



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea

**Sviluppo di una cella produttiva secondo la logica chaku-
chaku in CAREL INDUSTRIES SPA**

Relatore: Ch.mo Prof Roberto Panizzolo

Correlatori: Ing. Alberto Agnoletto, Ing. Pietro Fabris

Laureando: RICCARDO RINALDI

Matricola: 1036018

ANNO ACCADEMICO 2013 – 2014

A Bruno e Ida

SOMMARIO

In questa tesi è stato affrontato lo studio e la riprogettazione di una linea produttiva in CAREL INDUSTRIES SPA. In particolare le linee oggetto dello studio sono due, e trasformano schede elettroniche in prodotto finito. L'impianto produttivo in esame presentava diverse criticità tra le quali un basso rendimento globale, indice di scarso utilizzo delle risorse, e una gestione della produzione complessa. La direzione intrapresa da CAREL è stata quella di unire le due linee presenti in una cella di produzione che seguisse i principi della lean manufacturing: in particolare la cella implementata segue la logica chaku-chaku, che in giapponese significa carica-carica, una cella dove l'operatore trasporta il pezzo dalla stazione n alla stazione n+1, fino all'ottenimento del prodotto finito. Grazie alla riprogettazione del layout, di alcuni macchinari e del metodo di lavoro sono stati ottenuti ottimi risultati in termini di rendimento globale e di semplicità di gestione. Il layout scelto è a forma di "C", e questo permette un risparmio di movimenti da parte degli operatori rispetto al precedente layout lineare. Le macchine sono state pensate per essere dedicate e integrate nella nuova cella produttiva, mentre in precedenza le macchine di grandi dimensioni, servivano diverse linee, una tipica peculiarità dell'organizzazione per job-shop. Grazie allo sviluppo del metodo di lavoro, effettuato con le carte-uomo macchina, è stato possibile avviare la produzione con un solo operatore, e anche questo ha contribuito a ottenere i vantaggi sopracitati.

Indice

Introduzione	3
Capitolo 1 L'AZIENDA CAREL S.p.A.	5
1.1 STORIA DELL'AZIENDA	5
1.2 LE TAPPE FONDAMENTALI	8
1.3 GAMMA DI PRODOTTI OFFERTI SUL MERCATO	10
1.4 MISSION.....	12
1.5 LE FILIALI	13
1.6 MERCATI E CLIENTI.....	16
Capitolo 2 LA LEAN MANUFACTURING.....	19
2.1 I 5 principi Lean	19
2.2 I 7 sprechi	23
2.3 Gli strumenti della Lean	27
2.3.1 Il Jidoka.....	28
2.3.2 Il Just in Time	29
2.3.3 Le 5 S	30
2.3.4 La Total Production Maintenance.....	32
2.3.5 Lo SMED	33
Capitolo 3 SISTEMI DI PRODUZIONE A CELLE	35
3.1 Caratteristiche di una cella	36
3.2 Prevalenza del layout a U	38
3.3 One piece flow.....	40
3.4 Dimensione del team di lavoro.....	41
3.5 Domanda caratteristica	42
3.6 Il valore della cella	42

3.7	Design e implementazione di una cella Lean	43
3.7.1	Dove trovare le migliori opportunità.....	44
3.7.2	Fasi di implementazione della cella	44
3.8	Team di progetto.....	47
3.9	Analisi e design	48
3.9.1	Selezione dei prodotti e delle operazioni	48
3.9.2	Calcolare il takt-time.....	48
3.9.3	Selezionare l'equipaggiamento per la cella.....	49
3.9.4	Capacità di processo.....	49
3.9.5	Analisi della capacità degli equipaggiamenti.....	50
3.9.6	Layout concettuale	51
3.9.7	Design del lavoro operatore	52
3.9.8	Design dettagliato.....	55
3.10	Installazione degli equipaggiamenti	56
3.10.1	Restauro e miglioramento delle attrezzature	57
3.10.2	La finestra di produzione.....	57
3.11	Partenza della produzione e perfezionamento della cella	58
Capitolo 4	I SISTEMI PRODUTTIVI IN CAREL INDUSTRIES SPA.....	61
4.1	Panoramica sulla struttura produttiva in CAREL.....	61
4.2	Linee prodotto finito	66
4.3	Situazione iniziale nella value stream 2	68
Capitolo 5	CELLA DI PRODUZIONE IN OTTICA CHAKU-CHAKU.....	71
5.1	Chaku-Chaku, la cella di seconda generazione	71
5.2	Cella chaku-chaku in CAREL	72
5.3	Organizzazione del lavoro	76
5.4	Risultati e conclusioni	88

Introduzione

Il progetto di tesi si è svolto all'interno delle operations di CAREL: in particolare viene trattata la riprogettazione di una linea di produzione sita al primo piano dello stabilimento produttivo, dove avviene la produzione e l'assemblaggio elettronico. Le linee prese in esame sono la linea1 e la linea2: queste erano disposte con layout lineare e appoggiate alla grande dorsale di saldatura, che processava semilavorati provenienti da molte linee presenti nello stabilimento. Questa organizzazione è un tipico modello di organizzazione per reparti o job-shop, infatti una macchina processa tutti i semilavorati. Il progetto ha come obiettivo di sviluppare un nuovo impianto produttivo, in particolare una cella di produzione in ottica lean manufacturing.

Il modello di produzione per reparti presenta diversi problemi tra i quali un grande tempo di attraversamento, un alto lead time, spazio occupato non ottimizzato e flusso di produzione caotico, che implica una gestione e un controllo della produzione complessi.

L'obiettivo della trattazione è quello di sviluppare un impianto produttivo che sostituisce il precedente risolvendo le criticità dovute alla vecchia modalità di produzione. In particolare l'attenzione si è concentrata nella riduzione dei lotti di lavoro, nell'ottimizzazione del rendimento globale delle risorse responsabili della trasformazione del prodotto, nella riduzione dello spazio occupato in azienda, e nella semplificazione della gestione e programmazione della produzione.

La risoluzione delle criticità del vecchio modello produttivo è avvenuta grazie allo sviluppo di una cella produttiva di concezione lean. Ricerca di nuovi macchinari da integrare nella cella, progettazione del nuovo layout compatto a "C" e sviluppo del nuovo metodo di lavoro e carico delle risorse, avvenuto con la yamazumi chart e la carta uomo macchina, hanno portato a buoni risultati.

La tesi si articola in 5 capitoli di cui darò in seguito una breve descrizione:

- Capitolo1: in questo capitolo è presente una descrizione dell'azienda dove il progetto di tesi ha avuto luogo: CAREL INDUSTRIES SPA. Vengono qui descritte le tappe fondamentali dell'azienda, le soluzioni che l'azienda propone e i mercati nella quale essa opera.
- Capitolo2: l'azienda da qualche anno ha intrapreso la rivoluzione in ottica lean manufacturing, una filosofia aziendale ispirata al Toyota Production System, che mira a minimizzare gli sprechi fino ad annullarli. Il capitolo è una trattazione della teoria della lean.
- Capitolo3: questo capitolo tratta la teoria delle celle di produzione con macchine: come vanno progettate e implementate.
- Capitolo4: per capire se il progetto di tesi ha raggiunto gli obiettivi, bisogna partire dalla situazione passata, e il capitolo4 presenta la disposizione e la realtà produttiva precedente al progetto.
- Capitolo5: descrive come è stata sviluppata la cella, con quali strumenti, e i risultati operativi raggiunti.

Capitolo 1 L'AZIENDA CAREL

S.p.A.

1.1 STORIA DELL'AZIENDA

CAREL S.p.A. è un'importante realtà internazionale nella produzione di umidificatori e di controlli elettronici a microprocessore per la gestione del “freddo”.

CAREL, fondata nel 1973 nella provincia di Padova, ha iniziato come terzista di un'impresa di condizionamento dell'aria per la produzione di armadi elettrici. Proprio da questa sua prima attività l'azienda prende il nome: Costruzione Armadi Elettrici. Il punto di svolta avviene all'inizio degli anni Ottanta, quando CAREL avvia, prima in Europa, la progettazione e la produzione di un controllo a micro processore per condizionatori di precisione destinati a centri di calcolo. L'esperienza acquisita nel settore del condizionamento dell'aria le permette di iniziare, a metà degli anni Ottanta, per prima in Italia, la progettazione e la produzione di controllori



Figura 1.1 Sede principale CAREL S.p.A.

elettronici a microprocessore dal prezzo competitivo, ovvero di controllori per la refrigerazione che si proponevano come alternativa alla regolazione elettromeccanica di banchi, vetrine e celle frigorifere. Nonostante ciò è solo nei primi anni Novanta che CAREL inizia a sfruttare appieno il suo vantaggio tecnologico, che la lancia nel mercato mondiale.

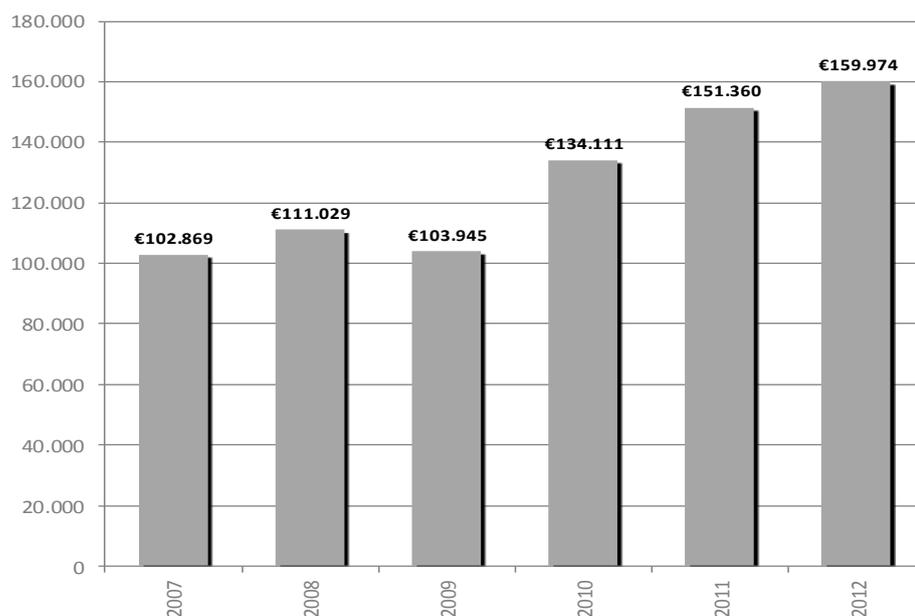


Figura 1.2 Fatturato annuo CAREL S.p.A.

L'obiettivo di diventare leader nella fornitura di controlli a microprocessore per impianti di refrigerazione e condizionamento dell'aria conduce CAREL, nel 1992 a ramificarsi in un gruppo, con una serie di affiliati e filiali localizzate in tutto il mondo.

Il risultato è la forte crescita dell'azienda: i dipendenti passano da 100 nel 1992 a 150 nel 1999, agli oltre 500 del 2004. Il fatturato si impenna dai 10 milioni di Euro nel 1993, 35 nel 1998, 55 milioni di Euro nel 2000, per passare ai 140 milioni di Euro nel 2011.

Il 5 febbraio 2002 la società diventa una S.p.A.

Dal primo maggio 2009 una riorganizzazione societaria del gruppo CAREL ha previsto la destinazione delle funzioni operative, industriali e commerciali ad una nuova società, CAREL INDUSTRIES S.r.l., controllata al 100% da CAREL S.p.A.

Nel 2009, anno della crisi, l'azienda ha sfiorato i 104 milioni di Euro di fatturato (-6.8%) rispetto al -25% del settore, un dato importante che sottolinea la solidità dell'azienda.

A gennaio del 2012, il gruppo conta oltre gli 860 dipendenti di cui più della metà nella sede di Brugine, 5 unità produttive localizzate: 2 in Italia, una in Brasile in Cina e negli Stati Uniti e 13 filiali commerciali passate a 14 nel 2013 con l'aggiunta di CAREL Nordic.

CAREL offre un'ampia gamma di soluzioni per costruttori, installatori e progettisti del settore HVAC/R (Heating Ventilation Air-Conditioning Refrigeration): controllori elettronici standard e programmabili, sistemi di monitoraggio, supervisione e teleassistenza per la gestione di impianti nonché umidificatori adiabatici e isotermici. La produzione di controlli elettronici di CAREL è nel rispetto della direttiva RoHS (apparecchiature senza l'uso di piombo). Anche nel settore dell'umidificazione, famiglia regale dell'azienda, vengono proposte innovative soluzioni a ridotto consumo energetico.

I clienti diretti del Gruppo sono principalmente OEM (Original Equipment Manufacturer), ovvero i costruttori e i grossisti e in quantità minore anche installatori e fornitori. Tra i clienti finali di CAREL troviamo invece grandi e medie aziende, banche, ospedali, produttori di computer e telefonia, industrie tessili, lavorazioni del legno, supermercati, catering, ecc.

