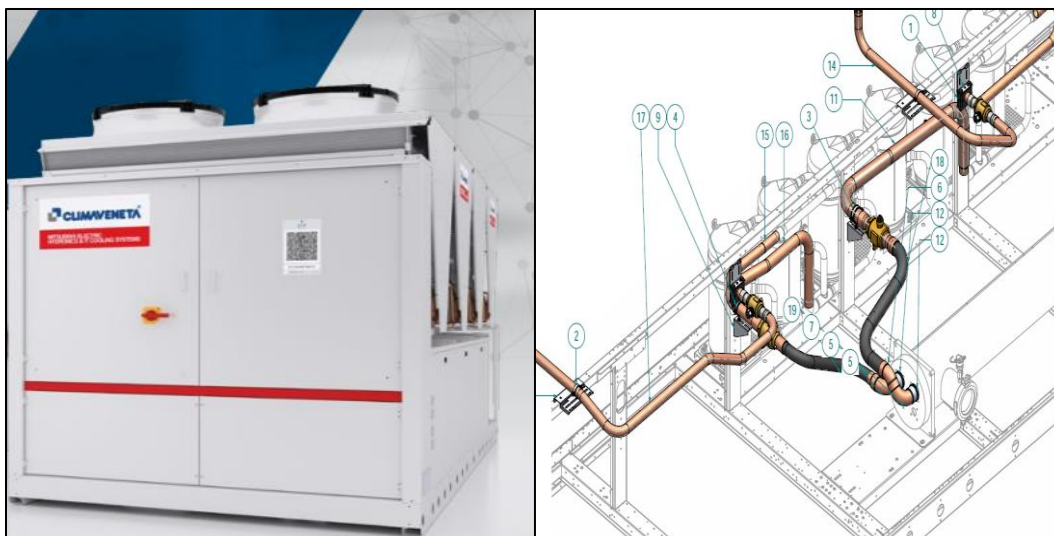
#### 5.2.4 Introduzione delle famiglie BU2-3-4 ed avviamento definitivo del reparto



**Figura 5.22: Rappresentazione concettuale e visiva della milestone n°4 (Fonte interna MEHITS)**

Una volta che il ciclo di lavoro è stato definito e l'operatore ha acquisito le competenze nell'esecuzione di tutte le lavorazioni svolte all'interno del reparto, è stato possibile eseguire la finitura del tubo anche per gli NX2 (famiglia BU2-BU3-BU4) (**Figura 5.22**). Si tratta di chiller a 2,4 o 8 compressori condensati ad aria e con evaporatore a fascio tubiero oppure a piastre, in cui la taglia e le

potenze frigorifere in gioco (e di conseguenza le dimensioni fisiche della macchina) sono decisamente maggiori rispetto ai NX-W<sup>50</sup> (Figura 5.23).



**Figura 5.23: Unità condensata ad aria modello NX2 e il suo circuito frigorifero (Fonte interna MEHITS)**

All'interno di questa ultima fase di avviamento del reparto di finitura tubi si è svolta l'operazione di monitoraggio dei tempi di lavoro ma soprattutto *l'utilizzo di strumenti della gestione snella dei processi per l'efficientamento e la riduzione degli sprechi al suo interno*: come si vedrà all'interno del prossimo capitolo, la loro applicazione ha permesso un notevole miglioramento delle performance di processo, sia in termini di riduzione del tempo di lavorazione, sia in termini di abbattimento degli scarti di rame dal taglio dei tubi.

---

<sup>50</sup> Per queste unità, il kit del circuito frigorifero può arrivare anche a 30-35 tubazioni in rame;

## 6. IL MIGLIORAMENTO CONTINUO DEL PROCESSO DI FINITURA TUBI

All'interno di questo capitolo viene descritto l'utilizzo di alcuni tra i più importanti strumenti del Lean Management: il Work Sampling e l'Ishikawa Chart. La loro applicazione al reparto di finitura tubi (e non solo, come si vedrà più avanti) ha permesso di abbattere in maniera drastica gli sprechi legati alle attività non a valore nel processo di finitura, come la ricerca di materiali ed informazioni, ed anche quelli legati agli scarti provenienti dal taglio delle estremità delle tubazioni in rame, in alcuni casi totalmente eliminati. Ciò è stato possibile grazie al re-layout e la modifica del flusso di lavoro del reparto stesso, oltre che l'individuazione dei parametri della macchina curvatubi ed il loro trasferimento all'interno del file excel per la creazione dei programmi di piega delle unità.

## 6.1 Il Work Sampling

Successivamente all'avvio del reparto e all'introduzione dei modelli NX2 nel processo di finitura tubi, è stata effettuata una *profonda analisi del metodo e del flusso di lavoro*: nell'ottica del miglioramento continuo e della riduzione degli sprechi si è rivelato fondamentale l'utilizzo del **Work Sampling**. Si tratta di una tecnica basata sull'osservazione e sul campionamento delle attività svolte dall'operatore in maniera tale da ricavare una stima della percentuale del tempo che dedica ad una determinata attività che può essere:

- A valore aggiunto;
- A basso valore aggiunto;
- Non a valore aggiunto;

In accordo con i 7 sprechi di Taiichi Ohno (**Paragrafo 2.7**) le attività a valore aggiunto sono quelle per cui il cliente è disposto a pagare, nel nostro caso, il chiller o la pompa di calore. Nello specifico, per quanto riguarda il reparto di finitura tubi, le attività che aggiungono valore al prodotto saranno solo il taglio delle estremità delle tubazioni, le forature e le espansioni/rastremature. Le restanti azioni compiute dall'operatore, come il set-up delle macchine oppure la ricerca delle tavole a portale avranno basso oppure non valore aggiunto. Con il Work Sampling si riesce quindi a "scomporre" in fette il tempo totale dell'operatore suddividendolo nelle categorie elencate in precedenza: per fare ciò è necessario un numero ragionevole di osservazioni sul campo. Dal punto di vista statistico è possibile calcolare questo numero sfruttando le leggi della Gaussiana normalizzata<sup>51</sup> ed indicando con:

- n: Numero di osservazioni;
- p': È la percentuale del tempo in cui l'operatore svolge il lavoro oggetto dell'indagine;
- q': È la percentuale del tempo in cui l'operatore non svolge il lavoro oggetto dell'indagine (1-p');
- z: coefficiente della deviazione standard per un determinato livello di confidenza;
- Δ: Errore che si ammette nell'analisi;

Ponendo z pari a 2 (maggiormente utilizzato nella statistica inferenziale), la probabilità vera (p) che l'operatore stia realmente eseguendo il task in analisi, nel 95,4% dei casi è compresa tra due estremi, denominati **limiti inferiori e superiori di confidenza**:

$$Prob \{Lower\ confidence\ level \leq p \leq Upper\ confidence\ level\} \cong 95,4\%$$

---

<sup>51</sup> Daria Battini, Università degli Studi di Padova, *Corso di Impianti Industriali*, 2020;

$$\text{Lower confidence level} = p' - z \cdot \sqrt{\frac{p' \cdot q'}{n-1}};$$

$$\text{Upper confidence level} = p' + z \cdot \sqrt{\frac{p' \cdot q'}{n-1}};$$

$$\Delta = z \cdot \sqrt{\frac{p' \cdot q'}{n-1}};$$


È possibile quindi ricavare il numero n di osservazioni tali da ottenere il livello di confidenza scelto utilizzando l'ultima formula:

$$n = \frac{z^2 \cdot p' \cdot q'}{\Delta^2} + 1$$

Nel nostro caso, p' sarà prossima al 100%, siccome l'operatore svolge operazioni di finitura tubi durante tutto l'arco della giornata. Z è stato posto pari a 2, mentre si è scelto di ammettere un errore Δ pari al 5%. Con questi dati, si ottiene:

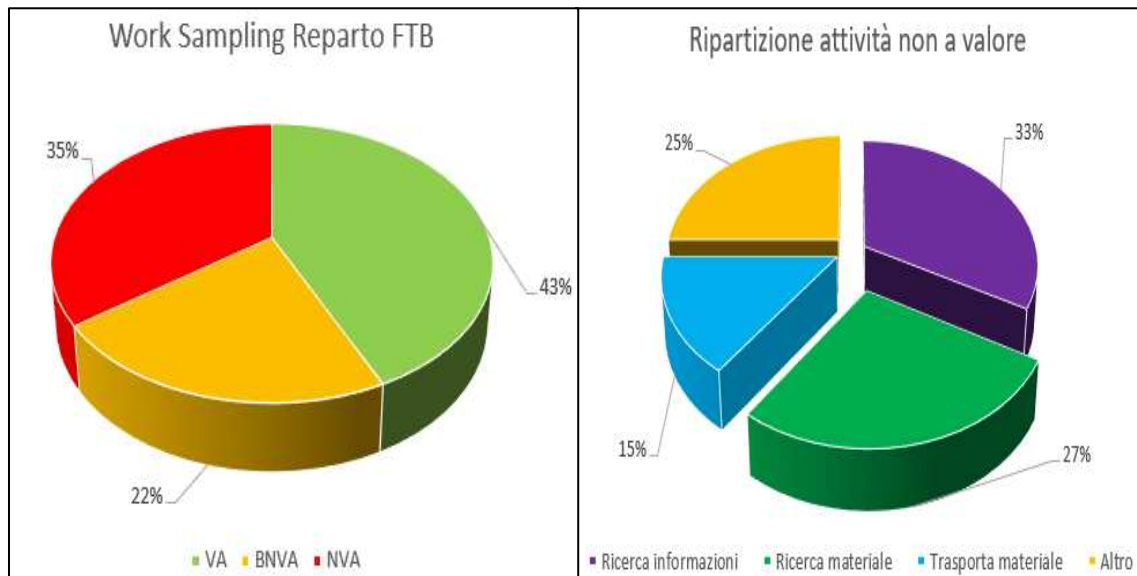
$$n = \frac{2^2 \cdot 1}{0,046^2} + 1 = 1891$$

Ovviamente, un numero così elevato di osservazioni non è stato gestibile: più ci si avvicina a questo numero e minore sarà l'errore commesso. Tuttavia, questo comporta un maggior impiego di tempo, ed è quindi stato necessario trovare il giusto trade-off, raggiunto grazie alla collaborazione con i colleghi dell'ufficio CI: sono stati effettuati rilievi per la durata di 5 minuti ogni 15 minuti, segnando con una semplice spunta all'interno di un format per il Work Sampling (**Figura 6.1**) l'attività svolta dall'operatore in intervalli di 30 secondi.

			postazione
			operatore
ATTIVITA'	SPRECO	TIPO	
cammina per prendere un attrezzo	movimento	NVA	
cammina per andare a chiamare un COLLEGA	movimento	NVA	
cammina per andare a chiamare un TEAM LEADER	movimento	NVA	
cammina per andare a prendere un materiale	movimento	NVA	
mette / toglie DPI	movimento	BNVA	
pulisce la postazione	movimento	BNVA	
sballa il materiale	movimento	BNVA	
trasporta materiale DENTRO all'area di lavoro	trasporto	BNVA	
trasporta una attrezzatura	trasporto	BNVA	
trasporta materiale FUORI dell'area di lavoro	trasporto	NVA	
ricerca un materiale	attesa	NVA	
ricerca / attesa di un attrezzo	attesa	NVA	
scambia informazioni con TL	attesa	NVA	
ricerca di informazioni	attesa	NVA	
si ferma per riposare	attesa	NVA	
sta facendo una rilavorazione	difetto	NVA	
Misura	VA	VA	
Fora	VA	VA	
Rastrema/Espande	VA	VA	
Taglia	VA	VA	

**Figura 6.1: Format di raccolta dati per Work Sampling (Fonte interna MEHITS)**

Una volta terminata la settimana di rilievi e raccolta dati, si è passati alla loro elaborazione: lo scopo del Work Sampling è quello di creare un *diagramma a torta* in cui ogni tipologia di attività viene pesata in % sul totale del tempo in cui sono stati effettuati i rilievi (**Figura 6.2**).



**Figura 6.2: Distribuzione % delle attività a valore/non a valore iniziale** (Fonte interna MEHITS)

Come si può immediatamente notare, una grossa % del tempo trascorso dall'operatore (43%) era *non a valore*. Di questa quota il 60% era destinato alla *ricerca di informazioni ed alla ricerca del materiale*: tutte attività che concorrevano a ridurre la % di tempo a valore aggiunto all'interno del reparto di finitura tubi. Per ciascuna di esse sono state quindi cercate e, come si vedrà, trovate soluzioni che ne hanno permesso l'abbattimento.

### 6.1.1 La ricerca di informazioni

L'operatore, una volta trasportato il carrello in reparto ed estratto ordine di lavoro e programma di piega dalla tasca (**Paragrafo 4.2.2**) è pronto per la finitura delle tubazioni. Al fine di minimizzare le operazioni di set-up della tagliatubi orbitale e della macchina di espansione/rastrematura, egli procede lavorando le tubazioni dello stesso diametro e poi passando a quello successivo: nel fare ciò, utilizza la lista di codici tubo riportata nel programma di piega dell'unità (**Figura 6.3**).