L'avanguardia tecnologica e la ricerca di un continuo miglioramento tecnico è ciò che rende CAREL leader nel suo settore. Un fattore fondamentale che ha contribuito alla forte crescita aziendale è proprio la continua attività di ricerca e sviluppo costantemente rivolta all'innovazione e all'avanzamento tecnologico. Da sempre, infatti, la ricerca è fra le priorità negli investimenti di CAREL, che risultano essere superiori alla media del settore anche in termini di risorse umane: oltre al 20% dello staff è coinvolto in attività di Ricerca e Sviluppo e creazione di nuovi prodotti.

L'affermazione di CAREL sul mercato e la sua continua crescita sono dovuti al valore che l'Azienda dà ai suoi Clienti e ai suoi Dipendenti.

Da sempre CAREL riconosce come principale fattore di successo il contributo professionale delle persone che vi operano, in un quadro di lealtà e fiducia reciproca.

Il rispetto e l'attenzione per l'ambiente sono un altro punto di forza del Gruppo che cerca costantemente nuove formule ed idee per impiegare materiali a basso impatto ambientale, nonché sensibilizzando il personale verso il tema del riciclaggio.

1.2 LE TAPPE FONDAMENTALI

- 1973: CAREL nasce nella provincia di Padova;
- 1975: CAREL inizia a produrre umidificatori a vapore;
- 1981: Nasce un progetto di sviluppo di un controllo a microprocessore per condizionatori destinati a centri di calcolo;
- 1984: CAREL realizza il primo sistema di monitoraggio per unità di condizionamento;
- 1985: Vengono progettati e prodotti dei controllori programmabili per il condizionamento;
- 1987: Viene introdotta la tecnologia SMD e il test-in-circuit nei processi di produzione;
- 1988: Progettazione e produzione di controllori per la Refrigerazione;
- 1989: Nasce una nuova scheda elettronica programmabile completa di tools di programmazione proprietario CAREL (Easy Tools)
- 1991: CAREL introduce la comunicazione seriale su tutta la gamma di controlli;
- 1992: Nasce a Lione la prima filiale estera, la CAREL France;
- 1994: CAREL ottiene la certificazione ISO9001;
- 1996: Nasce la filiale tedesca CAREL Deutschland;
- 1998: Nascono le filiali CAREL UK e CAREL Sud America;
- 2000: Nasce CAREL China;
- 2001: Nascono CAREL Australia e CAREL USA;
- 2002: CAREL aggiorna il sistema Qualità alla nuova norma ISO 9001:2000;

- 2004: Nasce il Centro Sperimentale di Termodinamica CAREL che si occupa, tra l'altro, della sperimentazione delle tecniche di regolazione delle macchine frigorifere, con particolare attenzione alle nuove tecnologie;
- 2005: CAREL inizia la produzione nella nuova fabbrica di Suzhou. La nuova unità produttiva realizza soluzioni elettroniche per il settore del Condizionamento e della Refrigerazione con gli stessi standard di qualità della casa madre ed è stata voluta per rispondere alle crescenti richieste del mercato cinese;
- 2006: CAREL "Azienda eccellente" fra le prime cento in Italia (Rapporto "Nostra Eccellenza" di Eurispes);
- 2007: Nasce CAREL Iberica. L'azienda dà avvio ad un progetto di trasformazione secondo la filosofia "LEAN".
- 2008: CAREL si aggiudica il Premio Mediobanca 2008 assegnato alle imprese più dinamiche, che si distinguono per elevati tassi di crescita e buona redditività. Nel periodo esaminato, 2003-2006, l'azienda ha registrato una crescita dei ricavi del 47%. CAREL è stata valutata non solo secondo parametri che hanno preso in esame i tassi di sviluppo del fatturato, ma anche per l'assetto di governance, l'organizzazione interna, l'orientamento all'innovazione di processo e di prodotto e la conquista di quote di mercati nazionali ed estere.
- 2009 Riorganizzazione societaria del Gruppo CAREL con destinazione delle funzioni operative, industriali e commerciali ad una nuova società: CAREL INDUSTRIES S.r.l., controllata da CAREL S.p.A. Nuova sede CAREL in Russia. CAREL si aggiudica il Premio Marco Polo 2009 istituito dall'Unioncamere del Veneto, come azienda che si è distinta per l'impegno e gli importanti risultati nel settore del commercio estero nel 2008.
 Nell'ambito dei China Awards 2009, a CAREL viene assegnato il premio "Creatori di Valore" (settore elettronica), come azienda che ha realizzato le migliori performance con la Cina nel 2008.
- 2010 Nuovo stabilimento produttivo in Brasile.
- 2011 Menzione Speciale alla 4a edizione del "Premio Imprese x l'Innovazione (IxI)", istituito da Confindustria in collaborazione con APQI

(Associazione Premio Qualità Italia). CAREL è stata valutata positivamente dopo un'accurata analisi delle performance del proprio modello organizzativo e strategico specificatamente orientato alla crescita attraverso l'innovazione.

- 2012 CAREL Industries S.r.l. modifica la propria forma giuridica in Società per Azioni. Premio Amici della ZIP (Zona Industriale di Padova) per la categoria "innovazione".

CAREL riceve la certificazione ISO 14001:2004

- 2013 Nasce CAREL Nordic.

1.3 GAMMA DI PRODOTTI OFFERTI SUL MERCATO

La gamma di prodotti offerti dall'azienda è molto vasta e va dalla telegestione e comunicazione, ai sensori, ai controlli universali (temperatura, pressione e umidità). Vi sono poi gli umidificatori adiabatici e isotermici, i controlli parametrici per la refrigerazione, per il condizionamento e quelli programmabili, le valvole ad espansione, i regolatori di velocità e i dispositivi di protezione.



Figura 1.3 Gamma prodotti CAREL

Di seguito si riporta il dettaglio di tutti i prodotti realizzati da CAREL suddivisi per categoria:

- **Controlli programmabili:** pCO sistema, Easy Tools system, Soluzioni software per condizionamento, soluzioni software per close control unit (CCU), Terminali macchine, Terminali ambiente versione wireless e versione seriale.

- **Controlli parametrici per il condizionamento:** μ C sistema, E-dronic e μ e-dronic, Serie Aria, Serie μ AC.

- **Controlli parametrici per la refrigerazione:** Serie easy, Serie ir33 + platform, blastchiller, serie powersplit, serie powercompact, soluzioni software per refrigerazione, serie Master Cella.

- **Soluzioni software :** comtool

- **Umidificatori isotermici:** Umidificatori ad elettrodi immersi, Umidificatori a resistenze elettriche, Umidificatori a vapore alimentati a gas, Distributori di vapore di rete, DryClim.

- **Umidificatori adiabatici:** Umidificatore adiabatico per CTA/ condotta e ambiente, Atomizzatori ad aria compressa e acqua, Umidificatori centrifughi, Umidificatori ad ultrasuoni.

- **Raffreddatori adiabatici per condizionamento e refrigerazione.**

- **Retail:** ottimizzazione dell'energia acquisizione dati, soluzioni software.

- **Controlli UNIVERSALI:** Serie infrared Universale, Termometri e timer, Serierta, Clima

- **Sensori e dispositivi di rotazione:** Sensori wireless rTM SE, rilevatori gas, sonde attive di temperatura/umidità, energymeter, trasduttori di pressione (SPK*), sonde passive di temperatura.
- **Telegestione e monitoraggio:** telegestione, monitoraggio, controllo remoto dell'impianto, energy2.
- **EEV Technology:** Valvole di espansione elettronica, Driver per valvole di espansione.
- **Variatori di frequenza e controlli di condensazione.**

Un fattore fondamentale che ha contribuito alla crescita dell'azienda è la continua attività di ricerca e sviluppo, costantemente rivolta all'innovazione e all'avanzamento tecnologico. Nel 2010 CAREL ha investito oltre il 6% del fatturato consolidato in R&D (Research& Development) e, attualmente, nello staff dedicato alla ricerca e sviluppo opera il 18% del personale aziendale.

Gli sviluppi più importanti riguardano il risparmio energetico degli impianti mediante una gestione coordinata ed intelligente della apparecchiature.

Anche per quanto riguarda l'impatto aziendale, il CO2 e i fluidi alternativi, l'azienda assume un carattere pionieristico.

1.4 MISSION

CAREL offre soluzioni innovative nell'umidificazione e nei sistemi di controllo per il mercato HVAC/R sforzandosi di anticipare la necessità dei propri clienti, permettendo loro di ottenere risultati di livello superiore attraverso soluzioni personalizzate. Ciò significa migliorare il proprio know-how nelle varie applicazioni usando tecnologia all'avanguardia e operando con un approccio globale, al fine di essere riconosciuta leader di mercato. I valori su cui si fonda la CAREL sono:

- **Il cliente prima di tutto:**
 - puntando sull'attenzione ai bisogni,
 - sulla conoscenza dei desideri
 - fornendo una qualità garantita.

C
customer first
care of the needs
understanding of the wishes
guaranteed quality

- **Raggiungimento:**
 - dell'impegno personale,
 - dei risultati,
 - degli obiettivi.

A
achievement
of personal commitment
of results
of targets

- **Evoluzione:**
 - nell'innovazione,
 - nella tecnologia
 - nella ergonomia

R
respect
of people and each other
as trust in relationship with partners
of the environment

- **Rispetto:**
 - delle persone e reciproco,
 - come fiducia nelle relazioni
 - con i partners
 - dell'ambiente.

E
evolution
as innovation
as technology
as ergonomics

- **Formazione:**
 - come crescita personale ,
 - come miglioramento professionale
 - come miglioramento della società

L
learning
as personal growth
as professional improvement
as company enhancement

1.5 LE FILIALI

La presenza dell'azienda è ben consolidata a livello internazionale (il 70% delle vendite avviene all'estero) dove opera direttamente con le proprie filiali e attraverso un'organizzazione presente in un'ottantina di paesi.

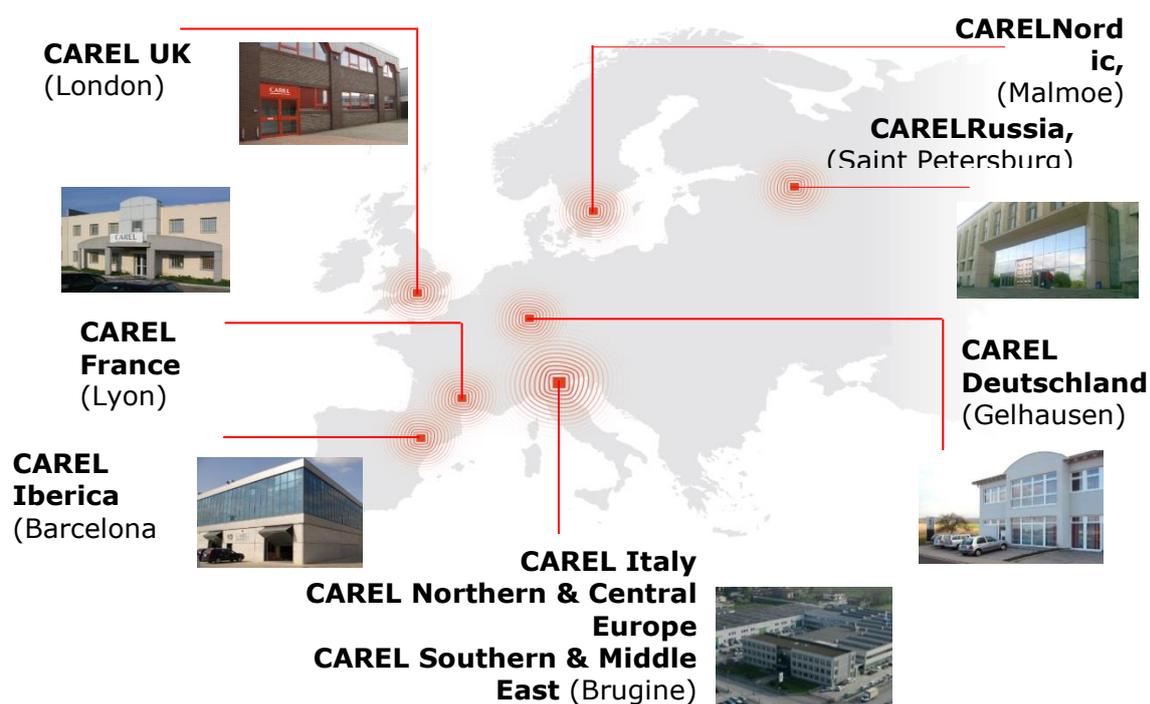


Figura 1.4 Sedi CAREL in Europa

Fin dai primi anni Novanta, CAREL assicura una presenza diretta anche all'estero, attraverso le proprie filiali commerciali. Attualmente (2013), esse sono:

CAREL France: prima filiale estera nata a Lione nel 1992, si occupa dei mercati francese, belga e lussemburghese.

CAREL Deutschland: filiale tedesca nata nel 1996, segue il mercato tedesco, austriaco e svizzero.

CAREL Sud America: nata nel 1998, si occupa del mercato brasiliano. Dal 2010 è anche sede produttiva.

CAREL UK: anch'essa nata nel 1998, segue il mercato inglese e irlandese.

CAREL Asia: nasce nel 2000 e copre il mercato del Far East, eccetto la Cina.

CAREL Australia: nata nel 2001, è la filiale che coordina le attività nel mercato australiano e neozelandese.

CAREL USA: nata sempre nel 2001, si occupa del mercato del Nord America e del Messico ed è anche sede produttiva.

CAREL Electronic (Suzhou): nasce a fine 2005 ed è una sede produttiva situata a Suzhou (regione dello Jiangsu, a circa 100 km da Shanghai). Opera anche con un ufficio commerciale per seguire il mercato della Cina (PRC).

CAREL Ibérica: nata nel 2007 per coprire il mercato spagnolo e portoghese, ha la sede principale a Barcellona e una sede distaccata a Madrid.

CAREL India: nata nel 2008, copre il mercato indiano, ha sede a Mumbai.

CAREL South Africa: nata nel 2008, si occupa del mercato sudafricano e ha sede presso Johannesburg.

CAREL Russia: nel 2009 viene aperto un Ufficio di Rappresentanza in Russia, base per la costituzione, nel 2010, della nuova filiale del Gruppo "Carel Russia Llc" con sede principale a San Pietroburgo e un altro ufficio a Mosca.

CAREL HVAC&R Korea: aperto alla fine del 2009, quest'ufficio di rappresentanza gestisce i mercati della Refrigerazione, del Condizionamento dell'Aria e dell'Umidificazione in Korea.

CAREL Nordic: nata nel 2013, questa filiale segue i mercati di Svezia, Norvegia, Finlandia, Islanda, Danimarca ed Estonia.

Le filiali del gruppo CAREL operano direttamente, per l'area geografica di loro competenza, rispondendo funzionalmente e gerarchicamente all'headquarters sede di Brugine. Inoltre, CAREL ha creato due filiali "virtuali", intese come facenti parte dell'entità giuridica CAREL Industries S.p.A., individuate come CAREL Italia, CAREL Northern & Central Europe e CAREL Southern Europe & Middle East. Le filiali "virtuali" operano in tutti quei Paesi non seguiti direttamente dalle filiali del Gruppo.

Oltre a ciò, sono in essere rapporti commerciali privilegiati con delle società “affiliate”. Attualmente (2013) esse sono: CAREL Thailand, CAREL Korea, CAREL Turkey, CAREL Ireland, CAREL Spol (per il mercato ceco e slovacco), CAREL Mexicana e CAREL Japan. Le affiliate vengono coordinate, a seconda dell’area geografica di appartenenza, da una filiale. Le filiali commerciali fanno anche attività di supporto al cliente e di personalizzazione software per le applicazioni del settore HVAC/R, su richiesta dello stesso cliente; rispetto ai concorrenti, la strategia è quella di presidiare e supportare i mercati mediante una rete di vendita il più possibile diretta a livello globale. Completano, infatti, la rete commerciale CAREL, le decine di agenti e distributori sparsi in tutto il mondo, che fanno capo alle Filiali di competenza.



Figura 1.5 Sedi CAREL nel mondo

1.6 MERCATI E CLIENTI

Il mercato di riferimento per i prodotti CAREL è quello dell’HVAC/R (Heating Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration), cioè la climatizzazione degli ambienti sia dal punto di vista dei controlli che delle

apparecchiature. Le sedi commerciali nel mondo si trovano in Italia, Francia, Germania, Inghilterra, Brasile, Asia, Cina, Australia e U.S.A. Possiamo dunque suddividere in:

- Applicazioni nel HVAC
- Applicazioni nel Clima
- Applicazioni nella Refrigerazione
- Applicazioni nel Retail

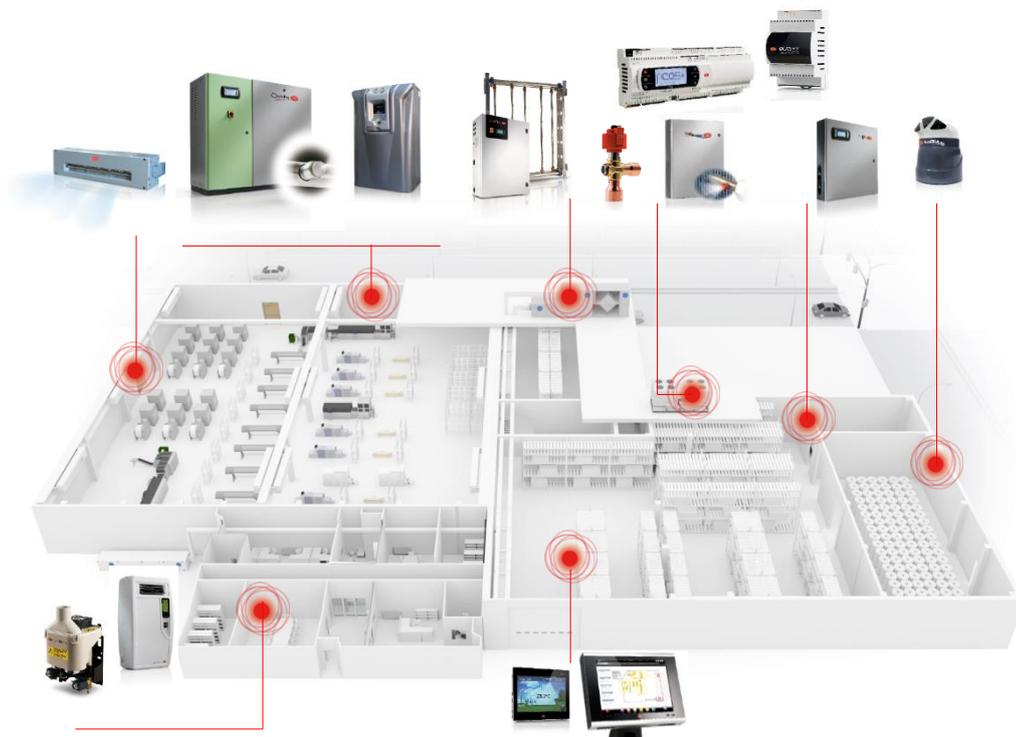


Figura 1.6 Applicazioni prodotti CAREL

Negli ultimi anni si sta cercando di aumentare la presenza di CAREL nei mercati esteri con il duplice fine di incrementare il fatturato ed allo stesso tempo di eliminare gli effetti di stagionalità a cui è soggetto il mercato della climatizzazione; a questo scopo si sta facendo leva sugli stabilimenti produttivi di CAREL Suzhou per il Far East e di CAREL USA, in questo caso soprattutto per quel che riguarda il settore degli impianti di umidificazione.

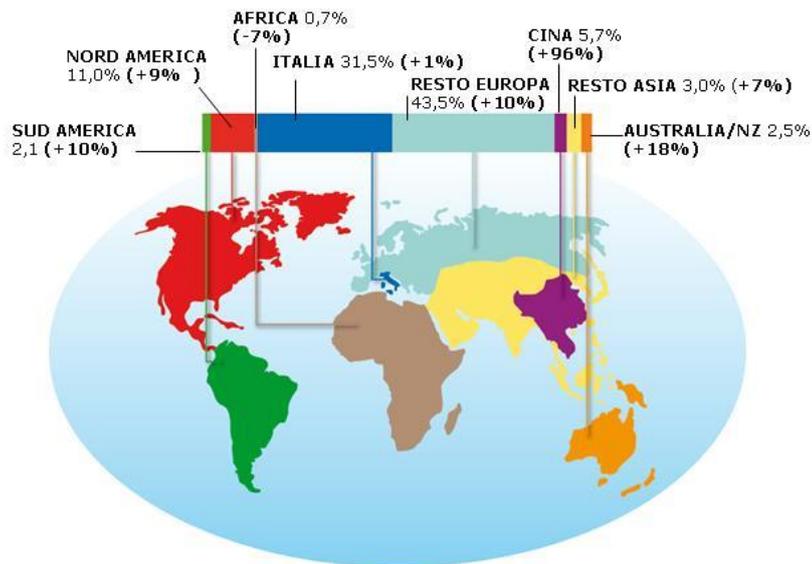


Figura 1.7 Mercato CAREL nel mondo

I clienti del gruppo sono classificabili in due categorie: gli installatori del settore che installano i prodotti CAREL presso i propri clienti finali ed i produttori OEM (Original Equipment Manufacturers) che installano i prodotti CAREL nei propri prodotti. I principali clienti si situano in Italia (Climaveneta, Uniflair, Aermec, Rhoss, ISA, ...), in Germania (G.D.D., Rittal, Stultz, ...), in Francia (Lennox), Spagna (Infrico) ed Inghilterra (Airdale).

Capitolo 2 LA LEAN

MANUFACTURING

La produzione snella (lean manufacturing) è una filosofia di gestione del processo che deriva dal Toyota production system (TPS). È stata sviluppata da Ediji Toyoda e Taiichi Ohno in Giappone tra il 1945 ed il 1970 ed ha permesso alla Toyota Motor corporation di diventare il leader mondiale nel mercato dell'automotive.

La trasformazione "Lean" in CAREL è avvenuta per reagire alle seguenti criticità del mercato:

- Aumento della gamma di prodotti finiti richiesta dal mercato, necessaria per soddisfare una clientela sempre più larga ed esigente
- Progressiva riduzione del tempo ciclo di vita del prodotto con conseguente difficoltà nel prevedere in modo attendibile la domanda del prodotto finito e dei semilavorati;
- corrispondente complessità nel bilanciare correttamente il carico di ingresso del sistema produttivo;
- competizione crescente e travolgente della concorrenza per quanto riguarda costi e Qualità.

2.1 I 5 principi Lean

I 5 principi della Lean Manufacturing sono mostrati nella seguente figura:

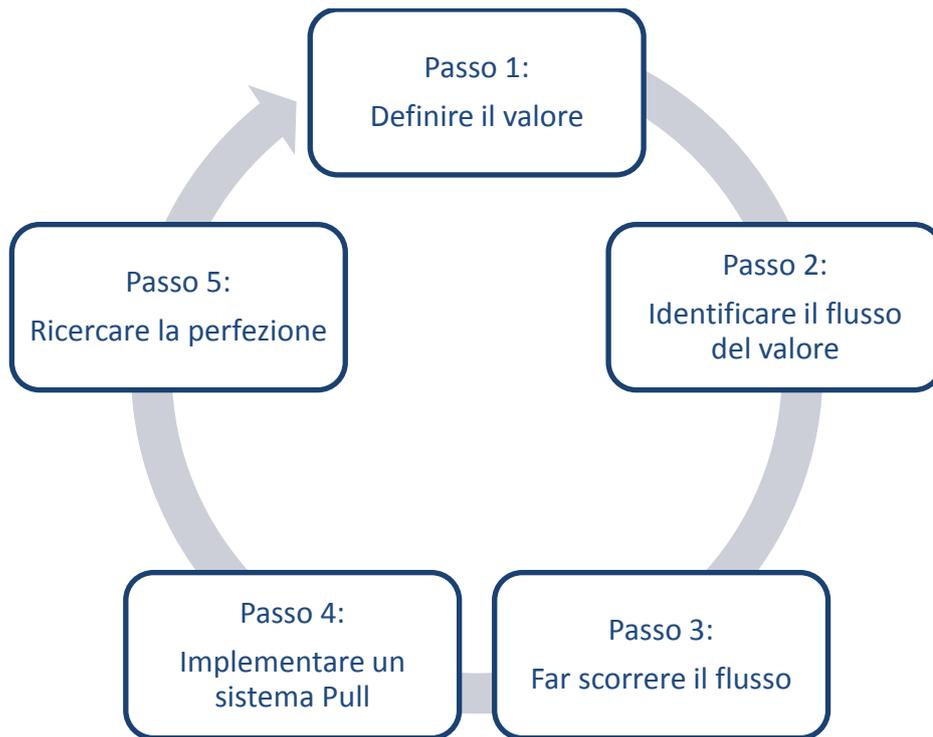


Figura 2.1 I 5 principi Lean (www.lean-manufacturing.it)

- Definire il Valore: necessità di definire con precisione qual è il valore per il cliente: il cliente e la sua soddisfazione sono punti chiavi per la sopravvivenza dell'impresa. Bisogna tentare di capire con precisione il valore in termini di prodotti specifici con caratteristiche e prezzi specifici attraverso un dialogo e una comunicazione con il cliente. Il valore viene definito dal cliente ed ha significato solo se espresso in termini prodotto/servizio in grado di soddisfare le esigenze ad un dato prezzo e ad un dato momento. Per arrivare ad una autentica definizione del valore si deve seguire tutto il progetto mentre passa dall'ideazione al lancio in produzione.