BN1-5342-NX-W 202 -T122000085-01 DEL13-4-2018									
D [mm]	CODICE TUBO	SP. [mm]	L [mm]	FASE	Q.tà	COD. PIEGA	X	Y	Z
16	T121000649	1,0	450	LIQ	1	6 P1	100	90	0
						6 P2	300	0	0
22	T121000650	1,5	721	LIQ	1	1 P1	150	90	0
						1 P2	114	180	90
						1 P3	250	0	0
	T121000652	1,5	1454	LIQ	1	2 P1	150	90	0
						2 P2	125	45	90
						2 P3	355	90	-90
						2 P4	332	90	-90
						2 P5	250	0	0
28	T121000654	1,5	1925	MAN	1	3 P1	400	90	0
						3 P2	91	24	-90
						3 P3	435	90	90
						3 P4	424	180	180
						3 P5	200	0	0

Figura 6.3: Lista di tubazioni codificate nel programma di piega di una unità modello NX-W (Fonte interna MEHITS)

Per ogni elemento presente in lista il finitore digita il relativo codice alfanumerico (T121\*) all'interno del portale PDM attraverso il tablet andon, apre la tavola CAD facendosi una prima idea della forma del tubo e successivamente lo ricerca all'interno del carrello e lo posiziona sul banco di misura. Dall'analisi delle attività a valore/non a valore è stato notato come questa sequenza di operazioni impatti pesantemente sul lavoro dell'operatore. Oltre *all'altalenante lentezza di caricamento dei dati* del portale (che dipende dalla velocità di rete aziendale, su cui non è stato ovviamente possibile agire) questo sistema di ricerca delle informazioni porta ad altre inefficienze legate *all'errore durante la digitazione del codice dei tubi*, il quale si verifica in maniera particolare a fine turno, orario in cui l'operatore risente della stanchezza del lavoro svolto durante il giorno. In questi casi, quindi, l'inserimento del codice errato può portare a nessun risultato mostrato a portale oppure al caricamento di una tubazione che non ha nulla a che fare con il kit dell'unità presa in carico, con la conseguente enorme perdita di tempo nella sua ricerca all'interno del carrello. Per ovviare a questi problemi ed efficientare il processo di visualizzazione delle tavole è stato utilizzato uno strumento già presente all'interno del reparto: il lettore di codici a barre (o barcode) collegato al tablet andon per la timbratura delle commesse (Paragrafo 5.2.2). L'idea, quindi, è stata quella di svincolarsi il più possibile dal cartaceo (il programma di piega) ed incorporare il codice alfanumerico della tubazione nel tubo stesso per mezzo di una *etichetta barcode* (Figura 6.4).





**Figura 6.4: Tubazione in rame con applicazione della sua etichetta a codice a barre**  
(Fonte interna MEHITS)

A tal fine è stata acquistata una stampante a trasferimento termico dotata di porta seriale e programmata per creare una etichetta che riporti il codice della tubazione sia in formato alfanumerico, sia in formato barcode, tramite l'uso di un lettore, il tutto installato in reparto piegatura tubi (PTB) (Figura 6.5).



**Figura 6.5: Stampante di etichette con lettore installata in reparto PTB** (Fonte interna MEHITS)

Successivamente sono stati convertiti tutti i programmi di piega Excel per le famiglie con piping disegnato in un nuovo formato che riporta all'interno di una cella il codice a barre della tubazione, così da permetterne la stampa attraverso il "trigger" del lettore (Figura 6.6)

BN1-5341-NX W 502 -T122000076-04											
D	COD. TUBC	SP	Q.tà	L[mm]	COD. PIEG.	LAV1	LAV2	X	Y	Z	BARCODE
#22	T121000645	1,5	1	464	#1 P1			100	90	0	[Barcode]
					#1 P2			300	0	0	
	T121000634	1,5	1	260	T12100			260	0	0	[Barcode]
#28	T121000644	1,5	1	568	#2 P1			200	180	0	[Barcode]
					#2 P2			200	0	0	
	T121000636	1,5	1	993	#7 P1			100	55	0	[Barcode]
					#7 P2			134	90	90	
					#7 P3			240	90	-145	

**Figura 6.6: Nuovo formato del programma di piega con codice a barre** (Fonte interna MEHITS)



Il piegatubista quindi, dopo aver stampato i programmi degli ordini di lavoro di cui preparare il kit (**Paragrafo 4.2.2**) “spara” tutti i codici a barre presenti e ripone le etichette all’interno della busta della commessa (**Figura 6.7**).



**Figura 6.7: Stampa delle etichette *barcode*** (Fonte interna MEHITS)

Una volta presa in carico l’unità, terminato il processo di curvatura della verga di rame, l’operatore procede all’applicazione dell’etichetta sulla tubazione: completati tutti i diametri necessari si ottiene quindi un carrello contenente il kit frigo completo di etichette. A questo punto, all’interno del reparto di finitura tubi, la sequenza delle operazioni subisce un drastico cambiamento: ogni tubo, avendo un proprio codice a barre, può sostituire l’utilizzo del programma di piega nella ricerca della tavola CAD a portale (**Figura 6.8**).



**Figura 6.8: Nuova modalità di lavoro nel caricamento della tavola** (Fonte interna MEHITS)

Ora è possibile (tenendo come unico vincolo la lavorazione di un diametro prima di passare al successivo) estrarre dal carrello una tubazione qualsiasi e poi leggere l’etichetta barcode sul lettore del tablet andon: in questo modo, il tempo che intercorre dalla finitura di un tubo e l’inizio della lavorazione del successivo viene abbattuto drasticamente, con il programma di piega che passa da strumento fondamentale a semplice “checklist” per verificare la finitura di tutti i tubi del kit spuntando i codici lavorati di volta in volta. In precedenza, la digitazione del codice alfanumerico a portale e la successiva ricerca del tubo all’interno del carrello necessitava di circa 30 secondi, con tempi che

aumentavano proporzionalmente con il numero di tubi presenti<sup>52</sup>. La nuova modalità di ricerca delle informazioni consente invece all'operatore di attendere semplicemente l'apertura della tavola e quindi la velocità di risposta del server: in una situazione standard (senza rallentamenti della connessione di rete) questa non richiede più di 5 secondi, con un incremento di velocità del:

$$\frac{30 \text{ [s]} * 100}{5 \text{ [s]}} = 600\%$$

Questa percentuale, presa singolarmente, non ha molto significato: la acquista se viene utilizzata per il calcolo del risparmio di tempo in termini assoluti.

Prendendo come riferimento un kit di tubazioni medio composto da 20 codici, si ha:

$$\text{Risparmio [min]} = \frac{(30-5) \text{ [s/tubo]} * 20 \text{ [tubi]}}{60 \text{ [s/min]}} = 8 \text{ min}$$

A questo risparmio va anche sottolineato il vantaggio dovuto all'eliminazione dei possibili errori di digitazione del codice tubo e il minor affaticamento dell'operatore, il quale non deve più cercare lo specifico tubo tra quelli posti all'interno del carrello.

### 6.1.2 La ricerca del materiale

Successivamente all'introduzione delle etichette barcode per abbattere il *muda* causato dalla ricerca delle informazioni, si è passati all'azione per cercare di diminuire lo spreco dovuto alla *ricerca del materiale*. Come dimostrato da numerose osservazioni sul campo durante la fase di rilievo dati per il Work Sampling, l'azione di prelievo delle tubazioni dal carrello impatta per il 27% del tempo che l'operatore dedica alla finitura del tubo: un numero troppo elevato considerando il fatto che non aggiunge alcun valore al prodotto finito, in questo caso il kit frigo per la linea produttiva. Nonostante l'utilizzo del lettore per il caricamento della tavola abbia agito positivamente anche sulla ricerca del materiale, rimane comunque un problema legato al prelievo delle tubazioni: l'etichetta infatti è fondamentale, ma l'operatore non può sapere, almeno a primo impatto, se quel tubo è già stato lavorato oppure no<sup>53</sup>. Questa perdita di tempo è stata risolta attraverso l'introduzione all'interno del reparto di un

---

<sup>52</sup> Come è logico dedurre, all'aumentare del numero di tubazioni riposte all'interno del carrello, aumenta anche il disordine e questo rende più difficoltosa la ricerca di un codice specifico al suo interno;

<sup>53</sup> Alcuni tubi, in particolari quelli della linea liquido, oltre al semplice taglio a misura delle estremità non richiedono ulteriori lavorazioni e risulta quindi difficile sapere se è già stato processato o meno;

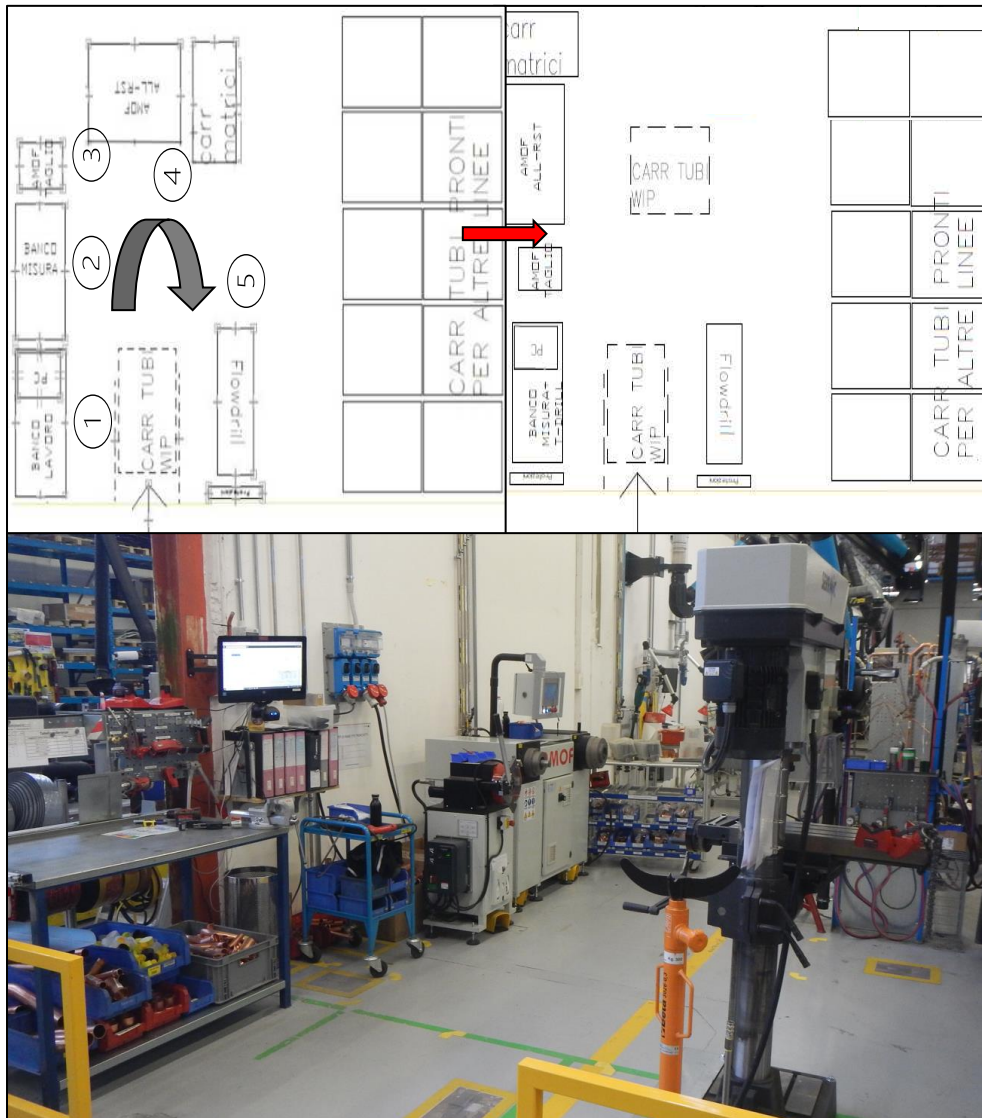
*carrello buffer* in cui l'operatore ripone di volta in volta i tubi lavorati fino al suo riempimento (**Figura 6.9**)



**Figura 6.9: Carrello buffer all'interno del reparto di finitura tubi** (Fonte interna MEHITS)

Il suo funzionamento è molto semplice, ma allo stesso tempo molto efficace: ogni tubo che termina il ciclo di finitura non viene riposto nel carrello da cui è stato estratto, ma nel buffer. Al termine della finitura dell'ultima tubazione dell'unità in lavorazione, l'operatore ripone l'ordine di lavoro all'interno della tasca del carrello buffer, che nel frattempo si è riempito e contiene tutto il kit frigorifero finito e lo trasporta nell'area di parcheggio adiacente al reparto (**Paragrafo 4.1**). Il carrello svuotato viene poi trasportato nell'area precedentemente occupata dal carrello buffer, che svolgerà la medesima funzione per la successiva unità. L'aggiunta del carrello di appoggio all'interno del reparto ha anche risolto il problema di sicurezza legato al parcheggio nell'area per la presa in carico dei carrelli da parte degli asservitori: una volta terminata la finitura, infatti, l'operatore deve trasportare il carrello uscendo dal reparto e attraversando il corridoio, su cui transitano carrelli elevatori e transpallet guidati dagli asservitori, che rappresentano un potenziale pericolo per l'operatore. Il carrello buffer invece può essere trasportato direttamente nell'area di parcheggio, disponendo di un corridoio di passaggio diretto verso l'area di parcheggio. Questo miglioramento è stato possibile solamente grazie ad un *re-layout* del reparto: gli spazi contenuti non hanno permesso di mantenere la disposizione iniziale dei macchinari e la circolarità del flusso di lavoro tipica della cella produttiva. È stato deciso di unire le operazioni di misura e di taglio/foratura all'interno dello stesso banco, avvicinando quindi la macchina per

l'espansione/rastrematura per guadagnare l'area necessario al carrello di appoggio (**Figura 6.10**).

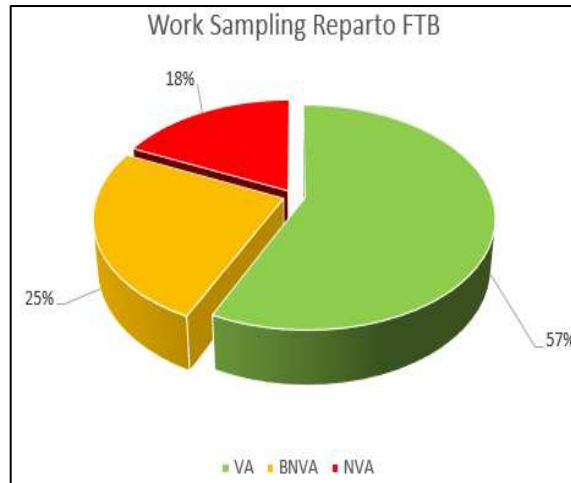


**Figura 6.10: Re-Layout del reparto finitura tubi (Fonte interna MEHITS)**

Quindi, grazie all'aggiunta del carrello di appoggio, sparisce per l'operatore la necessità di cercare i tubi da lavorare separandoli da quelli già lavorati e questo rappresenta un grande risparmio di tempo, soprattutto in quei casi in cui il kit frigo è composto da un numero elevato di tubazioni.