- Identificare il flusso del valore: il flusso del valore per un dato prodotto consiste nell'intera gamma di attività necessarie per trasformare le materie prime in prodotto finito. Il flusso del valore è costituito dall'insieme delle azioni richieste per condurre un dato

prodotto (bene o servizio che sia) attraverso le tre attività fondamentali di qualsiasi settore:

- 1) definizione del prodotto: dall'ideazione attraverso una progettazione dettagliata ed una ingegnerizzazione
- 2) gestione delle informazioni: dal ricevimento dell'ordine alla consegna attraverso una programmazione in dettaglio
- 3) trasformazione fisica della materia prima in prodotto finito nelle mani del cliente

- Far scorrere il Flusso: il terzo principio si raggiunge attraverso interventi radicali che permettono di trasformare in breve tempo le attività produttive necessarie per trasformare un sistema a lotti e code ad un flusso continuo. Le seguenti figure mostrano la differenza tra due sistemi di produzione: nel primo non è presente un flusso regolare, e nascono code e accumuli di materiale tra una stazione e la successiva, mentre nel secondo esempio è presente un flusso lineare.

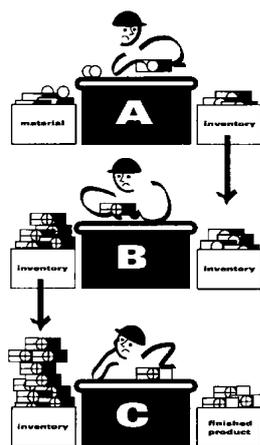


Figura 2.2 Sistema non a flusso (www.lean-manufacturing.it)

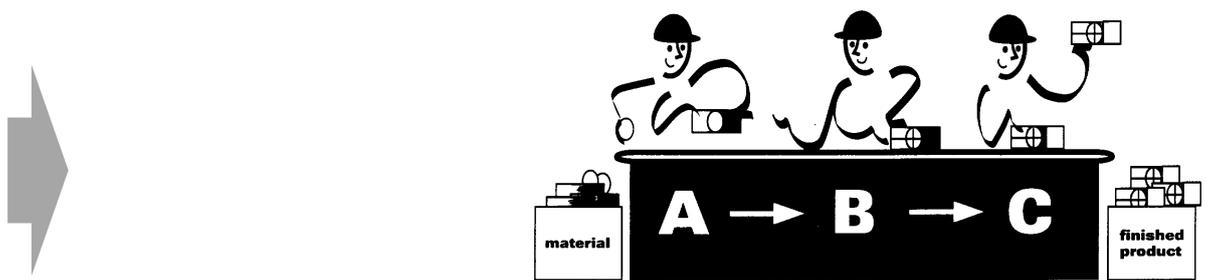


Figura 2.3 Sistema a flusso (www.lean-manufacturing.it)

- Pull (produzione tirata dagli ordini del cliente): significa acquistare la capacità di progettare, programmare e realizzare solo quello che il cliente vuole e nel momento in cui lo vuole. Si fa in modo dunque che sia il cliente a tirare il prodotto richiesto, non l'azienda a spingerlo sul mercato.

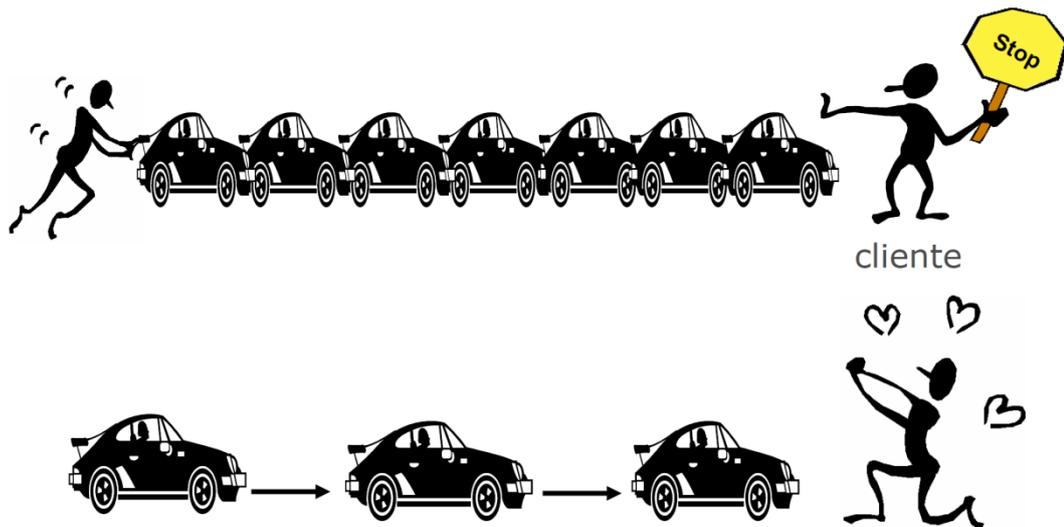


Figura 2.4 Confronto tra sistema push e pull (www.lean-manufacturing.it)

- Perfezione: il processo di miglioramento deve sempre essere perfezionato: si potranno sempre ridurre gli spazi i tempi e i costi. Può sembrare presuntuoso ma se lo si vede nel giusto significato di ricerca del miglioramento continuo, allora ci si accorge che non è un obiettivo impossibile.

2.2 I 7 sprechi

Uno dei punti chiave della produzione snella è quello di individuare quali attività sono a valore aggiunto e quali non lo sono. Attraverso questa prima distinzione sarà possibile eliminare quelle attività che non producono valore e migliorare quelle attività che producono valore. Tutte le attività presenti in progettazione e produzione sono classificabili in 3 categorie:

- Attività a valore aggiunto VA : sono le attività che contribuiscono a creare valore per il cliente, per cui il cliente è disposto a pagare.
- Attività a non valore aggiunto NVA: attività che non creano valore per il cliente ma sono indispensabili, stanti gli attuali sistemi di sviluppo prodotto e produzione: queste attività non sono immediatamente eliminabili (set up, test e preparazioni)
- Attività a non valore aggiunto per il quale il cliente non è disposto a riconoscere un compenso, puro spreco (attese, trasporti, movimentazioni..)

Queste distinzioni sono fondamentali per capire dove concentrare gli sforzi per il miglioramento, per capire quali sono le attività che si possono subito eliminare (muda di secondo tipo), e quali attività bisogna migliorare. Vediamo la figura 2.5.

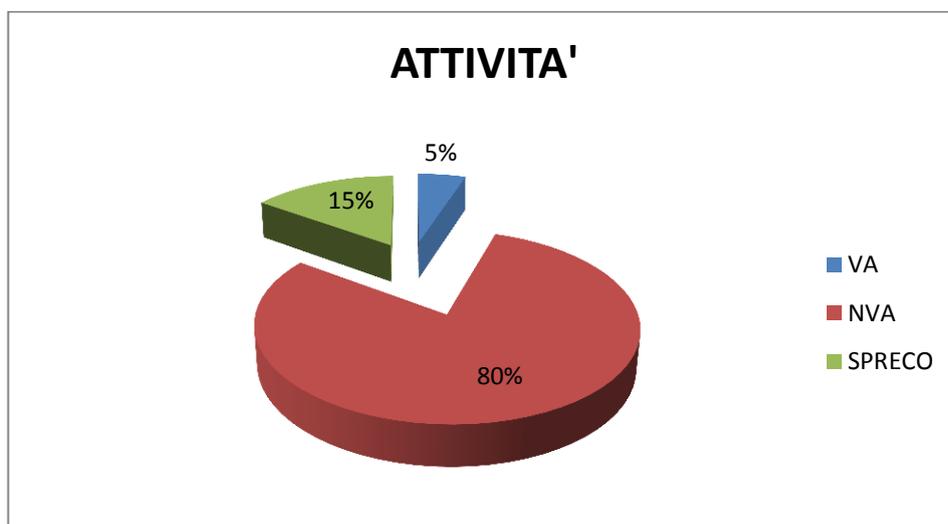


Figura 2.5 Percentuale delle attività a valore riferite al prodotto

Mediamente si calcola che le attività a valore aggiunto sono solo il 5% delle totali come indica la figura 2.5: in realtà il grafico mostra una situazione migliore di quella presente in molte aziende.

Occorre imparare a vedere gli sprechi presenti nel ciclo di creazione di un prodotto in modo da poterli isolare, ridurre, ed eliminare. Si può fare una classificazione per capire di che tipo sono gli sprechi. Nella figura 2.7 è presente l'elenco dei sette sprechi considerati nella lean manufacturing.

Sovraproduzione

Movimentazione

Rilavorazione

Scorte

Sovrapr

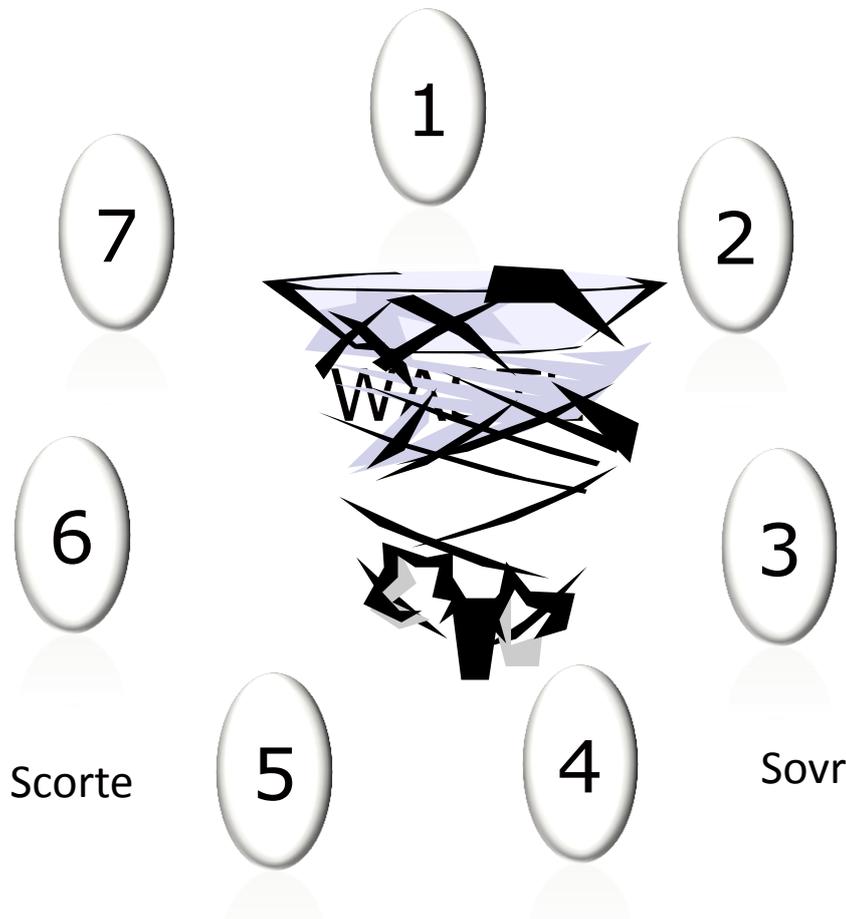


Figura 2.6 I 7 sprechi della lean manufacturing

- 1) **SOVRAPRODUZIONE:** la sovrapproduzione è l'acquisizione o la produzione di un oggetto prima che esso sia veramente richiesto. È la madre di tutti gli sprechi, lo spreco più pericoloso per l'azienda perché nasconde i problemi della produzione e crea altri sprechi: la sovrapproduzione deve essere immagazzinata gestita e protetta.
- 2) **RILAVORAZIONE (difetti):** i difetti presenti nel bene prodotto, spingono il cliente a rifiutarlo. Lo sforzo effettuato per creare questi difetti è uno spreco.
- 3) **TRASPORTO:** ogni volta che un prodotto viene sottoposto ad un movimento rischia di essere danneggiato, perso, ecc, oltre a essere una attività a non valore aggiunto per cui il cliente non è disposto a pagare. In figura 2.7 un tipico esempio dello spreco del trasporto.



Figura 2.7 Trasporto di materia

- 4) **ATTESA:** si riferisce al tempo che devono aspettare gli operatori aspettando che arrivino le risorse; tempo che passa mentre aspettano che il prodotto venga portato via (è bene favorire il one piece flow o la produzione a piccoli lotti per ridurre code scorte e attese). L'attesa può spesso essere evitata: la maggior parte delle macchine non necessita di essere presidiata. Il tempo di attesa può essere impiegato in maniera produttiva (es. produzione sottoassiemi, controllo qualità, prelievo pezzi successivi, ecc.)