### 6.1.3 Analisi dei miglioramenti ottenuti

A seguito dell'introduzione delle etichette barcode applicate sulle tubazioni e del carrello buffer all'interno del reparto, si è deciso di effettuare ulteriori rilievi (per la durata di una settimana lavorativa, con le medesime modalità descritte nel **Paragrafo 6.1**) per verificare l'efficacia dei miglioramenti apportati alla lavorazione di finitura del kit frigorifero, sempre utilizzando il metodo del Work Sampling. I risultati sono visibili in **Figura 6.11**:



**Figura 6.11: Distribuzione % delle attività a valore/non a valore finale** (Fonte interna MEHITS)

Rispetto alla situazione iniziale (**Paragrafo 6.1**) è immediato notare come la fetta del grafico a torta che rappresenta la percentuale di tempo dedicata ad attività a valore sia aumentata del 14%, passando da 43% a 57%. Di conseguenza si riscontra una forte riduzione della percentuale che riguarda le attività non a valore (-17%), dovuta al fatto che l'operatore non deve più digitare manualmente il codice di ogni tubazione e cercare il tubo da lavorare all'interno del carrello, cercando di distinguere quelli già lavorati da quelli che devono ancora essere presi in carico.

## 6.2 L'Ishikawa Chart

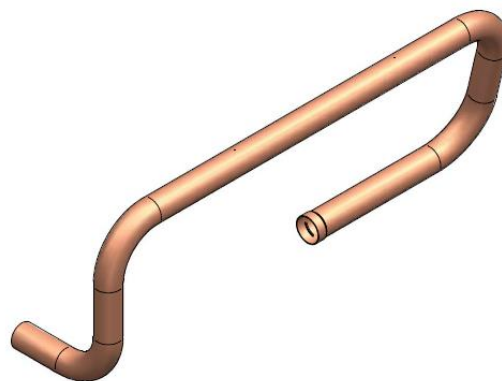
All'interno della precedente analisi di Work Sampling, l'operazione di misurazione dei tratti iniziali e finali dei tubi costituenti il kit frigorifero delle unità è stata categorizzata come *attività a valore*. Dopo aver trascorso molte ore affiancando l'operatore durante il suo lavoro, però, è immediatamente emersa una questione importante: *la misurazione è davvero una attività a valore?* Ponendo il reparto di finitura tubi (FTB) come cliente interno e il reparto di piegatura tubi (PTB) come fornitore interno del processo, non è errato considerare l'attività di misurazione un *muda di rilavorazione*, ovvero uno spreco che è necessario ridurre in maniera da efficientare la finitura del tubo. Infatti, precedentemente alle attività di ottimizzazione del reparto piegatubi che verranno descritte all'interno di questo paragrafo, ogni tubazione necessitava sempre di due tagli alle estremità per essere ricondotta alle misure nominali della tavola CAD a portale, portando con sé due grandi sprechi:

- **Tempo:** la misurazione e il taglio delle due estremità del tubo in rame richiede mediamente 2 minuti, tempo che, se riportato ad un kit frigo composto da 25/30 tubi, assume una importanza non trascurabile;
- **Materiale:** gli scarti di rame dovuti all'eccessiva lunghezza di taglio della verga di rame prima di essere trasferita in macchina rappresentavano tra




il 25% ed il 32% in peso rispetto al totale del rame acquistato dall'azienda<sup>54</sup>;

Questa maggior lunghezza dei tratti iniziali e finali delle tubazioni è sempre stata ritenuta necessaria dal piegatubista per cautelarsi da eventuali errori di ripetibilità e dai limiti meccanici delle macchine curvatubi: può essere quindi considerata un "fattore di sicurezza" per non dover gettare nello scarto l'intera tubazione, aggiungendo una quota di "X" all'interno del programma di piega del relativo codice tubo (**Figura 6.12**).



T121004782				
Lung. taglio = 2112.98 mm				
N. piega	Lung. alimen.	Ang. rotaz.	Raggio di piega	Ang. piega
1	312.00 mm	0.00 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
2	110.00 mm	0.00 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
3	786.48 mm	-13.24 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
4	113.93 mm	90.00 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
5	112.00 mm			

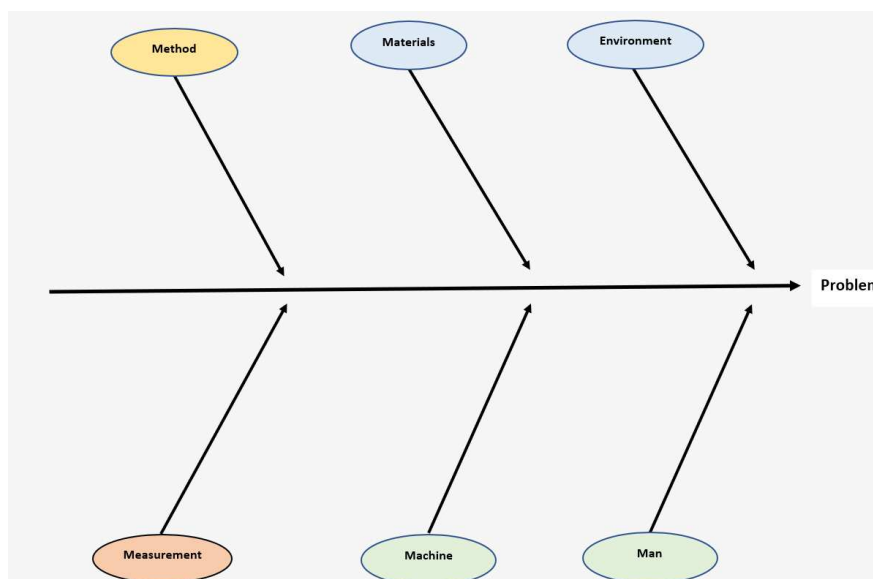
≡ T121004782	≡ 2.0	≡ 1	≡ 2290	≡ P1	≡ EXP	≡ F.D	≡ 350	≡ 90	≡ 0	≡	
				≡ P2	≡	≡	≡ 110	≡ 90	≡ 0	≡	
				≡ P3	≡	≡	≡ 787	≡ 90	≡ -14	≡	
				≡ P4	≡	≡	≡ 114	≡ 90	≡ 90	≡	
				≡ P5	≡	≡	≡ 250	≡ 0	≡ 0	≡	

**Figura 6.12: Differenze tra il programma di piega "reale" del tubo e quello inserito dal piegatubista con il fattore di sicurezza nei tratti iniziali e finali (Fonte interna MEHITS)**

Dal confronto delle tue tabelle (la prima generata dal software per il disegno dei tubi, che indica lo sviluppo effettivo del tubo, la seconda invece inserita dal piegatubista con il sovradimensionamento del tratto iniziale e finale) si intuisce come questa tubazione dovrà essere tagliata: nello specifico, di almeno 38mm

<sup>54</sup> L'analisi sulla quantità di rame scarto all'interno dell'azienda è stata eseguita dallo stagista che mi ha preceduto ed è consultabile all'interno della sua tesi di laurea "Ribilanciamento ed efficientamento di una linea in seguito alla variazione del suo mix produttivo. Il caso Mitsubishi Electric Hydronics & IT Cooling System S.p.A.";

nel tratto iniziale e di almeno 138mm nel finale. L'idea, quindi, è stata quella di indagare sul processo di piegatura del tubo per capire se fosse possibile portare a misura il maggior numero di elementi del kit frigo delle unità, con benefici tangibili di tempo e di risparmio di materiale. Per una scrupolosa indagine di tutti i fattori che potessero influenzare la corretta dimensione del tubo è stato utilizzato l'**Ishikawa Chart**. Viene anche denominato **diagramma a lisca di pesce**, siccome la sua struttura ne richiama l'ossatura con la testa a destra, che rappresenta il problema, e sulla sinistra le lisce, che rappresentano le possibili cause suddivise all'interno di **6 macro-tipologie**: Metodo, Attrezzatura, Manodopera, Materiale, Ambiente e Misurazione (**Figura 6.13**).



**Figura 6.13: Ishikawa Chart o diagramma a lisca di pesce** (Fonte interna MEHITS)

Lo strumento consente di individuare le cause che concorrono a generare l'effetto (o il problema), nel nostro caso specifico la tubazione fuori misura nominale, in maniera strutturata. Dall'esperienza descritta all'interno del progetto di tesi del collega che mi ha preceduto<sup>55</sup>, si era già proceduto ad ipotizzare tutte le cause e le variabili coinvolte, elencate qui sotto:

- **Metodo:** con metodo è intesa la modalità con la quale l'ufficio tecnico progetta il circuito frigorifero delle unità e, di conseguenza, le singole tubazioni. Non considerare i limiti minimi di tratti iniziali e finali delle macchine curvatubi nella realizzazione delle tavole porta inevitabilmente a problematiche di industrializzazione del prodotto, ovvero a scarti

<sup>55</sup> Moresco Mattia, "Ribilanciamento ed efficientamento di una linea in seguito alla variazione del suo mix produttivo. Il caso Mitsubishi Electric Hydraulics & IT Cooling System S.p.A.";

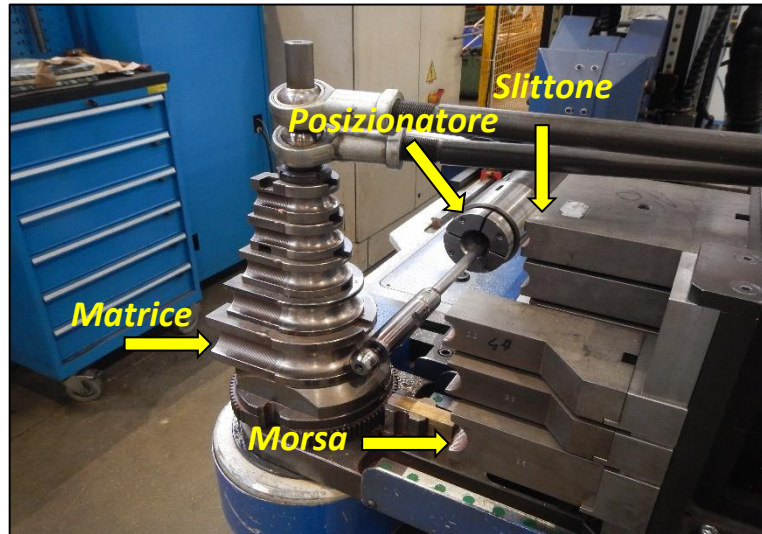
enormi di rame e tempo: per questo motivo, sarebbe utile una sinergia tra l'ufficio tecnico e le indicazioni riguardanti i limiti delle attrezzature adottate<sup>56</sup>;

- **Manodopera:** con manodopera è intesa la modalità di lavoro dei piegatubisti, ovvero il modo in cui vengono realizzati i tubi curvati. La macchina è essenzialmente una CNC (*Macchina a controllo numerico computerizzato*) operante grazie a coordinate XYZ (**Paragrafo 4.2.2**) inserite dall'operatore in accordo con la geometria da realizzare: quindi, il processo di curvatura della macchina dipende da come essa è stata progettata dal fornitore. Ciò che invece ha effetto è il cosiddetto "fattore di sicurezza" previsto dall'operatore al momento dell'inserimento del programma di piega, divenuto negli anni una consuetudine anche laddove, potenzialmente, non è necessario e la macchina riuscirebbe comunque a lavorare rispettando i tratti iniziali e finali riportati dalla tavola della tubazione;
- **Materiale:** il rame ricotto utilizzato per la realizzazione del kit frigorifero delle macchine viene acquistato da due diversi fornitori in verghe lunghe 6 metri, tagliate alla misura indicata dal programma di piega e infine curvate (**Paragrafo 4.1.1**). I fornitori si impegnano a rispettare per ogni lotto consegnato un determinato grado di ricottura della verga, che influisce sul comportamento meccanico del rame: è stato infatti visto come, a variare del lotto di acquisto, le discrepanze tra due tubazioni identiche ma di fornitura diversa di materiale siano nell'ordine di qualche mm, risultato non rilevante;
- **Attrezzatura:** con attrezzatura si intende la macchina curvatubi ed i suoi componenti (matrice, morsa, slittone, posizionatore...) i quali comportano dei limiti meccanici nella lavorazione del tubo, al fine di evitare pezzi deformati, collisioni e, nel peggiore dei casi, rotture della macchina (**Figura 6.14**).

---

<sup>56</sup> A questo proposito, grazie all'ottimizzazione del processo di piegatura dei tubi descritto più avanti, collaborando con l'ufficio tecnico e riportando le indicazioni sui limiti della macchina, è stato possibile realizzare una nuova gamma di prodotto con numero di tagli richiesti davvero esiguo, in alcuni casi soltanto uno;

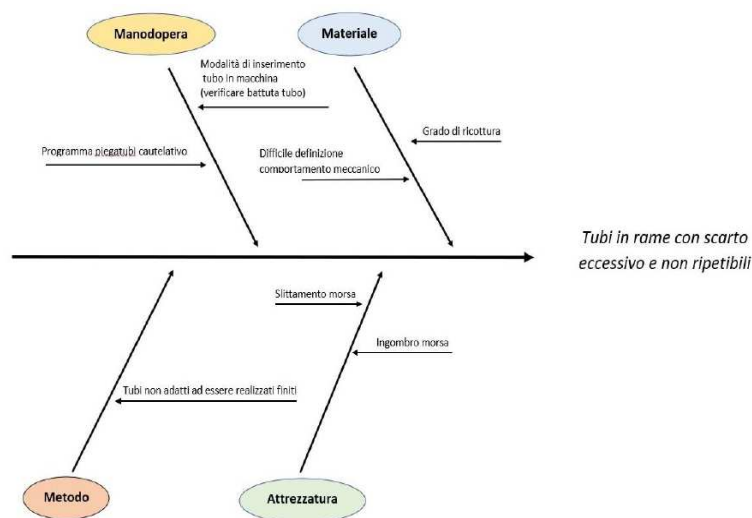




**Figura 6.14: Curvatubi e i suoi componenti principali** (Fonte interna MEHITS)

Ad esempio, il tratto iniziale non può essere più corto della lunghezza della *morsa*, la quale va a chiudere il tubo sulla matrice *complementare*: ciò provocherebbe un eventuale scivolamento relativo del tubo rispetto alla matrice non avendo abbastanza presa, con l'effetto di una curva incompleta e sezione distorta (a "fetta di salame"). Allo stesso modo, il tratto finale dipende dall'avanzamento del posizionatore, il quale pinza la verga di rame nel suo estremo posteriore, durante la fase di ultima piega: non può avanzare fino alla luce della curvatubi, perché questo comporterebbe una collisione con la matrice e la morsa. Questi limiti meccanici, però, come descritto precedentemente, sono sempre stati a discrezione del piegatubista nel momento dell'inserimento del programma di piega dei codici tubo.