- 5) **SCORTE:** Le scorte, che siano sotto forma di materie prime, materiale in lavorazione (WIP), o di prodotti finiti, rappresentano comunque un capitale che deve ancora produrre un guadagno sia per il produttore sia per il cliente.
- 6) **MOVIMENTAZIONE:** a differenza del trasporto, il movimento si riferisce ai macchinari e agli operai, perché questi possono subire usure danneggiamenti o avere problemi relativi alla sicurezza. La movimentazione è anche spreco di tempo e quindi denaro quindi è necessario pensare a dei layout che minimizzano questi sprechi in modo da togliere questa attività a non valore aggiunto.
- 7) **SOVRAPROCESSO:** usare risorse più costose del necessario per le attività produttive o inserire funzioni aggiuntive oltre a quelle che ha richiesto il cliente produce solo sprechi. Non bisogna quindi utilizzare più risorse di quelle che servono espressamente per creare un bene o un servizio che il cliente richiede: bisogna concentrare gli sforzi in fase di progettazione e produzione per creare né di più né di meno di quello che il cliente desidera.
- 8) **RISORSE:** ultimamente tra gli sprechi della lean viene anche considerato un ottavo spreco: la non utilizzazione delle risorse umane. È compito dell'azienda cercare di tirare fuori il meglio da tutti gli operatori e dipendenti, cercando un dialogo che porti al miglioramento e all'ottimizzazione di tutte le conoscenze e dell'esperienza di ogni singolo dipendente: non farlo sarebbe uno spreco.

2.3 Gli strumenti della Lean

L'adozione del sistema lean production coinvolge l'intera struttura produttiva dell'impresa e il suo rapporto con il mercato. Schematicamente si possono rappresentare gli strumenti a cui bisogna fare riferimento per ottenere un'impresa lean a tutti i livelli. Di seguito verranno elencati alcuni strumenti utilizzati dalla lean manufacturing.

2.3.1 Il Jidoka

IL jidoka è stato definito da Toyota come automazione con tocco umano: il concetto fondamentale del jidoka è che la qualità deve essere costruita nel processo affinché la qualità sia pari al 100% , ovvero non ci sia presenza di difetti. Infatti uno dei sette sprechi considerati dalla lean manufacturing sono proprio i difetti e le rilavorazioni. Due dei concetti che utilizza il jidoka sono i seguenti:

- le macchine devono fermarsi non appena la qualità non rispetta più gli Standard (esempio del mantenimento dello standard di saldatura in CAREL: all'inizio di ogni turno si fa passare un profilatore, ovvero uno strumento che tramite termocoppie registra il profilo di temperatura nella saldatrice. Grazie all' apposito controllo del profilo da parte di un tecnico specializzato si controlla che tutti i parametri di saldatura, temperature lega crogiolo, temperatura nei preriscaldi e tempi di contatto siano entro i parametri standard)
- l'intervento umano sulla macchina non deve in nessun modo alterare la qualità dell'output della macchina.

Tali condizioni possono essere garantite se vi è l'immissione nel sistema produttivo di macchine intelligenti: tale immissione viene anche garantita attraverso l'intervento attivo da parte dell'operatore che viene posto al centro del processo quale garante del risultato finale e quindi investito di grande responsabilità operative. (Un esempio di questo principio utilizzato in CAREL è la timbratura di ogni scheda elettronica prodotta: prima dell'imballaggio l'operatore timbra la scheda solo se questa ha passato tutti i test IC e funzionali, l'ultimo passo del controllo qualità prima della spedizione al cliente. L'operatore è quindi investito di grandi responsabilità operative). Un altro strumento utilizzato per evitare la proliferazione di difetti è l'elaborazione di sistemi poka-yoke ovvero semplici accorgimenti che consentono all'operatore di verificare la correttezza dell'operazione che si sta per affrontare. Si tratta di scelte progettuali o di apparecchiature che, ponendo dei limiti al modo in cui l'operazione può essere compiuta forza l'utilizzatore ad una corretta esecuzione. In questo modo è possibile realizzare l'obiettivo finale del jidoka, ovvero lo sblocco del

legame rigido uomo-macchina da un concetto di automazione ad uno di autonomazione.

2.3.2 *Il Just in Time*

Il just in time è l'insieme degli accorgimenti e delle tecniche che consentono al sistema produttivo di rispondere al mercato e , nello stesso tempo, di ottenere il minimo livello di out-put. Si compone di tre elementi

- sistema pull: attraverso tale sistema l'avanzamento del flusso produttivo viene guidato dal cliente e non dall'ufficio programmazione: questo ha come conseguenza che non c'è la produzione di alcun prodotto o semilavorato che non sia stato effettivamente ordinato dal cliente. Il sistema pull è semplice ed efficace: con quantità di materiale relativamente basse e informazioni elementari, il sistema fa scorrere il materiale per soddisfare la domanda a valle senza generare stock

- sistema one piece flow: è il modo di organizzare la produzione mediante l'avanzamento del materiale un pezzo alla volta, con un flusso continuo. In questo modo, i singoli pezzi passano da una fase produttiva all'altra senza accumuli tra le macchine contribuendo a:
 - I. riduzione della time line (il materiale attraversa i reparti nel modo più rapido)
 - II. ottenimento della massima flessibilità
 - III. abbattimento in misura importante delle scorte intermedie (work in process)
 - IV. al recupero di spazio fisico all'interno della linea, grazie all'impiego di macchinari più piccoli che vengono avvicinati tra loro per la presenza di piccoli lotti.

- Takt time: viene espresso attraverso un numero e indica il tempo in cui deve essere ottenuta una unità di prodotto. É pertanto uno strumento che serve a legare la produzione ai clienti finali uniformando il ritmo della stessa a quello delle vendite. Il calcolo del takt time si effettua attraverso i seguenti passi:
 - I. Definizione dell'orizzonte temporale per il quale si vuole calcolare il takt time
 - II. Determinazione del volume di vendita previsto
 - III. Individuazione del tempo lavorativo a disposizione

Con questi dati è possibile calcolare il Takt time, ovvero ogni quanto tempo deve uscire un pezzo dalla linea produttiva per soddisfare la richiesta del cliente.

2.3.3 *Le 5 S*

La metodologia 5S racchiude in 5 passaggi un metodo sistematico e ripetibile per l'ottimizzazione degli standard di lavoro e quindi per il miglioramento delle performance operative. Il nome deriva dalle 5 parole giapponesi che indicano le 5 fasi di implementazione di un sistema 5S. Il primo obiettivo delle 5S rimane comunque l'eliminazione dei sette sprechi. Nella figura seguente è raffigurato in ordine orario il percorso delle 5S.



2.8 Le 5 S (www.lean-manufacturing.it)

- 1) Sort (separare): separa ciò che ti serve da ciò che non è funzionale all'attività e quindi crea disturbo e disordine, quindi spreco di tempo o di risorse.
- 2) Set in order (ordinare): mettere in ordine le cose utili in modo che tutti possano utilizzarle facilmente e capire rapidamente qual è il loro posto, ogni cosa al suo posto e un posto per ogni cosa.
- 3) Shine (pulire): tieni tale ordine costante e pulisci, un ambiente pulito e ordinato è un ambiente che non nasconde inefficienze.
- 4) Standardize (standardizzare): definisci delle metodologie ripetitive e canonizzate da utilizzare per continuare queste attività di razionalizzazione delle risorse e degli spazi lavorativi.
- 5) Sustain (sostenere): far sì che questo modo di pensare e agire sia diffuso in tutte le attività aziendali.

Obiettivo di tale sistema è quindi la standardizzazione e la definizione delle condizioni ottimali dei posti di lavoro così da rendere ovvie tutte le anomalie rispetto agli standard definiti

Le 5S sono di tutti. Ogni persona dell'organizzazione ha un ruolo ed un compito nell'implementazione delle **5S**. In primis il personale operativo, che materialmente realizza il cambiamento. Poi a seguire i responsabili che devono garantire il rispetto delle regole e la coerenza delle attività rispetto agli standard fissati. Ciò avviene con il controllo sul campo attraverso strumenti come checklist ad hoc e verifiche periodiche. È importante che tutti si sentano coinvolti nelle attività **5S** e che tutti ne partecipino secondo il proprio ruolo. Gli aspetti più significativi della partecipazione diffusa alle **5S** sono: una formazione periodica per far evolvere l'organizzazione, un sistema di comunicazione diretta capo vs operatori, una responsabilizzazione continua a tutti i livelli, un sistema di controllo che miri a che l'azienda possa sostenersi e continuare a migliorare.

Le 5 S non finiscono mai. Se l'approccio **5S** entra a far parte della mentalità dell'organizzazione, si capisce come il mantenimento nel tempo delle attività sia semplice. Dopo la prima implementazione, infatti, gli operatori adotteranno un modo diverso di lavorare e di rapportarsi al proprio posto di lavoro. Occorre vincere la naturale reticenza al cambiamento, ma attraverso una struttura che accompagni, supporti e controlli i risultati sarà difficile non allinearsi a quella che è la nuova modalità di lavoro. Le attività **5S** non verranno più concepite come qualcosa in più da fare, ma come il modo normale di svolgere le proprie attività. Man mano che le **5S** diventano quotidiane, allora è possibile iterare di nuovo il percorso svolto, in virtù del fatto che l'organizzazione è capace di crescere ancora, di superare il limite che ci si era imposti.

2.3.4 La Total Production Maintenance

E' un approccio alla manutenzione, ideato per minimizzare le fermate indesiderate degli impianti e massimizzare il loro impiego e quindi la loro disponibilità. E' quindi una filosofia di miglioramento continuo e di lavoro in team, poiché richiede il coinvolgimento attivo e la responsabilizzazione di tutti gli operatori per garantire il corretto funzionamento dei macchinari. Con questo approccio si considera l'intero ciclo di vita dell'impianto, dalla sua progettazione, alla sua gestione e successiva dismissione.

2.3.5 *Lo SMED*

E' un sistema sviluppato per ridurre drasticamente i tempi di set-up fino a portarli a una durata esprimibile in minuti, con numeri esprimibili in una sola cifra. Questo strumento fondamentale permette al sistema produttivo di produrre solo quanto il mercato richiede, cercando di evitare il più possibile la produzione per lotti. Il concetto è che non bisogna produrre un lotto col fine di dividere il tempo di set up per il numero di pezzi prodotti nel lotto, ma bisogna cercare di azzerare i tempi di set up per arrivare a una produzione flessibile, che permette la produzione di un singolo pezzo alla volta, una produzione one piece flow. Una produzione one piece flow ha innumerevoli vantaggi, tra cui quello di non creare accumuli di materiale (work in process WIP), e quello di evitare sovrapproduzione. Due sono i principi sul quale la tecnica SMED si basa:

- Riconoscere che il tempo di set-up non è un dato immutabile, ma può essere migliorato
- Rendersi conto che il set-up di qualsiasi impianto è costituito da due fasi:
 - Set-up interno, composto da tutti gli elementi del processo di attrezzaggio che possono essere svolti solo quando la macchina è ferma;
 - Set-up esterno, composto da tutti gli elementi del processo di attrezzaggio che possono essere svolti quando la macchina è in produzione

Agendo separatamente su entrambe le fasi è possibile minimizzare il tempo di fermo macchina per arrivare ai risultati voluti. L'obiettivo dello SMED è ridurre il più possibile il tempo di set-up interno, trasformandolo dove possibile in set-up esterno: il criterio guida è la modifica della macchina, degli attrezzi e degli utensili per eseguire il maggior numero possibile di operazioni a macchina in funzione. La riduzione dei tempi di set-up avviene attraverso la semplificazione e la standardizzazione delle procedure relative alla attrezzature esistenti, ad esempio il miglioramento del layout e dell'ordine in reparto, adozione di agganci rapidi e morsetti funzionali, standardizzazione delle altezze dei piani e dei carrelli.

Dopo aver trattato gli aspetti fondamentali della lean manufacturing, nel prossimo capitolo verranno trattate le celle di produzione, uno degli strumenti applicativi con il quale si può raggiungere una produzione snella.

Capitolo 3 SISTEMI DI PRODUZIONE A CELLE

In questo capitolo, tratto dal libro *Working with Machines* di Micheal Baudin¹, vengono descritte le caratteristiche principali di una cella di produzione composta da macchine, un impianto produttivo che sostituisce il vecchio modello a reparti.

La cella è composta da una serie di macchine fisicamente collegate, che svolgono una sequenza comune di step di processo per una famiglia di prodotti, ed è presidiata da un team di operatori che è in grado di svolgere qualsiasi operazione, che controllano la realizzazione del lavoro dall'inizio alla fine del ciclo. A differenza del lavoro manuale, quello fatto dalle macchine non può essere bilanciato come si desidera, e la capacità della cella sarà limitata dalla tempo macchina più alto. Il 100% dell'utilizzazione delle macchine è di solito molto difficile: piuttosto che saturare le macchine è più importante in questo caso cercare di lavorare sui metodi di lavoro e sull'interazione uomo-macchina. Il layout della cella ha come obiettivo quello di facilitare il flusso del pezzo e il movimento dell'operatore, mantenendo le distanze e gli spazi necessari per la manutenzione delle macchine. Come risultato le macchine sono disposte vicine con angoli ottusi o acuti, a differenza del solito approccio di disposizione ad angoli retti. Con l'aggiunta delle macchine all'assemblaggio manuale, le celle hanno raggiunto un miglioramento nella produttività, nei lead time, nella qualità e nella flessibilità. Per realizzare questi benefici c'è però la necessità di porre particolare attenzione al design della cella e alla gestione di tutte le operazioni presenti in essa.