In **Figura 6.15** è riportato il diagramma a lisca di pesce del processo di curvatura tubi:



**Figura 6.15: Ishikawa Chart che identifica le possibili cause radici che portano a tubazioni piegate che non rispettano i limiti dimensionali richiesti (Fonte: Moresco, 2020)**

Una volta studiato separatamente l'effetto di ciascuna delle variabili descritte in precedenza, si è giunti alla conclusione che la macchina non restituiva una tubazione curvata che rispecchiasse il programma di piega inserito per la sua lavorazione, e, grazie alla collaborazione con il fornitore della piegatubi, questo problema è stato risolto grazie alla *taratura dell'asse di avanzamento orizzontale X* e il calcolo dello *sviluppo reale* della tubazione, che tenesse conto dei parametri di elasticità e snervamento del materiale per la determinazione della corretta lunghezza di taglio della verghe. Al mio arrivo in azienda, quindi, la macchina curvatubi era in grado di restituire una tubazione che rispecchiasse effettivamente il programma di piega inserito, con l'accortezza di rispettare i limiti dei tratti iniziali e **finali** dati dalla macchina. Il problema del fattore di sicurezza inserito dai piegatubisti, però, era ancora presente: l'idea avuta è stata quindi quella di *identificare esattamente quali fossero i limiti della macchina* e sganciarsi dalla discrezionalità dell'operatore nel sovradimensionare le estremità delle tubazioni, trasportandoli direttamente a livello del file Excel per l'inserimento del programma di piega e realizzando, dove consentito, tubi già a misura e che non necessitino di tagli.

### 6.2.1 Determinazione dei tratti minimi e sviluppo reale

- **Tratto iniziale:** la lunghezza minima del tratto iniziale, come accennato, dipende dalla lunghezza del tratto rettilineo compreso tra la morsa e la matrice, ovvero il tratto in cui la verga viene "agganciata" e piegata dalla macchina (**Figura 6.16**).



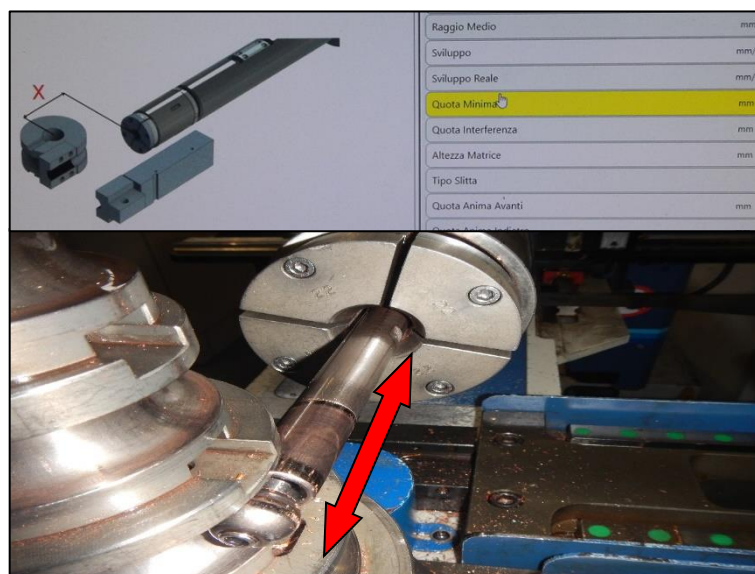
**Figura 6.16: Morsa e matrice della macchina curvatubi, con rappresentazione della lunghezza del tratto minimo iniziale (Fonte interna MEHITS)**

Il dimensionamento dell'attrezzatura è effettuato dal fornitore, il quale garantisce il corretto trascinamento e la piega della verga: quindi, è bastato semplicemente misurare le lunghezze in questione (**Figura 6.17**).

<b>Diametro tubo</b>	mm	16	18	22	28	35	42	54	64	76
<b>L.Min inizio tubo</b>	mm	41	46	54	70	86	120	120	120	160

**Figura 6.17: Lunghezza minima del tratto iniziale a variare del diametro** (Fonte interna MEHITS)

- Tratto finale:** la lunghezza minima del tratto finale, a differenza di quello iniziale, non è fisso per ogni diametro, ma varia in relazione all'angolo di piega dell'ultima curva della tubazione. In questo caso, il limite della macchina risiede nel fatto che il posizionatore (in **Figura 6.17**, il cilindro cavo che ospita l'anima, in cui la verga di rame viene pinzata e trattenuta durante il processo di curvatura) non può avanzare fino alla testa della macchina, al fine di evitare la collisione con il pacco matrice e la morsa. Il posizionatore, quindi, prima di effettuare l'ultima piega, avanza fino alla distanza richiesta, apre la pinza rilasciando la verga e solo allora la morsa si chiude sulla matrice e il braccio può ruotare deformando il materiale: ciò significa che la lunghezza di tubo compresa tra l'inizio della matrice e il fine verga deve contenere sia la curva, sia il tratto finale. Da qui la dipendenza del tratto finale dall'angolo di piega: maggiore sarà l'angolo (quindi verso i 180°) e minore sarà il tratto finale ottenibile, e viceversa. Attraverso il contatto con il fornitore della piegatubi è stato riscontrato come il parametro su cui è stato possibile agire per diminuire la lunghezza del tratto minimo iniziale fosse la cosiddetta *quota minima*, ovvero la distanza minima a cui può avvicinarsi il posizionatore rispetto al centro del pacco matrice (**Figura 6.18**).



**Figura 6.18: Rappresentazione della quota minima** (Fonte interna MEHITS)

A questo punto, è stato possibile calcolare analiticamente il tratto minimo finale in relazione all'angolo di piega dell'ultima curva:

$$L_{min}[mm] = (QuotaMinima[mm] + L. InPinza[mm]) - (\alpha[^\circ] * \pi[rad] * 2 * D[mm]) / 180[^\circ]$$

dove  $L. InPinza$  si riferisce al tratto di verga che viene pinzato dal posizionatore durante il processo e l'ultimo fattore è lo sviluppo geometrico della piega in relazione all'angolo di curvatura, ovvero la lunghezza di tratto rettilineo che si otterrebbe "srotolando" la curva<sup>57</sup>. I risultati ottenuti sono stati quindi inseriti all'interno di una tabella Excel (**Figura 6.19**).

Tratto minimo finale in funzione dell'angolo di piega									
ANGOLO DI PIEGA/DIAMETRO	16	18	22	28	35	42	54	64	76
1	140	139	140	140	140	386	387	389	390
2	140	139	139	139	139	384	385	386	388
3	139	138	138	138	137	383	384	384	385
4	139	138	138	137	136	381	382	382	383
5	138	137	137	136	135	380	380	380	380
6	137	136	136	135	134	379	378	378	377
7	137	136	136	134	133	377	376	376	375
8	136	135	135	133	132	376	375	374	372
9	136	135	134	132	130	374	373	371	370
10	135	134	133	131	129	373	371	369	367
11	135	133	133	130	128	372	369	367	365
12	134	133	132	129	127	370	367	365	362
13	134	132	131	129	126	369	366	363	360
14	133	132	130	128	125	367	364	361	357
15	133	131	130	127	123	366	362	359	355
16	132	130	129	126	122	365	360	357	352
17	132	130	128	125	121	363	358	354	350
18	131	129	127	124	120	362	357	352	347
19	131	129	127	123	119	360	355	350	345
20	130	128	126	122	118	359	353	348	342

**Figura 6.19: Tratto minimo finale in funzione dell'angolo di piega** (Fonte interna MEHITS)

- **Sviluppo Reale:** Una volta ricavati i tratti minimi iniziali e finali, è stato necessario determinare anche lo *sviluppo reale del tubo*. Calcolando la lunghezza della verga di rame da tagliare e poi inserire all'interno della curvatubi utilizzando lo *sviluppo geometrico*, si ottiene un sovradimensionamento nel tubo piegato:

$$Sviluppo\ Trigonometrico\ [mm] = (\alpha[^\circ] * \pi[rad] * 2 * D[mm]) / 180[^\circ]$$

Infatti, non viene tenuto conto delle proprietà di elasticità e di snervamento del materiale, le quali entrano in gioco nel momento della curvatura. Questo si traduce in sostanza in un aumento della lunghezza a livello del tubo piegato e che porta infine a doverlo tagliare e portare a

<sup>57</sup> Le matrici utilizzate dalle curvatubi sono realizzate con un raggio di piega pari a due volte il diametro della tubazione;



misura. All'interno del file Excel di inserimento del programma di piega è da sempre stato utilizzato lo sviluppo trigonometrico (Figura 6.20).

	E	F	G	H	I	J	K	M	O	P
	D [mm]	SP. [mm]	Q.ta	N. Piega	X	Y	Z	CODICE TUBO	L [mm]	L.tratto[mm]
19										
23		22	1,5	1	150	90	0	T121005896	721	*J23*190/180
24		22	1,5	1	114	180	90	T121005896		252
25		22	1,5	1	250	0	0	T121005896	721	250

Figura 6.20: Calcolo dello sviluppo del tubo nell'inserimento del programma di piega (Fonte interna MEHITS)

Questo non avrebbe mai reso possibile l'ottenimento di una tubazione che rispettasse le dimensioni nominali riportate in tavola CAD. Il passo successivo è stato quindi quello della determinazione dello sviluppo che tenesse conto dell'allungamento che subisce il rame nella fase di piega. Non avendo a disposizione in azienda laboratori e macchinari con cui ricavarlo sperimentalmente, è stato deciso di "trasferire" il metodo di calcolo utilizzato dal software della macchina piegatubi all'interno del file Excel, in sostituzione a quello originariamente presente: l'interfaccia della curvatubi, infatti, al momento dell'inserimento del programma di piega, restituisce a video la *lunghezza precisa di taglio*, che tiene conto delle proprietà elastiche del rame (Figura 6.21):

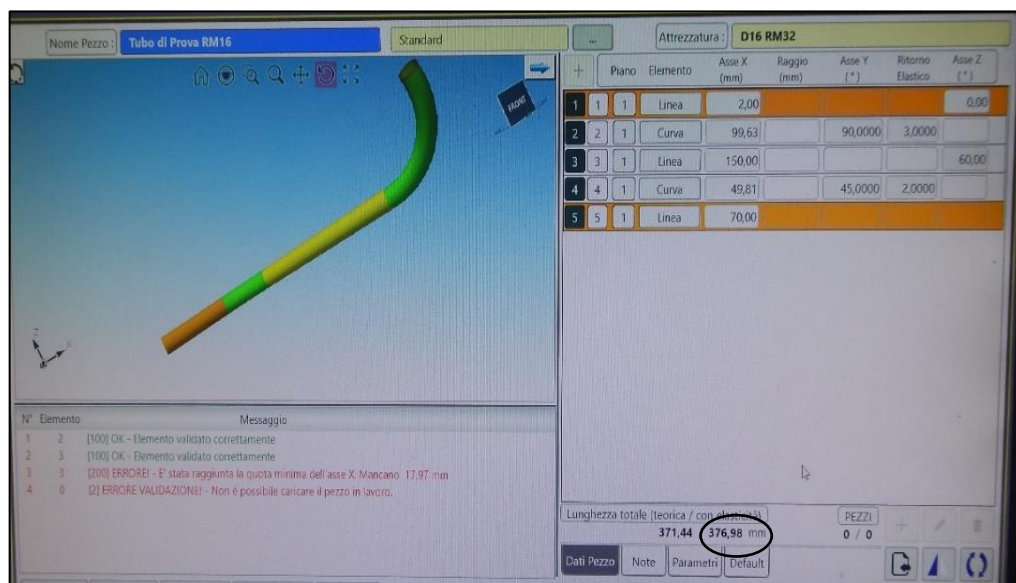


Figura 6.21: Schermata di inserimento tubo del software della curvatubi (Fonte interna MEHITS)

Il calcolo di questa lunghezza, a livello matematico, è relativamente semplice: infatti, definendo come *sviluppo reale* quel parametro espresso in [mm/°], con  $X$  i tratti rettilinei espressi in [mm] e con  $\alpha$  l'angolo di piega espresso in [°], è possibile scrivere:

$$L[mm] = X_1[mm] + \alpha [^\circ] * Sviluppo Reale [mm/^\circ] + X_2[mm]$$

Attraverso una formula inversa è quindi possibile ricavare lo sviluppo reale:

$$\text{Sviluppo Reale [mm/°]} = (L[\text{mm}] - (X_1[\text{mm}] + X_2[\text{mm}])) / \alpha [°]$$

Per ogni diametro e per diverse geometrie di tubo (numero di pieghe crescenti) è stata quindi utilizzata la formula precedente per ricavare lo sviluppo reale dei diametri interessati (**Figura 6.22**):