¹ *Working with machines* Micheal Baudin (2007) è un testo che tratta le celle di produzione : visto che il progetto di tesi riguarda una cella di produzione in ottica lean, in questo capitolo è descritto l'approccio di Baudin a questo tipo di impianto di produzione, caratteristico della lean manufacturing.

3.1 Caratteristiche di una cella

Si possono individuare alcune caratteristiche principali da tenere in considerazione quando si affronta il problema di creare una cella :

- Flusso dei materiali: il prodotto unitario si muove lungo una sequenza di step senza mai tornare indietro o senza affrontare operazioni ripetitive
- Come e dove le persone lavorano: Le macchine devono circondare gli operatori e il flusso del prodotto unitario scorre attorno l'area di lavoro dell'operatore senza mai attraversarla. Ogni operatore usualmente attende più di una macchina, anche di diverso tipo.
- Dimensioni del prodotto: solitamente i prodotti adatti alle celle sono piccoli e leggeri abbastanza da essere trasportati manualmente. I prodotti di grandi dimensioni come ad esempio le carrozzerie delle macchine, che devono essere lavorati da ogni lato, non sono solitamente lavorati nelle celle.
- Numero di operazioni: in una cella si possono effettuare anche 20 operazioni diverse, e ogni operatore dovrebbe saperle eseguire tutte.
- Numero di operatori: nelle celle dove sono presenti operazioni di assemblaggio, possono essere coinvolti anche 8, se non 10 operatori.
- Layout delle stazioni: le macchine sono disposte in modo che l'operatore abbia la prossima stazione di lavoro più vicina possibile: questa linea guida supera quasi tutte le altre considerazioni.
- Altezza delle stazioni di lavoro: tutte le stazioni di lavoro dovrebbero avere la stessa altezza.
- Densità: le macchine nelle celle sono disposte più vicine rispetto ai layout classici: anche dopo aver permesso l'accesso alla manutenzione il layout a cella tipicamente permette di risparmiare il 30% dello spazio in stabilimento.

Generalizzando i concetti sopra esposti si può affermare che una cella sia identificata dai seguenti attributi:

- 1) Disposizione delle macchine: un gruppo di macchine fisicamente collegate, che svolgono una sequenza comune di step di processo per una famiglia di prodotti.

- 2) Team di operatori specializzati e versatili: un team di operatori in grado di svolgere tutte le operazioni e di presidiare tutte le macchine presenti nella cella.
- 3) Ritmo autonomo: il team deve controllare la realizzazione del lavoro dal primo step fino alla realizzazione del prodotto finito, e ogni prodotto ha il suo tempo ciclo.

In figura 3.1 è possibile vedere un esempio di cella manifatturiera con macchine, dedicata alla produzione di ruote dentate: il flusso del pezzo è antiorario, e i due operatori si dividono le stazioni presenti in cella. Da notare il fatto che le stazioni turning1 e induction hardening sono condivise: in questo caso un operatore ha il compito di caricare la macchina l'altro di scaricarla.

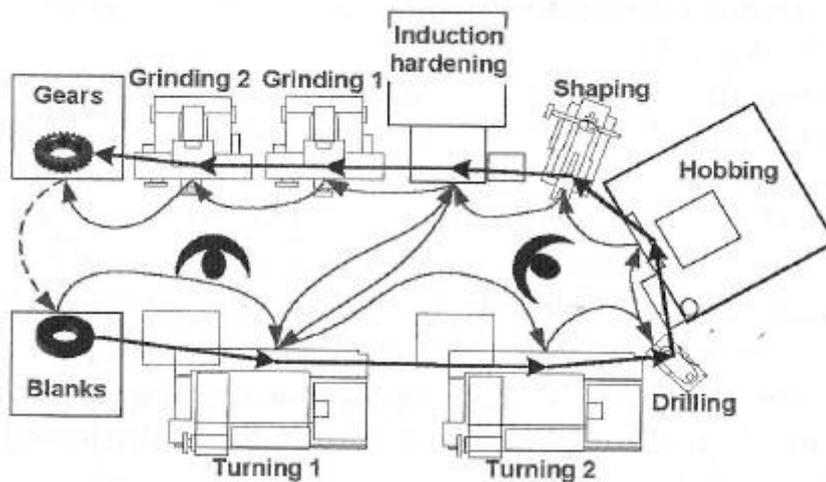


Figura 3.1 Esempio di cella con evidenziato il flusso del prodotto e i percorsi degli operatori

La cella di lavorazione presente in figura illustra tutti i punti sopracitati: sono indicati il flusso del pezzo e i movimenti degli operatori: le parti si muovono un pezzo alla volta, passando da una macchina all'altra senza mai attraversare l'area di lavoro dell'operatore, o andare contro la direzione del flusso. Quello presente in figura è il metodo di lavoro chiamato baton-touch, uno dei metodi che si possono implementare in una cella a più operatori. Letteralmente baton-touch significa passaggio di testimone, e nel caso di una cella di produzione si tratta di passaggio del pezzo.

Questo metodo di lavoro si adatta bene alle celle con più operatori, e consiste nell'assegnare ad ogni operatore n stazioni, cercando di bilanciare il più possibile il tempo di tutti gli operatori, in modo da avere una buona saturazione di tutte le risorse. In figura 3.2 è presente un esempio di questo metodo di lavoro.

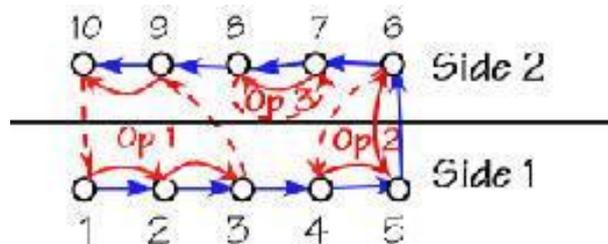


Figura 3.2 Esempio di metodo di lavoro baton-touch

Un altro metodo di lavoro implementabile nella cella è il rabbit-chase visibile in figura 3.3: in questa modalità, gli operatori si inseguono durante tutta l'intera sequenza delle operazioni della cella. Perché esso funzioni, c'è la necessità che entrambi gli operatori sappiano svolgere tutte le operazioni: questo metodo è implementabile in celle con al massimo due operatori, in quanto con tre o più operatori, nascerebbe una coda dietro l'operatore più lento.

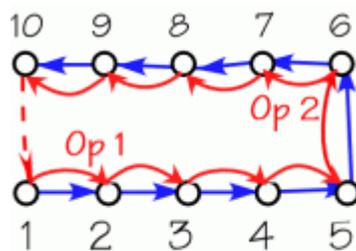


Figura 3.3 Esempio di metodo di lavoro rabbit-chase

3.2 Prevalenza del layout a U

Il layout a U è uno dei più utilizzati per l'implementazione della cella, per i seguenti motivi:

- Flessibilità dello staff: permettendo l'accessibilità degli operatori a una grande varietà di macchine, da una piccola area di lavoro, e seguendo il

principio che ogni operatore che lavora nella cella riesce a svolgere tutte le operazioni, la layout a U permette con facilità di variare il numero di operatori che presidia la cella in funzione della domanda di mercato.

- Flusso dell'attrezzatura: il layout a U permette l'immediato riutilizzo dell'attrezzatura non appena il pezzo ha completato il flusso di lavorazione.
- Qualità: il fatto che tutto il flusso del pezzo sia visibile a tutti gli operatori rende chiaro lo stato di avanzamento del prodotto, facilita l'individuazione di un eventuale problema, e accresce il senso di qualità degli operatori.
- Accesso e controllo: nonostante il layout sia particolarmente denso, se accuratamente studiato oltre a permettere il perfetto accesso di tutti gli operatori dall'apertura della U, rende possibile una comoda manutenzione dei macchinari e degli attrezzi.

L'area di lavoro degli operatori dentro la cella deve essere libera da ogni ostacolo, per non rendere difficoltoso il movimento degli operatori: non ci devono essere sedie, scaffali e carrelli di ogni tipo: l'impressione iniziale dell'operatore solitamente è che il layout è troppo stretto. Una volta realizzato quanto è facile lavorare in una cella, non desiderano più tornare indietro al vecchio metodo di lavoro. In figura 3.4 è presente la transizione da un layout lineare a uno compatto a U, che presenta i vantaggi sopracitati.

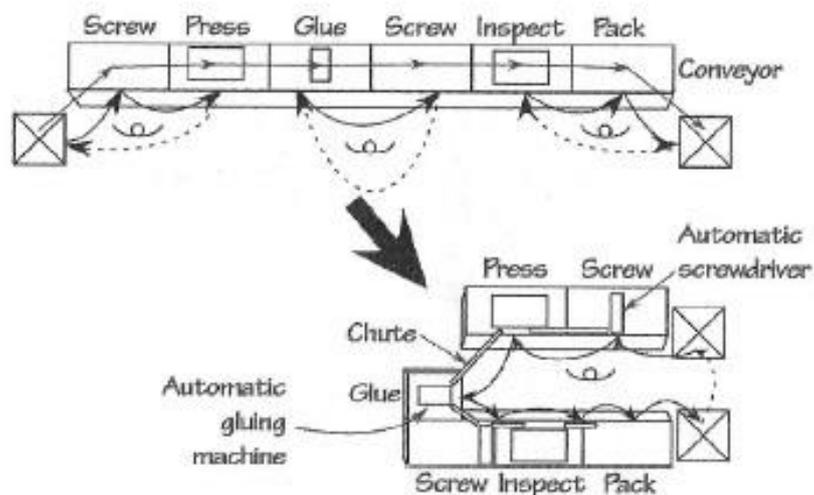


Figura 3.4 Trasformazione da layout lineare a uno a U.

Oltre a posizionare le stazioni con una forma a U, bisogna ricordarsi che queste devono essere più ravvicinate possibile in modo da ridurre al massimo le movimentazioni dell'operatore. Nella successiva figura c'è un esempio di quanto appena detto.

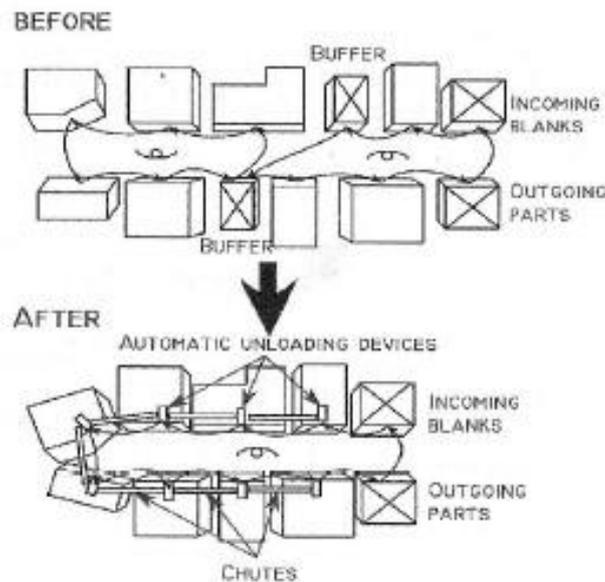


Figura 3.5 Esempio di ravvicinamento delle stazioni di lavoro per ridurre le movimentazioni.

3.3 One piece flow

Solitamente il pezzo è trasportato manualmente da una stazione di lavoro all'altra, e la maggiore differenza rispetto alla vecchia filosofia a reparti dove un operatore prelevava le parti da un magazzino di un reparto e le caricava in quello successivo, è che qui il pezzo si muove direttamente da una macchina all'altra senza fermarsi e senza buffer intermedi. Il pezzo può anche essere caricato e scaricato nella stessa macchina da due operatori differenti.

È evidente che il one piece flow minimizza l'ammontare del work in process (WIP), ovvero il tempo di fermata del pezzo tra un processo e l'altro: se infatti tutto scorre ad un pezzo alla volta non ci saranno tempi di fermata, e non saranno necessari

grandi buffer per immagazzinare i pezzi che aspettano. Ma il one piece flow non ha in questo il suo unico pregio:

- Il one piece flow minimizza il tempo di transito di ciascun pezzo attraverso la sequenza di operazioni nella cella. Come conseguenza se ciascuna delle macchine presenti nella cella cominciasse a produrre parti difettose, l'operatore avrà la possibilità di identificare il problema e potrà subito fermare la macchina prima che la macchina produca pezzi difettosi. Questa caratteristica produttiva non sarebbe ben implementabile con macchinari che lavorano a lotti.
- Se ogni prodotto rispetta il flusso di produzione ed è fatto ad un pezzo alla volta, non solo sarà molto più facile identificare un eventuale problema, ma questo riguarderà un solo pezzo non un intero lotto. Questa è una peculiarità molto importante in una realtà produttiva dove si cerca di tendere a una qualità del 100%, ovvero a una produzione a zero difetti.