(mm/° calcolati partendo dalla lunghezza con allungamento fornita dalla macchina)										
1	D16	0,543	D18	0,645083333	D22	0,707055556	D28	0,93	D35	1,143888889
1	D16	0,540777778	D18	0,633333333	D22	0,713	D28	0,927777778	D35	1,156222222
1	D16	0,541333333	D18	0,640555556	D22	0,714444444	D28	0,933333333	D35	1,130166667
2	D16	0,541	D18	0,644761905	D22	0,710148148	D28	0,933333333	D35	1,134740741
2	D16	0,553952381	D18	0,641777778	D22	0,713428571	D28	0,926296296	D35	1,139076923
2	D16	0,539961538	D18	0,6437	D22	0,710733333	D28	0,925955556	D35	1,134740741
3	D16	0,54137931	D18	0,642777778	D22	0,709577778	D28	0,931914894	D35	1,139130435
3	D16	0,54	D18	0,642416667	D22	0,713607843	D28	0,927307692	D35	1,136212625
3	D16	0,540740741	D18	0,643424242	D22	0,710787879	D28	0,9304	D35	1,137027778
4	D16	0,538461538	D18	0,642790123	D22	0,71045614	D28	0,928183908	D35	1,135030303
4	D16	0,540540541	D18	0,642564706	D22	0,712505747	D28	0,927777778	D35	1,139160494
4	D16	0,540675	D18	0,642785714	D22	0,710050847	D28	0,925025641	D35	1,140111111
n° pieghe										
	MEDIA	0,541818513	MEDIA	0,642164261	MEDIA	0,711316357	MEDIA	0,928942184	MEDIA	1,138792411
	MAX	0,553952381	MAX	0,645083333	MAX	0,714444444	MAX	0,933333333	MAX	1,156222222
	MIN	0,538461538	MIN	0,633333333	MIN	0,707055556	MIN	0,925025641	MIN	1,130166667
	DEV.STD.REL%	1%	DEV.STD.REL%	0%	DEV.STD.REL%	0%	DEV.STD.REL%	0%	DEV.STD.REL%	1%

**Figura 6.23: Calcolo empirico dello sviluppo reale di diverse tubazioni** (Fonte interna MEHITS)

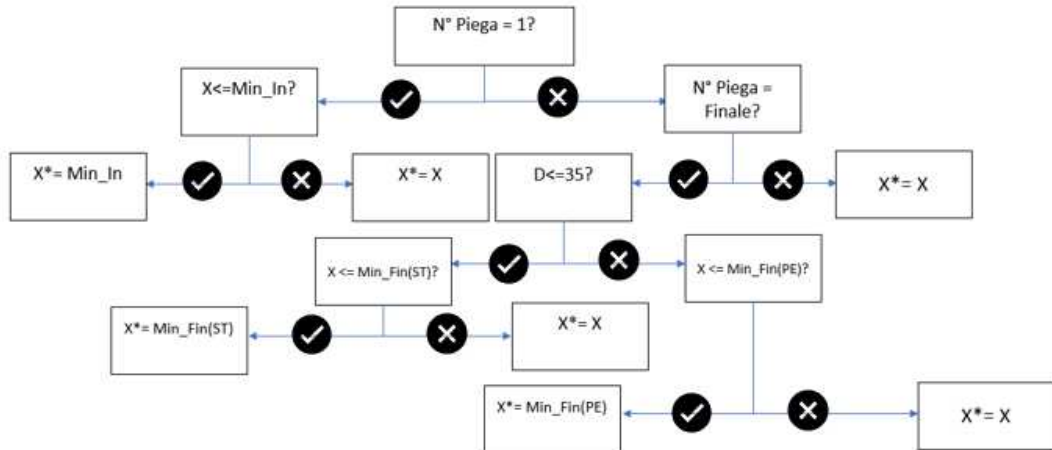
### 6.2.2 Modifica del file Excel di inserimento dei programmi di piega

Una volta determinati i limiti dei tratti iniziali e finali e lo sviluppo reale delle tubazioni, il passo successivo è stato quello di eliminare, ove possibile, la discrezionalità del piegatubista nell'inserimento dei programmi di piega delle tubazioni codificate. A questo scopo si è reso necessario modificare il foglio di calcolo elettronico Excel. Come prima modifica si è sostituito lo sviluppo trigonometrico con lo sviluppo reale ricavato in precedenza, utilizzando una semplice funzione CercaVerticale, la quale pesca lo sviluppo corretto in relazione al diametro della tubazione in questione (**Figura 6.24**).

E	I	J	K	O	Q	T	V	W	X
D	X	Y	Z	COD. TUBO	BARCODE	L[mm]	L.tratto[mm]		
54	105	45	0	T121005611		1078	Sviluppo!\$B\$3:\$L\$3;0;0;"0")		
54	127	45	180	T121005611		1078	211,82		
54	167	90	-90	T121005611		1078	336,65		
54	325	0	0	T121005611		1078	325,00		

**Figura 6.24: Modifica di calcolo della lunghezza di verga da tagliare** (Fonte interna MEHITS)

Dopodiché, è stato necessario inserire anche i limiti sui tratti minimi: il foglio elettronico doveva automaticamente calcolare se il tratto iniziale o finale del tubo, inserito a copia carbone dal programma di piega della tavola CAD disponibile a portale, rientrasse all'interno dei limiti ricavati precedentemente. Allo scopo, è stata creata una formula ramificata<sup>58</sup>, il cui funzionamento è spiegato in **Figura 6.25**:

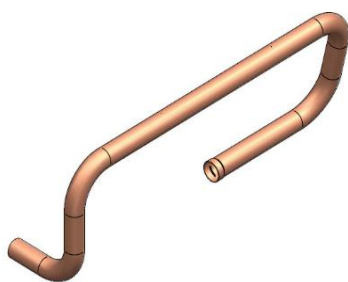


**Figura 6.25: Rappresentazione della formula ramificata per il calcolo dei tratti rettilinei iniziali e finali (Fonte interna MEHITS):**

Dove:

- **X**: Misura del tratto rettilineo del tubo in tavola (formato CAD);
- **X\***: Misura effettiva del tratto rettilineo, tenente conto dei limiti della macchina;
- **Min\_In, Min\_Fin**: limiti macchina sui tratti iniziale e finale di tubo;
- **(ST), (PE)**: distinzione tra le due macchine piegatrici (Star Technology e Pedrazzoli);

In questa maniera, l'operatore può tranquillamente inserire il programma di piega riportato in tavola: il foglio di calcolo provvederà in automatico a regolare i tratti iniziali e finali della tubazione in accordo ai limiti ricavati. Un esempio pratico è maggiormente esplicativo. Prendiamo in considerazione il seguente tubo con diametro pari a 54mm:



T121004782				
Lung. taglio = 2112.98 mm				
N. piega	Lung. alimen.	Ang. rotaz.	Raggio di piega	Ang. piega
1	312.00 mm	0.00 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
2	110.00 mm	0.00 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
3	786.48 mm	-13.24 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
4	113.93 mm	90.00 gradi	108.00 mm	90.00 gradi
5	112.00 mm			

<sup>58</sup> E' stato deciso di suddividere i limiti secondo i diametri gestiti dalle due macchine: da qui la diramazione in base al diametro superiore o inferiore ai 35mm;

Dai limiti iniziali e finali individuati si può notare come il per il tratto iniziale (312mm) non ci siano problemi, mentre il finale (112mm) non sia realizzabile dalla curvatubi:

<b>Diametro tubo</b>	mm	16	18	22	28	35	42	54	64	76
<b>L.Min inizio tubo</b>	mm	41	46	54	70	86	120	120	120	160



Tratto minimo finale in funzione dell'angolo di piega piegatubi Pedrazzoli				
ANGOLO DI PIEGA/DIAMETRO	42	54	64	76
83	271	240	214	182
84	269	238	211	180
85	268	236	209	177
86	267	234	207	175
87	265	232	205	172
88	264	231	203	170
89	262	229	201	167
90	261	227	199	165
91	260	225	197	162
92	258	223	194	160
93	257	222	192	157
94	255	220	190	155
95	254	218	188	152

Inserendo il programma di piega originario all'interno del file, alla variabile X\* verrà attribuito il valore del tratto finale minimo, in automatico: sarà quindi questo il tratto rettilineo finale inserito nel programma macchina del tubo (Figura 6.26):

D	X	Y	Z	COD. TUBO	BARCODE	X*	L[mm]	L-tratto [mm]
54	312	90	0	T121004782		312	2211	481,65
54	110	90	0	T121004782		110	2211	279,65
54	769	90	-13	T121004782		769	2211	938,65
54	114	90	90	T121004782		114	2211	283,65
54	112	0	0	T121004782		227	2211	227,00

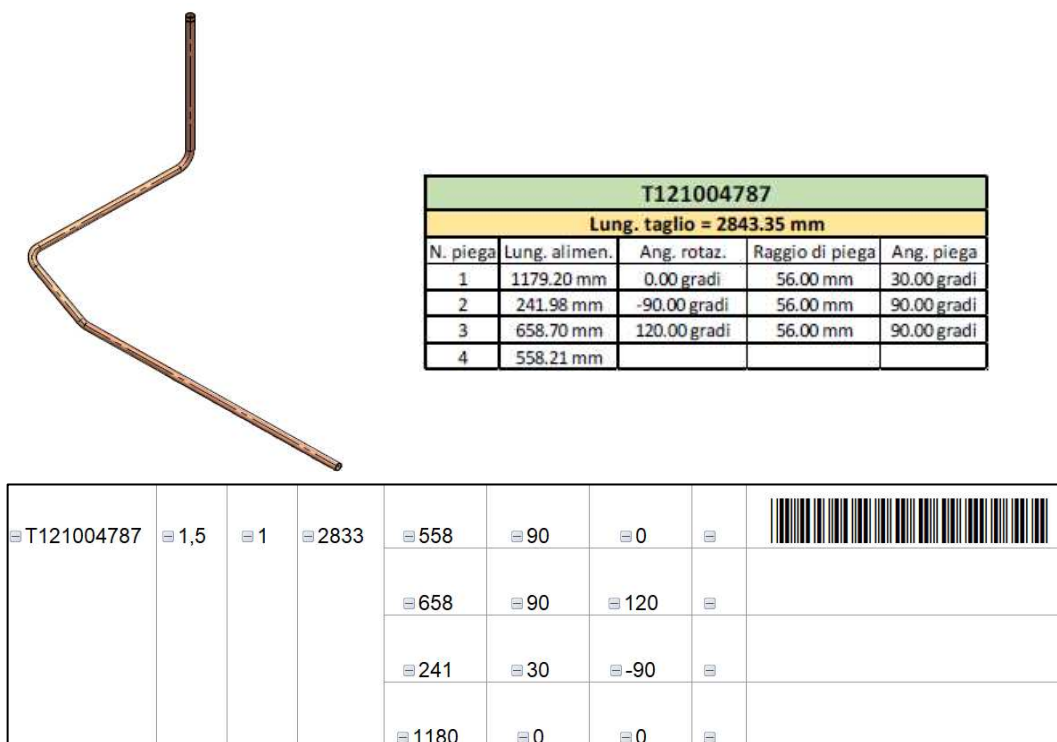
  

54	T121004782	1,5	1	2211	312	90	0	
					110	90	0	
					769	90	-13	
					114	90	90	
					227	0	0	

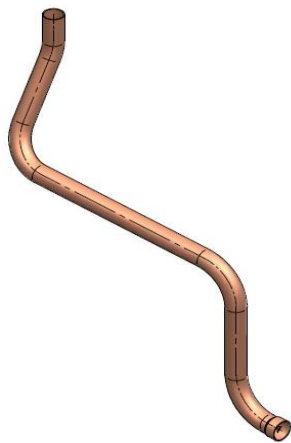
Figura 6.26: Programma di piega contenente i limiti iniziali e finali della curvatubi (Fonte interna MEHITS)




L'operatore, quindi, non deve più utilizzare la sua discrezionalità nell'aumento dei tratti rettilinei iniziali e finali come fattore di sicurezza: *il foglio elettronico esegue già le correzioni quando necessario, minimizzando gli scarti di materiale nei limiti consentiti dall'attrezzatura*. L'ultimo miglioramento apportato al file Excel riguarda la possibilità di effettuare il cosiddetto **"free pass"** della tubazione al momento della misurazione: conoscendo infatti i limiti consentiti dalla curvatubi, risulta semplice individuare se il codice in questione necessita di taglio oppure no, confrontando il valore di X (tratto rettilineo iniziale o finale riportato in tavola) con quello di X\* (tratto rettilineo iniziale o finale tenente conto dei limiti macchina). In caso quest'ultimo superasse il primo, all'interno di una colonna ausiliaria (**Figura 6.27 e 6.28**) verrà riportato un "1", che indicherà un taglio necessario; nel caso invece in cui i due tratti rettilinei fossero equivalenti, non verrà riportato nulla e questo indicherà che il tubo non è soggetto a nessun taglio e quindi la misurazione non è necessaria.



**Figura 6.27: Tubazione che non necessita di tagli: la colonna ausiliaria (affiancata a quella del barcode) non contiene alcun "1". (Fonte interna MEHITS)**



T121004759				
Lung. taglio = 872.92 mm				
N. piega	Lung. alimen.	Ang. rotaz.	Raggio di piega	Ang. piega
1	45.90 mm	0.00 gradi	56.00 mm	28.27 gradi
2	98.79 mm	90.00 gradi	56.00 mm	90.00 gradi
3	293.00 mm	151.73 gradi	56.00 mm	90.00 gradi
4	118.00 mm	180.00 gradi	56.00 mm	90.00 gradi
5	25.70 mm			

T121004759	1,5	1	937	70	28	0	1	
				98	90	90		
				293	90	151		
				118	90	180		
				80	0	0	1	

**Figura 6.28: Tubazione che necessita di tagli ad entrambe le estremità, come riportato all'interno della colonna ausiliaria (Fonte interna MEHITS)**

### 6.2.3 Analisi dei miglioramenti ottenuti

I vantaggi ottenuti dall'individuazione dei limiti macchina e la loro esportazione nel file Excel di inserimento del programma di piega, oltre che l'utilizzo dello sviluppo reale per il calcolo della lunghezza di taglio, sono declinabili ad entrambi i reparti: piegatura tubi (PTB) e finitura tubi (FTB). Per il primo si tratta della *riduzione degli scarti* e di conseguenza ad un quantitativo di kg di rame risparmiato: questo dato è facilmente determinabile dal confronto tra le lunghezze di taglio totali all'interno dei programmi di piega, prima e dopo l'introduzione della formula ramificata del tratto rettilineo iniziale e finale. Infatti, avendo la suddivisione dei codici tubo per diametro, la massa di rame per la singola tubazione sarà:

$$\text{Massa [kg]} = \text{lunghezza [m]} * \text{densità [kg/m}^3] * 2\pi * \text{raggio [m]} * \text{spessore [m]}$$

Analizzando quindi i programmi di piega delle unità NX-W/WN ed NX2, sono stati ricavati i seguenti *kg medi risparmiati per singola unità* (Figura 6.30):

famiglia	saving rame (kg/unità)
BN1	1,24
BN3	1,9
BU2	1,97
BU3	0,47
BU4	1,58

**Figura 6.30: Risparmio di rame medio per unità (Fonte interna MEHITS)**

Per il calcolo del risparmio annuo di rame, è stata utilizzata come base di ripartizione le unità realizzate nell'anno fiscale 2020: moltiplicando quindi i risparmi medi unitari per le unità realizzate nell'anno precedente, si ottiene (Figura 6.31):

famiglia	saving rame (kg/unità)	total savings 21 (Kg)
BN1	1,24	364,9
BN3	1,9	161,5
BU2	1,97	386,5
BU3	0,47	58,6
BU4	1,58	292,8

Figura 6.31: Risparmio di rame annuo (Fonte interna MEHITS)

A questo punto è possibile moltiplicare il risparmio annuo per la differenza tra il prezzo di acquisto delle verghe e quello di vendita degli scarti di rame, ottenendo il *risparmio economico annuo* (Figura 6.32):

famiglia	saving rame (kg/unità)	total savings 21 (Kg)	savings FY21 (euro)
BN1	1,24	364,9	948,8
BN3	1,9	161,5	419,9
BU2	1,97	386,5	1005,0
BU3	0,47	58,6	152,4
BU4	1,58	292,8	761,2

Figura 6.32: Risparmi annui dovuti alla riduzione degli scarti (Fonte interna MEHITS)

L'attività di riduzione degli scarti ha quindi permesso di risparmiare circa 3500 €/anno.

Per quanto riguarda il reparto di finitura tubi, i benefici ottenuti si traducono nella diminuzione del tempo necessario alla lavorazione del carrello contenente il kit frigo dell'unità. In precedenza, ogni tubazione necessitava di un taglio ad entrambe le estremità, mentre ora, in certi casi, si ha la possibilità di non doverle neanche misurare grazie alla colonna ausiliaria del free pass: proprio grazie a quest'ultima è stato possibile determinare il numero medio di tagli necessari per il kit frigo di una unità per le famiglie con piping disegnato NX-W/WN ed NX2 (Figura 6.33):

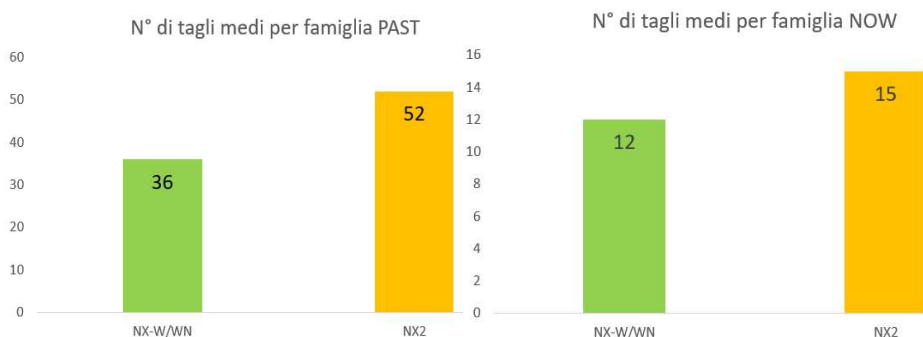


Figura 6.33: Numero di tagli per kit frigo prima e dopo la riduzione degli scarti (Fonte interna MEHITS)

Il numero di tagli necessari, perciò, è stato più che dimezzato. Inoltre, assumendo come tempo medio di taglio 0,5 minuti, si è calcolato il risparmio di tempo nella finitura del kit frigo:

$$\begin{aligned} \text{Risparmio NX-W/WN} &= (36-12)[\text{tagli}] * 0,5[\text{min/taglio}] = 12 [\text{min}] \\ \text{Risparmio NX2} &= (52-15)[\text{tagli}] * 0,5[\text{min/taglio}] = 18,5 [\text{min}] \end{aligned}$$

## 7. RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI

L'ultimo capitolo della tesi sarà incentrato sui risultati ottenuti attraverso l'introduzione del reparto di finitura tubi. Nello specifico:

- L'impatto sul rendimento operativo della fase impianto frigo, caratterizzata da una diminuzione del tempo totale di lavoro;
- L'abbassamento del carico di lavoro della postazione dedicata alla saldobrasatura delle tubazioni in rame, avvicinandosi al takt time richiesto dal mercato e quindi ottenendo un miglior bilanciamento di linea;
- Aumento generale nella qualità di prodotto, espressa attraverso la riduzione dell'IFR (*internal failure rate*), ovvero il numero di perdite rilevate nella fase di precollaudo dell'unità;

## 7.1 Il rendimento operativo della fase impianto frigo (IMF)

Durante i quattro mesi di avviamento e monitoraggio delle attività all'interno del reparto, oltre che in linea, è stato possibile ottenere qualche indicazione sull'effetto dello spostamento delle operazioni di finitura del tubo. Infatti, la loro esecuzione all'interno di un'area dedicata ed ottimizzata attraverso gli strumenti della Lean Production (**Capitolo 6**) ha permesso di ottenere una *riduzione dei tempi netti associati alla fase di saldobrasatura del circuito frigorifero*: confrontando i tempi effettivi timbrati delle unità NX-W/WN ed NX2 realizzate nell'anno passato con quelli delle unità che hanno subito il ciclo di finitura tubo, si è visto come il tempo totale della fase tecnica sia diminuito in maniera proporzionale alla dimensione della macchina (e quindi al numero di tubazioni all'interno del carrello). Questo risultato non sorprende più di tanto: la creazione di una cella di lavoro con poche operazioni eseguite in maniera standardizzata e più efficiente rispetto alla linea produttiva ha permesso di abbattere di una certa quantità i tempi associati al taglio, alle forature e alle allargature/rastremature. Focalizzandosi sulle unità condensate ad acqua (modello NX-W/WN), l'analisi dei rendimenti ha preso in esame 90 macchine prodotte in seguito all'avviamento del reparto, le quali sono state suddivise per taglia e comparate con i tempi rilevati dell'anno 2020. La differenza tra i due costituisce l'*effettivo risparmio di tempo dovuto allo spostamento delle attività di finitura*: le operazioni eseguite sulle tubazioni, infatti, sono esattamente le medesime. In **Figura 7.1** e **7.2** sono riportate le tabelle di calcolo in cui sono stati tracciate le performance delle unità:

BN1		LN05			
Materiale	Taglia	Conteggio Taglia	T.Eff 2020 [h]	T.Eff 2021 [h]	Δ T.Eff [h]
BN11100	122	4	6,96	6,10	0,86
BN11200	152	11	6,50	6,16	0,34
BN11300	182	7	6,67	6,08	0,59
BN11400	202	5	7,42	6,19	1,23
BN11500	252	2	6,57	6,20	0,37
BN11600	262	10	7,32	5,83	1,49
BN11700	302	2	6,69	4,07	2,62
BN11800	352	2	7,31	6,90	0,41
BN12100	402	5	7,63	6,68	0,95
BN12200	452	1	7,20	7,36	-0,16
BN12300	502	4	7,03	7,00	0,03
BN12400	552	2	6,69	6,76	-0,07
BN12500	602	0	7,37	0	0,00
BN12800	604	2	10,60	12,35	-1,75
BN12600	702	7	7,18	6,95	0,23
BN12900	704	2	12,80	10,45	2,35
BN12700	802	5	6,75	7,60	-0,85
BN13000	804	0	13,40	0	0,00
BN13100	904	2	12,35	14,16	-1,80
BN13300	1004	4	13,52	11,19	2,33
BN13400	1104	0	13,25	0	0,00
BN13500	1204	3	11,44	11,98	-0,54
<b>Macchine finite:</b>		80		<b>Media Risparmio [h]</b>	<b>0,58</b>

**Figura 7.1: Analisi dei tempi delle unità NX-W (BN1)** (Fonte interna MEHITS)

BN3		LN05			
Materiale	Taglia	Conteggio Taglia	T.Eff 2020 [h]	T.Eff 2021 [h]	Δ T.Eff [h]
BN31100	122	0	10,90	0	0,00
BN31200	152	1	10,26	9,87	0,38
BN31300	182	0	8,741	0	0,00
BN31400	202	0	10,55	0	0,00
BN31500	252	2	11,74	10,54	1,20
BN31600	262	0	11,58	0	0,00
BN31700	302	0	11,00	0	0,00
BN31800	352	0	12,57	0	0,00
BN32100	402	1	11,95	11,49	0,46
BN32200	452	1	13,46	12,64	0,82
BN32300	502	0	13,16	0	0,00
BN32400	552	1	13,62	11,80	1,82
BN32500	602	0	12,37	0	0,00
BN32600	702	0	16,9	0	0,00
BN32700	802	0	0	0	0,00
BN32800	604	0	20,20	0	0,00
BN32900	704	0	0	0	0,00
BN33000	804	0	22,80	0	0,00
BN33100	904	2	25,631	23,30	2,33
BN33300	1004	0	22,3	0	0,00
BN33500	1204	2	20,671	21,66	-0,99
Macchine finite:		10		<b>Media Risparmio [h]</b>	<b>0,86</b>

**Figura 7.2: Analisi dei tempi delle unità NX-WN (BN3) (Fonte interna MEHITS)**

Quindi, facendo una semplice media pesata sul numero di unità di quella particolare taglia del tempo risparmiato prima e dopo (colonna di destra) si può stabilire che, per le famiglie BN1 e BN3 c'è stato un risparmio effettivo rispettivamente di 0,58 e 0,86 ore per ogni macchina. Riportando questo saving unitario al mix produttivo dell'anno 2021, composto da 240 NX-W e 36 NX-WN, è possibile calcolare il risparmio annuale in h/uomo:

$$\text{Risparmio annuale [h/anno]} = 0,58 \text{ [h/unità]} * 240 \text{ [unità/anno]} + 0,86 \text{ [h/unità]} * 36 \text{ [unità/anno]} = 170 \text{ [h/anno]}$$

Che si traduce, in termini economici, in:

$$\text{Risparmio annuale [€/anno]} = 170 \text{ [h/anno]} * 34,2 \text{ [€/h]} = 5814 \text{ [€/anno]}$$

Ovvero, dalle sole unità condensate ad acqua, è ragionevole ottenere un risparmio di circa 5800€ all'anno grazie all'efficientamento delle operazioni di finitura in un reparto dedicato. Un'analisi speculare può essere fatta anche sulle unità condensate ad aria *modello NX2* (con evaporatore a fascio tubiero e a piastre, famiglia BU2, BU3, BU4), in cui sono state prese in esame 50 unità transitate all'interno del reparto di finitura tubi e confrontate con i tempi della fase impianto frigo dell'anno precedente. I risultati che seguono sono però da prendere con le dovute precauzioni, in quanto i modelli NX2 sono relativamente nuovi e si hanno a disposizione pochi dati passati: mentre le unità condensate ad acqua NX-W/WN possono essere considerate "padroneggiate" dagli operatori a causa dell'esperienza acquisita dai grandi volumi prodotti negli anni precedenti, le unità NX2 realizzate nel 2020 sono davvero esigue. Non è sbagliato perciò considerare il fatto che le seguenti macchine sono ancora caratterizzate dalla



cosiddetta “*curva di apprendimento*”, la quale farà in modo che, all’aumentare del numero di macchine prodotte, l’operatore acquisirà una maggior padronanza e conoscenza del circuito frigorifero che consentirà un abbassamento progressivo dei tempi di saldobrasatura del circuito frigorifero: per questo motivo, i risparmi di tempo rilevati potrebbero non essere tutti imputabili alla finitura del tubo fuori linea. Detto ciò, analogamente alle unità condensate ad acqua, sono stati tracciate le performance delle NX2 (**Figura 7.3, 7.4 e 7.5**):

BU2		LN01/2/3			
Materiale	Taglia	Conteggio Taglia	T.Eff 2020 [h]	T.Eff 2021 [h]	Δ T.Eff [h]
BU22700	0184P	2	18,49	14,530	3,958
BU22800	0214P	0	17,685	0,000	0,000
BU22900	0244P	0	15,670	0,000	0,000
BU23100	0264P	5	15,463	14,039	1,424
BU23300	0294P	6	18,635	16,643	1,993
BU23400	0334P	4	19,289	17,125	2,165
BU23500	0374P	2	20,279	15,625	4,655
Macchine finite:		19		<b>Media Risparmio [h]</b>	<b>2,366</b>

**Figura 7.3: Analisi dei tempi delle unità NX2-P (BU2) (Fonte interna MEHITS)**

BU3		LN01/2/3			
Materiale	Taglia	Conteggio Taglia	T.Eff 2020 [h]	T.Eff 2021 [h]	Δ T.Eff [h]
BU32700	0184T	2	16,62	16,691	-0,068
BU32800	0214T	0	16,972	0,000	0,000
BU32900	0244T	0	15,516	0,000	0,000
BU33100	0264T	4	15,194	14,569	0,625
BU33300	0294T	0	20,342	0,000	0,000
BU33400	0334T	0	18,475	0,000	0,000
BU33500	0374T	4	17,583	17,267	0,316
Macchine finite:		10		<b>Media Risparmio [h]</b>	<b>0,363</b>