Preservando la sequenza del processo, il one piece flow facilita la tracciabilità del problema. Non solo rende facile isolare le difettosità, ma anche identificare le parti prodotte prima e dopo i difetti. In una produzione a grandi lotti effettuata su reparti, quando nasce un problema è molto difficile identificare le parti fatte prima e dopo il difetto, visto che non c'è un flusso visibile di un singolo pezzi ma lotti non a flusso. Il one piece flow non è applicabile con macchine che processano lotti di parti identiche: nonostante l'utilizzo di queste macchine sia da evitare, alcune volte questo uso è necessario per la tecnologia presente. È compito degli ingegneri a quel punto sviluppare macchinari che riescano a produrre un singolo pezzo alla volta.

3.4 Dimensione del team di lavoro

Il team di lavoro deve essere preferibilmente scelto in modo tale che si instaurino dinamiche di gruppo il più positive possibile. Il range ideale di operatori per cui si può cercare di verificare quel presupposto è compreso tra le 3 e le 10 persone. Anche se un impianto verifica tutte le condizioni per essere classificato cella di lavoro, non può essere considerato una cella se ha più di 50 operatori.

3.5 Domanda caratteristica

Ovviamente quando si pensa alla produzione di un bene bisogna assicurarsi che i volumi previsti di vendita giustifichino l'investimento della cella per produrli. Se la cella è pensata per produrre una famiglia di prodotti, questi devono avere una sequenza comune di operazioni attraverso le macchine. Nelle celle composte esclusivamente da macchine ci sarà sicuramente un macchinario che fa da collo di bottiglia: questo non deve essere considerato un problema se il costo di quel macchinario è più alto degli altri presenti nella cella, visto che comunque la saturazione perfetta di tutti i macchinari è pressoché impossibile in una cella composta solo da macchine. Il compromesso migliore sarebbe che il collo di bottiglia, quindi il macchinario saturo, fosse anche quello a maggior investimento. Per esempio in una cella composta da macchine è molto meglio che sia satura una macchina da 500.000\$ che una da 50.000\$. Nelle celle di assemblaggio invece, il lavoro si presta meglio ad essere bilanciato tra le varie stazioni.

3.6 Il valore della cella

Nei capitoli precedenti sono state definite le caratteristiche una cella : quello che non si è mostrato è il perché una realtà produttiva dovrebbe cercare di implementare questo tipo di impianto produttivo. Il motivo è che, comparandolo a un impianto produttivo a reparti funzionali, una cella ha i seguenti vantaggi:

- Incremento della produttività e della flessibilità degli operatori
 - permettendo agli operatori di servire diverse macchine e stazioni, senza lasciare che percorrano lunghe distanze
 - permettendo modifiche al numero di operatori ove ci sia un cambio di domanda da parte del mercato
 - permettendo agli operatori di assistersi a vicenda, scambiando informazioni
 - incoraggiando il lavoro di squadra

- Riduzione del WIP tramite
 - il posizionamento del lavoro che prima era svolto in diversi reparti, in un'unica cella.

- Incremento della qualità attraverso:
 - riduzione del lead time

 - facilità di scovare ritardi e inefficienze di produzione: se un flusso continuo si ferma è facile vedere dove e perché si ferma

 - il rendere l'operatore responsabile di diversi processi, e dando la possibilità di vedere l'intero flusso del prodotto.

- Riduzione dello spazio occupato in stabilimento

I miglioramenti che si possono ottenere implementando una cella possono essere i seguenti:

 - 30-40% meno operatori a parità di lavoro svolto
 - 80-90% in meno di WIP
 - 50-90% di riduzione nei difetti di produzione
 - 25-30% in meno di spazio occupato in stabilimento

3.7 Design e implementazione di una cella Lean

Prima di ogni cosa bisogna capire quali aree dello stabilimento offrono delle buone opportunità per la conversione alle celle. Dei buoni candidati per la conversione a celle sono dei segmenti di impianti dove passano famiglie con alti volumi di produzione, con almeno un anno rimanente di vita economica, con attuali basse prestazioni, e soprattutto un supervisore pronto per un cambiamento radicale. Le fasi

di implementazioni della cella includono l'analisi, il design, l'installazione degli equipaggiamenti, la partenza vera e propria della cella e i successivi miglioramenti della stessa. Il team di progetto deve essere seguito da un supervisore e include ingegneri, tecnici, operatori e altro staff di supporto se necessario.

Capire cos'è una cella manifatturiera ha poco valore se non si sa come implementarla: nel prossimo capitolo si cercherà di dare delle linee guida per l'implementazione di una cella.

3.7.1 Dove trovare le migliori opportunità

Buoni candidati per la conversione a celle hanno le seguenti caratteristiche:

- Comprendono un segmento di lavorazione per un singolo prodotto o una famiglia di prodotti che sviluppa alti volumi di produzione. Con set-up rapidi, è possibile arrivare a 10 prodotti differenti in cella: farne 200 non è fattibile.
- Hanno un flusso di lavoro caotico, alto tempo di trasporto e di coda tra uno step e l'altro, in aggiunta a una spinta inutilizzazione dell'operatore. Peggiora l'iniziale condizione del flusso, migliore saranno i benefici della conversione alla cella.
- Equipaggiamenti affidabili e con buone capacità di processo. Se il caso non è questo, l'affidabilità e la capacità del processo devono essere sperimentate e migliorate attraverso l'ingegnerizzazione prima di pensare a integrarli in una cella produttiva.
- Vita economica del prodotto o famiglia almeno pari a un anno. La cella deve avere il tempo di pagarsi e generare profitto. Questo è necessario anche perché il team che ha sviluppato la cella in nuova concezione possa vedere il frutto del proprio lavoro.

3.7.2 Fasi di implementazione della cella

Riguardo a come un progetto di una cella è organizzato, ci sono passi che vanno seguiti per assicurarsi la riuscita del lavoro. Un approccio popolare molto utilizzato nella lean manufacturing è quello di concentrare il lavoro di analisi, design e implementazione in una settimana: questo approccio è chiamato evento kaizen. La

fattibilità dell'evento kaizen dipende dalla natura dei processi, delle macchine e dall'attitudine dei manager dell'azienda. In generale comunque devono essere verificate certe condizioni perché sia possibile realizzare un evento kaizen:

- Deve essere possibile eseguire la maggior parte delle operazioni di implementazione della cella in una settimana. Le celle che comprendono l'assemblaggio manuale di piccoli prodotti possono spesso essere implementate attraverso un evento kaizen: le celle invece che possiedono macchine che devono essere ristrutturare o necessitano di fondazioni non possono.
- Le capacità del team dell'evento kaizen devono essere adatte all'obiettivo prefissato: più grande è l'esperienza del team, più saranno le possibilità di riuscita nell'implementazione.
- Il manager responsabile della nuova cella deve essere il primo a volere la riuscita del processo: questo deve essere presente in stabilimento e pensare alla nuova cella come una grande opportunità di miglioramento.

Per forzare la riuscita del progetto certe aziende prendono delle scorciatoie bypassando le noiose fasi di analisi e misura e generando direttamente un layout a U, sistemando le macchine e dichiarando la missione compiuta, dando il compito al team di progetto di sistemare in seguito i dettagli. Agendo così è molto probabile che non si raccolgano risultati sperati e che si ritorni velocemente alla vecchia filosofia produttiva. Bisogna quindi cercare di seguire un metodo di implementazione senza prendere scorciatoie per avere i risultati sperati:

- **Analisi e Design.** La fase iniziale del progetto è un design concettuale contenente le seguenti considerazioni:
 1. Mix e volumi produttivi correnti e previsti, tradotti in takt time.
 2. Pianificazione della capacità produttiva, per una o più scelte di macchine.
 3. Bozza di un Layout concettuale con disegnato il flusso del prodotto.

4. Carte uomo macchina con i profili del lavoro dell'operatore. Queste carte servono per pianificare l'interazione dell'operatore con le macchine, e poi a comunicare definitivamente la sequenza delle operazioni all'operatore.
 5. Tabellone con indici di prestazione aspettati quali lead time, WIP, produttività, qualità, sicurezza, spazio occupato e altri parametri che possono essere utili al monitoraggio della nuova cella.
 6. Disegno dettagliato con il posizionamento di tutte le attrezzature, con dimensioni e specifiche delle attrezzature.
 7. Piano di implementazione con inclusi i bisogni di persone, tempi e attrezzature.
- **Installazione di equipaggiamenti.** Lo spostamento delle macchine degli equipaggiamenti e delle attrezzature deve essere effettuato in maniera concentrata, rendendo disponibile molte risorse per poco tempo. In un evento *kaizen* la preparazione delle macchine può prendere 2 giorni e l'effettivo spostamento 3 ore. In un evento non concentrato la preparazione può arrivare a 2 mesi e lo spostamento durare 3 giorni.
 - **Avvio della produzione.** Le istruzioni degli operatori, gli attrezzi di taglio e di incollaggio, la segnaletica sul pavimento possono essere posizionati durante la fase di partenza della cella., dopo aver spostato tutti i macchinari. Queste operazioni devono essere dettagliate e necessitano di un input da parte degli operatori. Questa fase, se si considerano i tempi di consegna di tutte le attrezzature leggere, può arrivare a durare anche due mesi.
 - **Continuo miglioramento e ultime fasi.** Gli operatori della cella sono il cuore dell'attività di miglioramento:hanno il compito di effettuare piccoli miglioramenti e di incontrarsi settimanalmente per decidere assieme le migliorie da apportare alla cella. Tra le attività di miglioramento c'è la registrazione giornaliera delle prestazioni, che devono essere segnate per assicurarsi che siano sempre disponibili e per vedere se la cella mantiene i target previsti.

Uno dei motivi per cui è preferito l'evento kaizen rispetto all'organizzazione in task force (poche persone dedicate per un lungo periodo allo svolgimento di un progetto)

è che per un'azienda è più semplice liberare un grande gruppo di risorse per poco tempo, piuttosto che occupare un piccolo gruppo per un lungo periodo di tempo.

3.8 Team di progetto

Un team di progetto per l'implementazione di una nuova cella ha bisogno di una certa varietà di figure professionali. Se non è stato deciso di effettuare un evento kaizen, il team è consigliabile che si incontri almeno una volta a settimana. Le figure presenti nel Team dovrebbero essere queste:

- **Il capo progetto.** Le probabilità di successo sono massimizzate quando il progetto è guidato da un supervisore di produzione che effettivamente il controllo dell'area.
- **L'ingegnere.** L'ingegnere deve dare tutta l'assistenza tecnica necessaria alla riuscita del progetto, che include l'analisi delle caratteristiche dei processi, dei tempi, la generazione dei layout, i calcoli dei bilanciamenti delle operazioni uomo macchina, l'archiviazione della pianificazione di tutte le operazioni e dei documenti necessari a all'implementazione della nuova cella, la produzione di riassunti gestionali e giustificazioni di costi dove richieste.
- **Operatori.** Gli operatori selezionati sono invitati a unirsi al team prima possibile per contribuire al progetto. Questo implica, in particolare, che l'obiettivo e il design concettuale sono stati già definiti. Il capo progetto darà agli operatori una presentazione dettagliata del progetto, incluso il ruolo che loro avranno in esso, e l'opportunità di crescita professionale permetterà tale progetto. Il ruolo dell'operatore crescerà gradualmente e diventerà sempre più importante nella fase finale di implementazione della cella.
- **Altre figure.** In aggiunta alle figure sopracitate, è possibile che a seconda delle necessità vengano coinvolte altre figure professionali come il tecnico che costruisce delle particolari attrezzature o l'analista finanziario che aiuta a redarre la lista dei costi.

3.9 Analisi e design

Per eseguire il design della cella, non basta solamente effettuare un disegno, infatti il design dettagliato della cella è guidato da numeri e dimensionamenti tramite le tecniche in seguito descritte.

3.9.1 Selezione dei prodotti e delle operazioni

Il primo passo da effettuare è identificare i prodotti candidati che hanno una serie di operazioni in comune: bisogna quindi trovare una famiglia di prodotti simili. Per individuare famiglie di prodotti simili bisogna considerare le operazioni principali e a valore aggiunto su questi prodotti, non considerando ad esempio le operazioni come pulizia o controllo visivo, che sono secondarie. Le operazioni da considerare per la comunanza dei prodotti sono solo quelle a valore aggiunto, che sono quelle dove la cella è incentrata: non si può dimensionare la cella attorno l'operazione di pulizia. Uno degli strumenti da utilizzare potrebbe essere la matrice prodotti/operazioni.