**Figura 7.4: Analisi dei tempi delle unità NX2-T (BU3) (Fonte interna MEHITS)**

BU4		LN01/2/3			
Materiale	Taglia	Conteggio Taglia	T.Eff 2020 [h]	T.Eff 2021 [h]	Δ T.Eff [h]
BU43700	404	1	20,76	13,844	6,918
BU44200	424	8	21,590	19,550	2,040
BU45100	464	3	21,541	19,241	2,300
BU45200	515	3	21,282	20,486	0,795
BU45500	576	1	23,664	26,489	-2,826
BU45900	585	0	24,334	0,000	0,000
BU46000	636	0	28,516	0,000	0,000
BU46100	676	0	27,293	0,000	0,000
BU46200	706	0	27,259	0,000	0,000
BU46300	768	0	34,939	0,000	0,000
BU46500	808	2	36,186	35,980	0,206
BU46800	848	0	34,391	0,000	0,000
BU46900	898	0	39,019	0,000	0,000
BU47000	928	3	37,586	36,910	0,676
Macchine finite:		21		<b>Media Risparmio [h]</b>	<b>1,530</b>

**Figura 7.5: Analisi dei tempi delle unità NX2-Multiscroll (BU4) (Fonte interna MEHITS)**

Il tempo risparmiato, in questo caso, è decisamente più alto rispetto al precedente, essendo unità composte da un maggior numero di tubazioni, e può essere anch’esso calcolato come saving annuale sul mix produttivo del 2021:

$$\text{Risparmio annuale [h/anno]} = 2,366 \text{ [h/unità]} * 92[\text{unità}] + 0,363 \text{ [h/unità]} * 62[\text{unità}] + 1,530 \text{ [h/unità]} * 76[\text{unità}] = 356 \text{ [h/anno]}$$

$$\text{Risparmio annuale [€/anno]} = 356 \text{ [h/anno]} * 34,2[\text{€/h}] = 12175 \text{ [€/anno]}$$

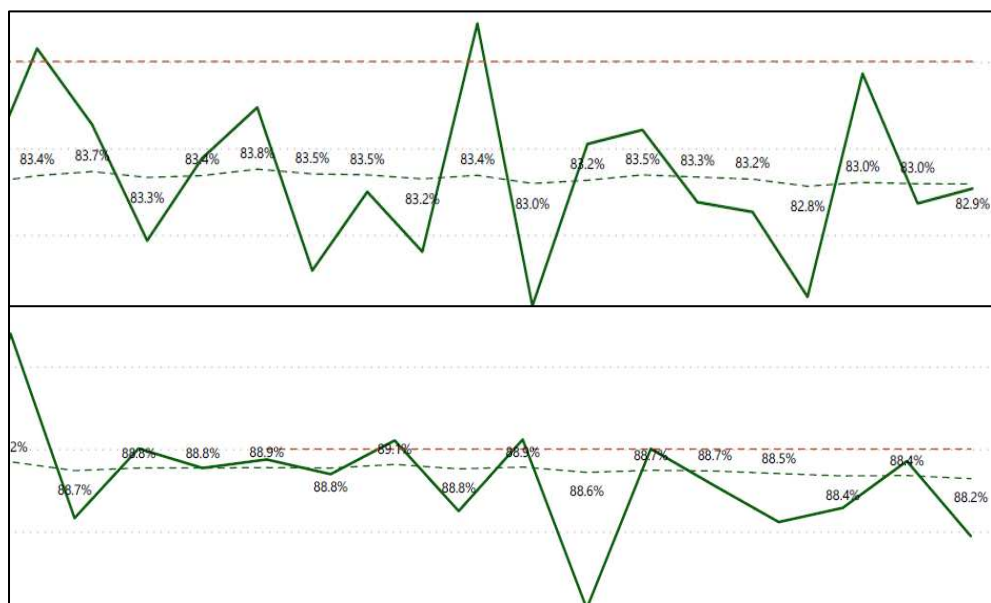
Nel **Paragrafo 5.2.2** si è parlato di **rendimento operativo**, ovvero il rapporto tra tempo effettivo (timbrato sull'unità) e tempo previsto (un tempo "storico" associato ad ogni fase tecnica della macchina ed utilizzato dal controllo di gestione per la costificazione di prodotto). Ai risparmi di tempo sopra evidenziati è quindi opportuno associare anche *l'incremento di rendimento operativo della fase IMF* associato alla famiglia di prodotto (**Figura 7.6**):



**Figura 7.6: Trend del rendimento operativo delle unità NX-W/WN, prima dell'introduzione della finitura del tubo (sopra) e successivamente (sotto)** (Fonte interna MEHITS)

Dai grafici si può notare come la linea tratteggiata verde, che rappresenta il rendimento operativo cumulato delle settimane lavorative, si assesti al 102,9% nella situazione passata<sup>59</sup>, mentre successivamente all'avviamento della finitura si raggiunga un valore del 107,6%. Questo rispecchia i risultati precedenti: il numeratore (tempo previsto) non è variato, mentre invece è diminuito il denominatore (tempo effettivo), innalzando il valore del loro rapporto. Stesso ragionamento può essere fatto per gli NX2, che hanno visto crescere il loro rendimento della fase frigo dall'82,9% all'88,2% (**Figura 7.7**):

<sup>59</sup> Come intervallo temporale di riferimento è stato scelto di considerare l'anno fiscale 2020;



**Figura 7.6: Trend del rendimento operativo delle unità NX2, prima dell'introduzione delle finitura del tubo (sopra) e successivamente (sotto) (Fonte interna MEHITS)**

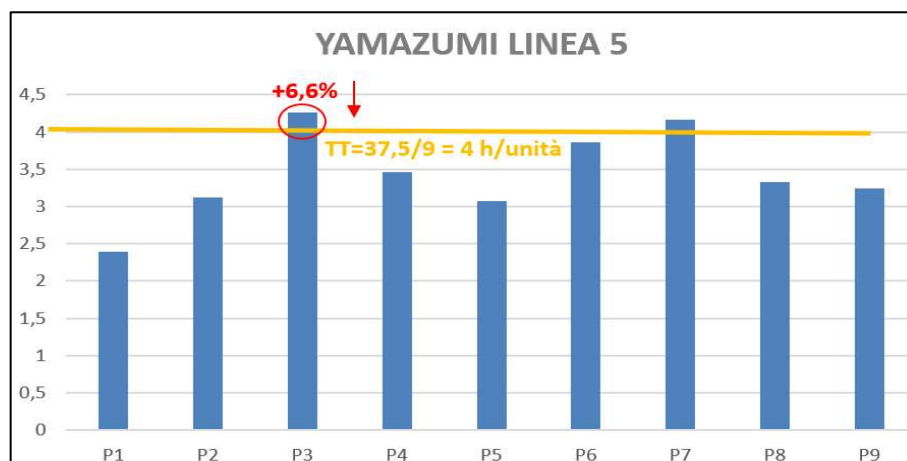
## 7.2 Il bilanciamento della linea

All'interno del **Paragrafo 3.3** è stato riportato uno dei principali problemi che affligge le linee produttive: lo sbilanciamento dei carichi di lavoro assegnati alle varie postazioni. Un carico di lavoro che supera il naturale ritmo della linea (ovvero il takt time, il "battito" che si allinea alla domanda di mercato) porta inevitabilmente a due situazioni opposte: la stazione di lavoro precedente si ritrova bloccata, non riuscendo a "spingere" in avanti la macchina (*blocking*) mentre la successiva ozia, non trovando nessuna unità su cui lavorare ("*starving*"). Dagli Yamazumi Chart di alcune linee di riferimento<sup>60</sup> è stata individuata come vincolo<sup>61</sup> la stazione di lavoro dedicata alla saldobrasatura dell'impianto frigorifero: come contromisura, sono state spostate alcune operazioni (taglio, forature e bicchierature) in maniera tale da ridurre il suo carico. Dall'analisi delle timbrature effettuate dagli operatori di linea, è possibile costruire lo Yamazumi Chart della situazione attuale, verificando di quanto si è abbassata la colonna a cui fa riferimento la postazione vincolo nelle linee 2 e 5. È importante evidenziare il fatto che il tempo medio impiegato in reparto per ogni unità non può essere sottratto nella stessa misura al carico di lavoro passato della stazione di saldobrasatura della corrispondente linea, in quanto in esse, come riportato nel **Paragrafo 3.2**, vengono realizzate unità con gradi di progettazione tecnica differente e vi è quindi la forte coesistenza di macchine con piping disegnato (su cui è stato possibile eseguire la finitura del tubo, e ci

<sup>60</sup> Nel **Paragrafo 3.3** sono state riportate come esempio le linee 2 e 5, ma il problema sussiste all'interno anche delle restanti linee produttive;

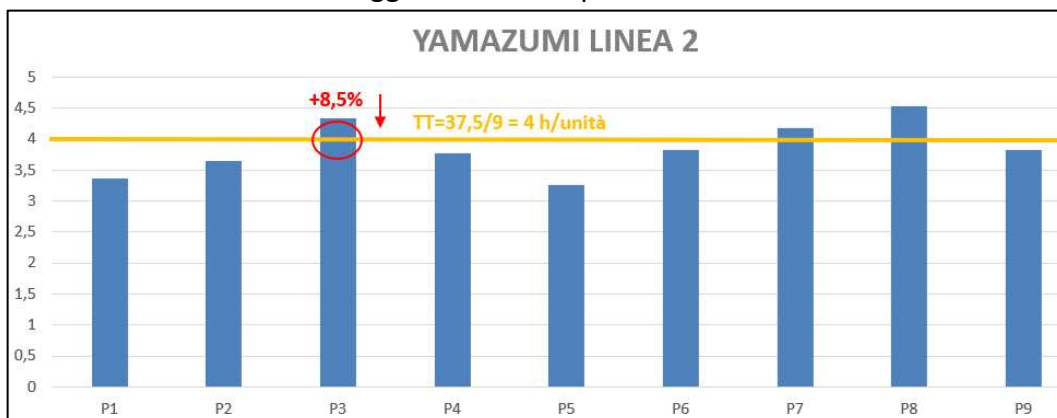
<sup>61</sup> Postazione con carico di lavoro che eccede il takt time;

stiamo quindi riferendo alle famiglie BN\* e BU\*) e macchine con tubazioni non codificate. Per questo motivo, il carico di lavoro all'interno della postazione oscillerà a seconda del mix produttivo (giornaliero, settimanale o mensile) di unità differenti programmato dall'ufficio logistico<sup>62</sup>. Detto ciò, resta comunque vero che, in media, il carico di lavoro dedicato alla saldobrasatura effettuata in linea è stato abbassato di una certa quota parte, come visibile in **Figura 7.7** e **7.8**:



**Figura 7.7: Yamazumi Chart di Linea 5 con finitura tubi in reparto** (Fonte interna MEHITS)

Per quanto riguarda Linea 5 (quindi, per le macchine condensate ad acqua) il carico di lavoro medio della postazione P3 passa da 4,5 h/unità a 4.2 h/unità, che corrisponde rispettivamente ad una riduzione dal +11,6% al +6,6% rispetto al takt time di linea fissato a 4h/unità. Questo fa in modo che le macchine riescano ad avanzare più velocemente oltre la postazione P3 ed avere un flusso regolare e adenzato che si avvicina maggiormente alla pulsazione richiesta dal mercato.



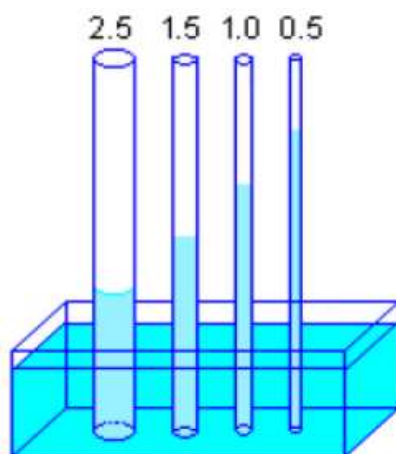
**Figura 7.8: Yamazumi Chart di Linea 5 con finitura tubi in reparto** (Fonte interna MEHITS)

<sup>62</sup> Gli sviluppi futuri sono comunque orientati alla progettazione di nuove famiglie di prodotto con circuito frigo completamente disegnato e codificato

In Linea 2, invece, il carico medio della postazione P3 passa da 4.6 h/unità a 4.4 h/unità, portando il differenziale rispetto il takt dal +13,6% al +8,5%. Purtroppo, in entrambi i casi di riferimento, non è stato pienamente raggiunto l'obiettivo di allineamento del carico di lavoro al takt di linea: il primo motivo, come già spiegato, è dovuto al fatto che si è in presenza di *linee mixed model* e non di *single model*, con carichi di lavoro diversificati in funzione di tipologia di macchina richiesta dal cliente; il secondo motivo risiede nel particolare periodo storico in cui stanno vivendo la maggioranza delle aziende di tutto il mondo, caratterizzato dall'incertezza e dalle *problematiche dell'approvvigionamento dei materiali*. Infatti, sono stati molti i casi in cui l'unità è dovuta rimanere ferma in linea in attesa dell'arrivo di un componente critico (come schede elettroniche e scambiatori di calore) e questo ha provocato rallentamenti nelle lavorazioni e, di conseguenza, allungamenti del lead time di attraversamento della macchina.

### 7.3 Qualità

Il termine *qualità* può assumere molte sfumature se inserito nel contesto dell'assemblaggio di un chiller o di una pompa di calore. Se però ci riferiamo al processo di saldobrasatura del circuito frigorifero e, in particolare, alla finitura delle tubazioni in rame, una caratteristica che sicuramente è in grado di incidere sulla buona realizzazione del prodotto è la *tolleranza negli accoppiamenti* fra le varie tubazioni di rame e gli elementi che compongono il circuito. Durante la fase di brasatura<sup>63</sup>, che può essere di tipo *rame-rame* (tra due tubazioni del circuito frigorifero), *rame-acciaio* (tra tubazione e scambiatori di calore e/o compressori) oppure *rame-ottone* (per prese di pressione e boccole) un fattore che determina la buona riuscita dell'unione tra i due componenti è la **capillarità (Figura 7.9)**:



**Figura 7.9: Rappresentazione semplificata del fenomeno della capillarità** (Fonte interna MEHITS)

<sup>63</sup>È importante distinguere la brasatura dalla saldatura. Nella brasatura avviene l'accoppiamento di due elementi tramite la fusione del materiale d'apporto che, una volta solidificato, ne crea l'unione. Nella saldatura, invece, uno dei due elementi fonde, congiungendosi al secondo;

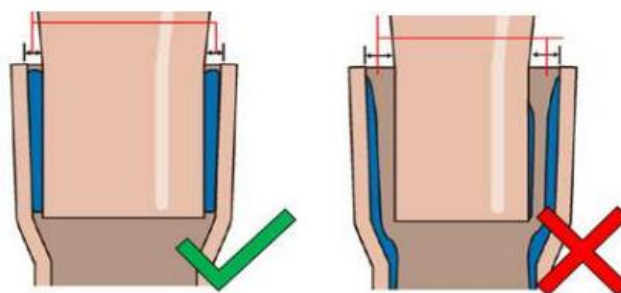


La capillarità è la capacità di un liquido di risalire attraverso le pareti di una sezione stretta tramite forze di coesione, adesione e tensione superficiale. Questo fattore entra in gioco nella penetrazione del materiale d'apporto<sup>64</sup>, il quale, durante la sua fusione mediante il calore prodotto dalla fiamma del cannello (Figura 7.10), deve essere in grado di occupare tutto il volume presente tra i due componenti di unire (ottenuta grazie alla "bicchieratura", Paragrafo 4.1.2).



**Figura 7.10: Riscaldamento del materiale d'apporto (bacchetta) mediante l'utilizzo del cannello** (Fonte interna MEHITS)

Infatti, se il gioco tra le pareti delle due tubazioni è troppo piccolo, il materiale d'apporto non avrà spazio per penetrare completamente. Al contrario, se il gioco è eccessivo, esso si solidificherà solamente su una delle due pareti, non congiungendo i due elementi. Da degli studi effettuati sul processo di brasatura risulta come il gioco ottimale tra i due componenti da unire sia di 0,1-0,2 mm: questo gioco, seppur molto ridotto, permette la distribuzione ottimale del materiale lungo le pareti sfruttando il fenomeno della capillarità (Figura 7.11).



**Figura 7.11: Accoppiamento corretto (sinistra) con materiale che occupa in maniera omogeneo il volume tra le due pareti ed accoppiamento non corretto (destra) a causa del gioco troppo elevato tra le due tubazioni** (Fonte interna MEHITS)

<sup>64</sup> Per materiale d'apporto si intendono le "bacchette" di rame oppure argentana utilizzate nel processo di brasatura;

La macchina per l'espansione/rastrematura (**Paragrafo 5.1**) è in grado di bicchierare le tubazioni con tolleranze di 0,01 mm, permettendo quindi di ottenere il gioco che meglio si adatta alla situazione: unione tra due tubi, tra un tubo ed una valvola e molti altri casi. Precedentemente all'avviamento del reparto di finitura, la macchina veniva utilizzata molto raramente, non esistendo un flusso di lavoro che riuscisse ad includerla pienamente, e si provvedeva all'espansione delle estremità delle tubazioni per mezzo dell'espansore ad aria (**Figura 7.12**) in dotazione ad ogni linea produttiva.

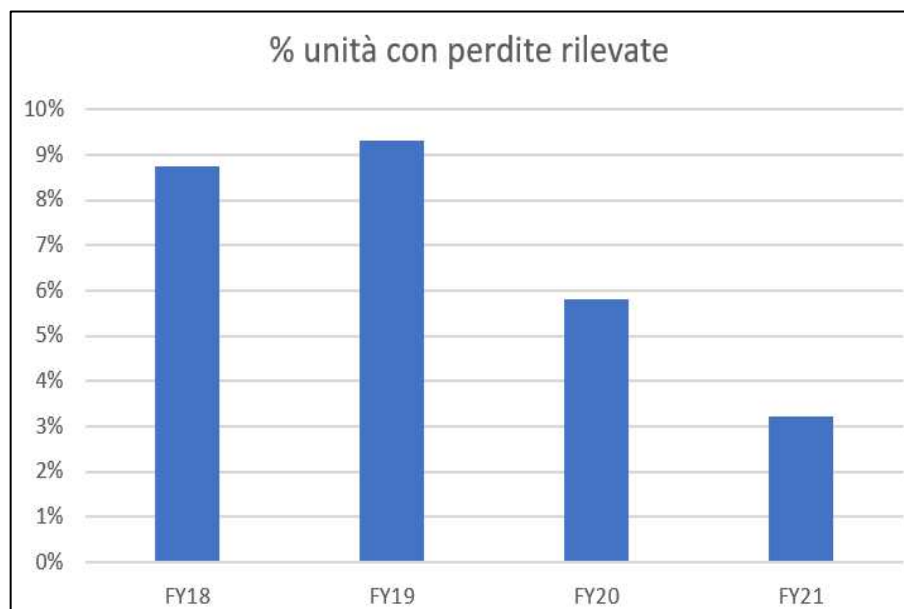


**Figura 7.12: Espansore ad aria** (Fonte interna MEHITS)

Questo strumento, però, presenta dei limiti, in quanto la sua precisione dipende ad esempio dallo stato di usura delle testine rimovibili e dalla pressione esercitata dall'aria compressa e non è quindi altrettanto affidabile. Dall'analisi dell'*IFR* (*internal failure rate*), ovvero il numero di problemi rilevati nella macchina durante la fase di collaudo, è stato riscontrato come, all'aumentare del numero di unità completamente disegnate all'interno del mix produttivo, questo diminuisca. Infatti, la possibilità di consultare i disegni delle tubazioni e lavorarli rispettando le indicazioni fornite dall'ufficio tecnico consente di ottenere quelle tolleranze e quei giochi che influiscono sulla qualità dei processi, nel nostro caso, la brasatura delle tubazioni e dei componenti del circuito frigorifero. Nella **Figura 7.13** si può notare come l'incidenza delle perdite riferite all'impianto frigo rilevate sulle unità in fase di collaudo sia passata dal 6% al 3%, ovvero sono state dimezzate.



anno	plant	unità	I-frig	%
FY18	M11	2151	188	9%
FY19	M11	2114	197	9%
FY20	M11	2070	120	6%
FY21	M11	1826	59	3%



**Figura 7.13: % di unità con perdite rilevate negli anni 2018-2021** (Fonte interna MEHITS)

Certamente, il merito della riduzione dell'IFR non è da attribuirsi solamente alla finitura delle tubazioni, ma le tolleranze ed i giochi creati dalla macchina rastrematrice innalzano di molto la qualità degli accoppiamenti meccanici tra i componenti del circuito, rendendo meno probabile la cattiva penetrazione della bacchetta di materiale d'apporto nel processo di brasatura.

#### 7.4 Considerazioni finali

Le attività riportate all'interno delle pagine lette in precedenza hanno permesso di mettere in piedi un nuovo reparto che, anche se di modeste dimensioni e tecnologia, si è rivelato una scelta vincente sotto tre diversi punti di vista:

- Abbassamento del carico di lavoro della postazione P3, risultata un vincolo nell'inseguimento della produzione a takt di linea;
- Aumento del rendimento operativo di linea, con risparmi di tempo attorno ai 15000€/anno;
- Riduzione delle perdite del circuito frigo misurate nella famiglia NX-W del 50%, con un valore raggiunto del 3%;

Questa nuova modalità di lavoro ha offerto anche un ottimo spunto per future implementazioni verso la riduzione del lead time di linea: nell'immediato futuro, infatti, vi è la volontà di allargare l'ambito delle lavorazioni riguardanti il circuito

frigorifero delle unità, come la saldatura in reparto delle boccole e la realizzazione dei “gruppetti” frigo in un’area dedicata. Questo è stato per me motivo di grande soddisfazione lavorativa ma, prima di tutto, personale: tra le prime nozioni che ho appreso, dopo essere stato catapultato dai banchi dell’università a quelli di lavoro del reparto piegatubi, c’è innanzitutto la consapevolezza che una azienda non è formata da macchinari ma bensì da *persone*. In questi sei mesi ho avuto la fortuna di collaborare con persone che hanno sempre voluto darmi una mano e mettere a disposizione le loro conoscenze e, solo grazie al loro coinvolgimento, è stato possibile tutto ciò. Voglio chiudere questo progetto con una frase di Taiichi Ohno che lessi tempo fa ma che, solo ora, riesco a comprendere:

"Le risorse umane sono qualcosa al di sopra di ogni misurazione. Le capacità di queste risorse possono estendersi illimitatamente quando ogni persona comincia a pensare"

## Bibliografia e sitografia

1. Claudio Zilio, Università degli studi di Padova, *Dispense di Gestione delle Energia Rinnovabili*, 2019;
2. Renato Lazzarin, Università degli studi di Padova, *Dispense di Gestione dell'Energia*, 2019;
3. Roberto Panizzolo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Snella dei Processi*, 2019;
4. Pamela Danese, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Organizzazione della produzione e dei sistemi logistici 1*, 2018
5. Stefano Biazzo, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Gestione Sviluppo Prodotto*, 2019:
6. Ilenia Zennaro, Università degli Studi di Padova, *Dispense di Impianti Meccanici*, 2018;
7. Daria Battini, Università degli Studi di Padova, *Corso di Impianti Industriali*, 2020;
8. Valeria Balassone, *Induction Plan - Human Resources & Talent Acquisition*, 2021;
9. Alberto Riva, *Induction Plan - BU CHiller & Heat Pumps*, 2021;
10. Marco Vialetto, *Induction Plan - Sales & Marketing*, 2021;
11. Luca Zaffaina, *Induction Plan - KPO & Industrial Operations*, 2021;
12. Jeffrey Liker & Luciano Attolico, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, ed. Ulrico Hoepli Milano, 2015;
13. Taiichi Ohno, *Lo spirito Toyota: il modello giapponese della qualità totale. E il suo prezzo*, ed. Piccola Biblioteca Einaudi, 1978;
14. Womack, Jones & Roos, *The machine that changed the world*, 1990;
15. Masaaki Imai, *Gemba Kaizen: un approccio operativo alle strategie del miglioramento continuo*, ed. Franco Angeli, 2015;

16. Paul S. Adler, University of Southern California *Taylorismo democratico: il sistema di produzione Toyota nel caso NUMMI*, 1993;
17. King P.L, *Lean thinking per le aziende di processo: gestire la complessità senza sprechi per essere più flessibili e veloci*, Ulrico Hoepli Editore S.p.A., Milano, 2009;
18. Slack N., Brandon-Jones A., Danese P., Romano P., Vinelli A., *Gestione delle Operations e dei processi*, Quinta edizione, Pearson Italia, Milano – Torino, 2019;
19. Redazione Mondopmi, Redazione Mondopmi, *Distretti Industriali: cosa sono e quali sono i più importanti in Italia?*, MONDOPMI, [www.mondopmi.com](http://www.mondopmi.com);
20. Distribuzione Moderna, *Il distretto del freddo punta allo sviluppo*, [www.distribuzionemoderna.it](http://www.distribuzionemoderna.it);
21. ManPower, *Distretto del condizionamento e della refrigerazione*, [www.manpower.it](http://www.manpower.it);
22. Redazione Zerosottozero, *Veneto: filiera del freddo e sinergie con il futuro*, [www.zerosottozero.it](http://www.zerosottozero.it);
23. Clusters And Industrial Networks, *I distretti industriali del veneto*, [www.venetoclusters.it](http://www.venetoclusters.it);
24. Thomas Nowak, A.Marina, S. Spoelstra, H.A Zondag, *An estimation of the industrial heat pump market potential*, 2021.
25. <sup>1</sup> IlSoleOvunque, *Le pompe di calore – Espansione diretta e climatizzazione idronica*, [www.ilsoleovunque.it](http://www.ilsoleovunque.it), 2020;
26. Mitsubishi Electric Hydronics & IT cooling Systems S.p.A., *Glossario*, [www.melcohit.com](http://www.melcohit.com), 2021;
27. Tuttogreen, *Guida pratica alla green economy*, [www.tuttogreen.it](http://www.tuttogreen.it), 2010;
28. <sup>1</sup> Comunicati Stampa, *Climatizzazione: Nasce Mitsubishi Electric Hydronic & IT Cooling System S.p.A.*, [www.comunicatistampa.com](http://www.comunicatistampa.com), 2016;
29. Wikipedia, *Climaveneta*, [en.wikipedia.org/wiki/Climaveneta](http://en.wikipedia.org/wiki/Climaveneta) ;

30. Diritto24, *DI TANNO E ASSOCIATI: con DelClima nell'integrazione con Mitsubishi Electric*, [www.diritto24.ilsole24ore.com](http://www.diritto24.ilsole24ore.com), 10/01/2017;
31. Mitsubishi Electric, *Mitsubishi Electric Nel Mondo*, 2021, [www.mitsubishielectric.com](http://www.mitsubishielectric.com);
32. <sup>1</sup> Qualitiamo, *Lean Manufacturing: usare meno risorse per ottenere di più*, [www.qualitiamo.com](http://www.qualitiamo.com), 2021;
33. CaricaVincente, *Piramide di Maslow: spiegazione definitiva della scala dei bisogni*, [www.caricavincente.it](http://www.caricavincente.it), 2020;
34. StateOfMind, *Motivazione e Piramide di Maslow – Introduzione alla psicologia Nr.08*, [www.stateofmind.it](http://www.stateofmind.it), 2015;
35. ICHI.PRO, *Dal peggiore al migliore: lezioni da NUMMI*, [www.ichi.pro.it](http://www.ichi.pro.it);
36. Benchmark Sixsigma, *Kaizen, Kaikaku, Kakushin*, [www.benchmarksixsigma.com](http://www.benchmarksixsigma.com), 2017;
37. OraConsulting, *I nemici della Lean Organization: gli sprechi*, [www.oraconsulting.altervista.com](http://www.oraconsulting.altervista.com), 2021;