3.9.2 Calcolare il Takt-Time

Il takt time è il tempo che deve trascorrere tra il completamento di un pezzo e l'altro fatto tramite il one piece flow, tale per cui si riesca a soddisfare il ritmo della domanda del cliente.

$$\text{TAKT TIME} = \frac{\text{TEMPO DISPONIBILE}}{\text{PEZZI RICHIESTI}}$$

Questo tempo andrebbe calcolato per tre situazioni:

- Nell'immediato presente
- Quando la cella partirà
- Al picco aspettato di domanda

3.9.3 *Selezionare l'equipaggiamento per la cella*

Come linea guida, bisogna pensare che l'equipaggiamento lavorerà solo nella cella che stà per essere implementata: le macchine saranno quindi dedicate alla cella. Trovare l'attrezzatura adeguata implica le seguenti riflessioni:

- Controllare i carichi di lavoro delle macchine attualmente usate per le operazioni considerate: tra queste bisogna cercare la macchina più piccola che garantisce la svolgimento delle operazioni.
- Se le macchine attualmente utilizzate nello stabilimento non possono essere dedicate, cercare altri equipaggiamenti disponibili in azienda: anche in questo caso cercare di scegliere la macchina più piccola, a patto che possa svolgere il lavoro al takt time richiesto.
- Se non è stata trovata una macchina disponibile, investigare il mercato usato delle macchine.
- Se falliscono tutte le precedenti la cella necessita dell'acquisto di un nuovo macchinario: ovviamente, potendo scegliere è meglio scegliere un equipaggiamento con capacità superiori alle richieste, in modo che possa adattarsi a un eventuale redesign della cella.

3.9.4 *Capacità di processo*

Solitamente nelle aziende mature le macchine riescono a rientrare nelle tolleranze prestabilite, e le capacità di processo sono raramente una linea guida, a parte durante l'introduzione di un nuovo prodotto. Al contrario nelle aziende altamente tecnologiche è molto comune che i processi non maturino fino a quando il prodotto è diventato obsoleto, e che i tecnici di produzione operino costantemente per tenere il processo sotto controllo.

Dal punto di vista dell'implementazione della cella il parametro chiave è l'indice di difettosità ovvero la percentuale di pezzi che devono essere scartati o rilavorati. Una condizione necessaria affinché la cella sia flessibile è che questo indice per ogni macchina sia inferiore al 3%: se questa condizione non è verificata, il primo passo è

quello di potenziare le capacità di processo di ogni macchina che sarà integrata nella cella.

La figura sottostante mostra in un diagramma logaritmico l'incremento delle performance di qualità, partite da un indice di difettosità del 30% , e migliorate sino ad un valore di 0,0015%.

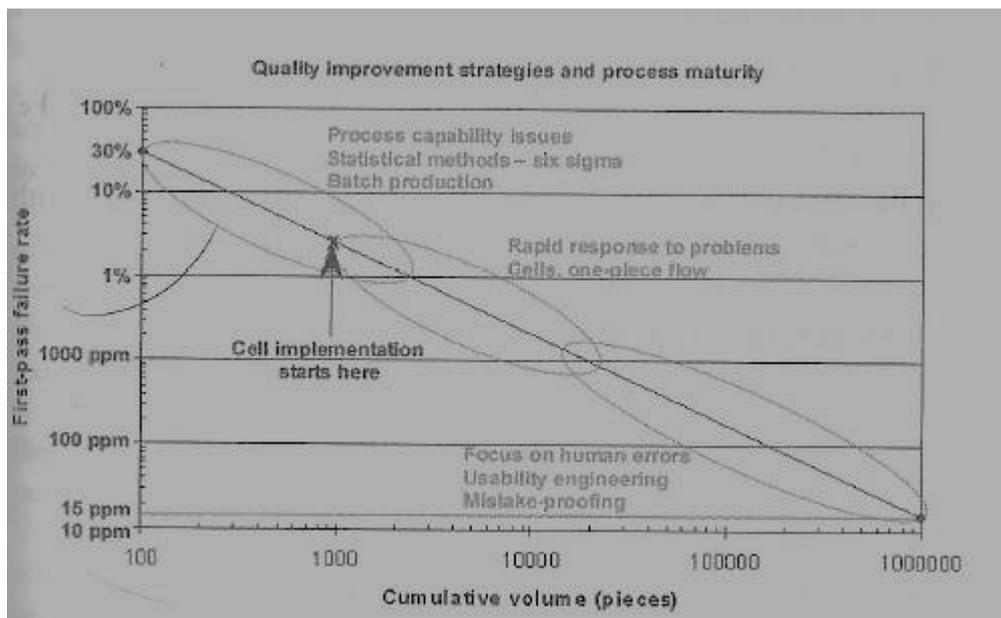


Figura 3.6 Esempio di storico di difettosità di processo.

3.9.5 Analisi della capacità degli equipaggiamenti

Una volta che si conosce il tempo che una macchina è occupata per lavorare un pezzo, il tempo totale che la macchina deve lavorare per coprire il carico di lavoro totale si ottiene tramite semplici calcoli. In una cella di puro assemblaggio ci sarà solo una linea del tempo: quella del lavoro manuale. In una cella dove ogni operatore attende diverse macchine le linea del tempo delle macchine e degli operatori devono essere analizzate separatamente: ci sono infatti le seguenti categorie di tempo:

- Manual in time : tempo speso dall'operatore sulla macchina quando questa è ferma: tipicamente questo è tempo di carico scarico.

- Manual out time: questo è tempo speso dall'operatore sulla macchina con la macchina in funzione come ad esempio un'ispezione in funzionamento o il carico di un attrezzo in un centro di taglio
- Machine time: puro tempo macchina, senza l'intervento dell'operatore

In aggiunta a questi tempi che sono caratteristici di ogni ciclo, bisognerà tenere conto del tempo necessario per cambi di attrezzi, o controlli dimensionali, che cambiano il tempo medio necessario per far uscire il pezzo in modo sistematico: questi tempi devono essere identificati e trattati separatamente individuandone durata e frequenza.

Da questi tempi si riesce a capire il tempo di lavoro di una macchina per effettuare la produzione dei dati pezzi. Dopo aver dedotto dal tempo disponibile una finestra di tempo per le fermate programmate e non della macchine, si devono pianificare i setup, dai quali si può dedurre il lotto minimo indispensabile nelle condizioni correnti, e decidere se i tempi di set-up devono essere ridotti oppure no: la tendenza a una produzione flessibile punta sempre e comunque a ridurre questi tempi deleteri per la flessibilità.

In un turno è impossibile avere la saturazione di tutte le risorse uomo macchina, e nelle carte uomo macchina devono essere considerate separatamente: in aggiunta le macchine hanno fermate programmate e non programmate di manutenzione mentre gli operatori hanno pause autorizzate, meeting occasionali quali 5s, affaticamento e giorni di malattia. Il numero delle macchine e degli operatori deve essere ovviamente calcolato separatamente non basandosi sul principio semplicistico "un uomo per una macchina".

3.9.6 *Layout concettuale*

Il livello del layout concettuale è quello presente in figura 3.5: questo mostra com'è il flusso del pezzo attraverso le stazioni e come l'operatore si muove tra le macchine. Per una buona riuscita del processo è consigliata una simulazione del giro in cella con gli operatori, dove emergeranno considerazioni relative all'ergonomia delle postazioni, delle postazioni di controllo, al peso dei pezzi. La cella deve anche essere

pensata perché garantisca la sicurezza del personale che ci lavora e permetta una agevole manutenzione dall'esterno.

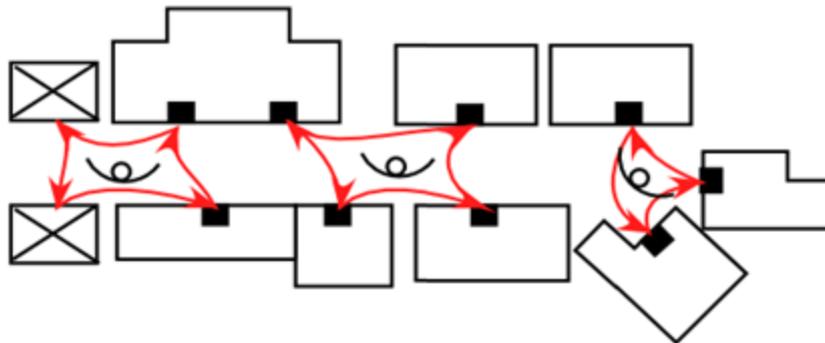


Figura 3.7 Layout concettuale della cella. (www.4lean.net)

Idealmente tutte le macchine necessarie devono essere integrate nella cella: esse lavorano ogni prodotto della cella un pezzo alla volta, idealmente dovrebbero avere un tempo di lavoro uguale per ogni prodotto. Raramente nella realtà si riescono a incontrare tutte queste condizioni: comunque l'obiettivo dello sviluppo del layout concettuale è proprio quello di trovare soluzioni ai problemi esistenti. In fase di layout concettuale bisogna prescindere da ogni restrizione sulle attrezzature perché lo scopo è quello di costruire il meglio possibile la cella: ragionamenti e compromessi relativi alle attrezzature saranno affrontati nel design dettagliato.

3.9.7 Design del lavoro operatore

Per pianificare il lavoro dell'operatore, lo strumento più importante è la carta uomo macchina. Se il carico di lavoro supera la capacità massima della macchina collo di bottiglia il processo non è sostenibile. Non è detto che se la capacità teorica della linea è rispettata, le macchine, i materiali e gli equipaggiamenti siano coordinati in maniera tale da riuscire a soddisfare la capacità: per assicurarsi che la capacità prevista sia quella attesa, bisogna simulare le operazioni in cella aiutandosi con la carta uomo macchina. Più breve è il takt time, più pesa il tempo di camminamento

dell'operatore attraverso le stazioni di lavoro: se questo tempo è di ore invece che di minuti, allora il tempo di camminamento diventa trascurabile.

Vediamo di seguito un esempio di come poter utilizzare la carta uomo macchina, per migliorare lo svolgimento di una semplice operazione: la preparazione del caffè.

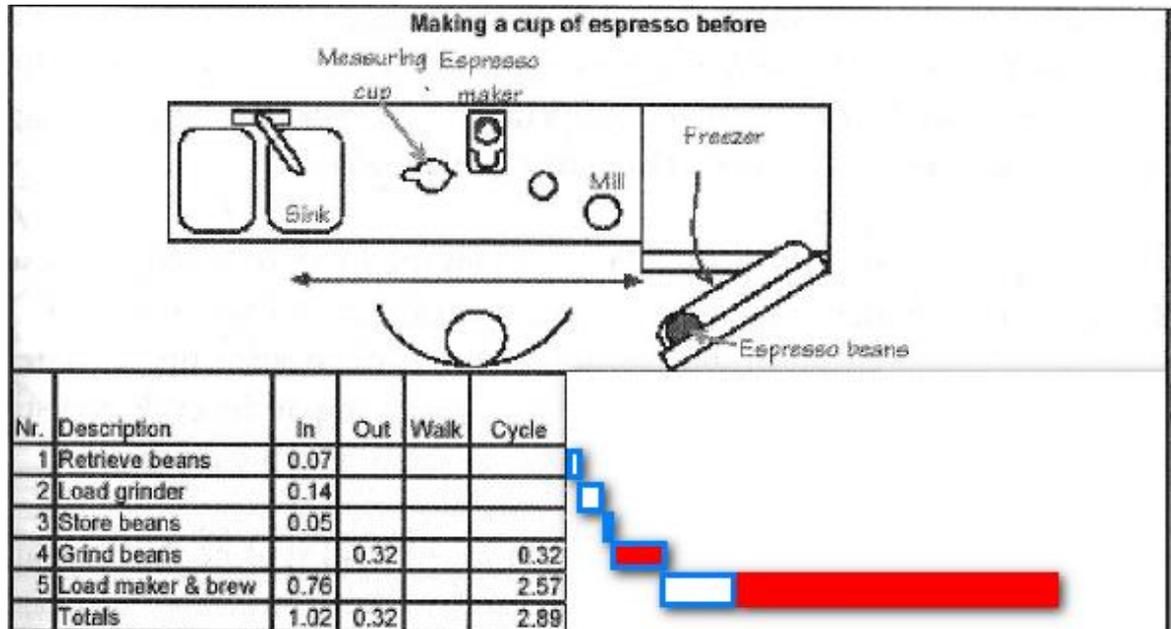


Figura 3.8 Carta uomo macchina per realizzare il caffè.

Nella figura precedente è mostrata la normale sequenza delle operazioni per fare il caffè:

- Prendere i chicchi
- Caricare la macina
- Rimettere la scatola dei chicchi nel freezer
- Macinare i chicchi
- Caricare e far partire la caffettiera

In questo modo il caffè non è preparato in maniera efficiente visto che la caffettiera è stata fatta partire solo alla fine di tutte le altre operazioni. Ma il ciclo di infusione del caffè per gran parte serve per far scaldare l'acqua per farla arrivare alla temperatura di ebollizione. Quindi se ci fosse la possibilità di azionare l'infusione da subito, e successivamente macinare i chicchi e caricare la polvere nella macchina per il caffè, il tempo ciclo totale per produrre il caffè, sarebbe inferiore, e l'uomo attenderebbe

meno: in poche parole l'azione sarebbe svolta in modo più efficiente. In figura 3.8 è presente la carta uomo macchina della sequenza delle operazioni ottimizzata, dove la macchina per l'infusione, che ha il tempo più alto di tutti, è fatta partire subito: questo comporta un grande risparmio di tempo.

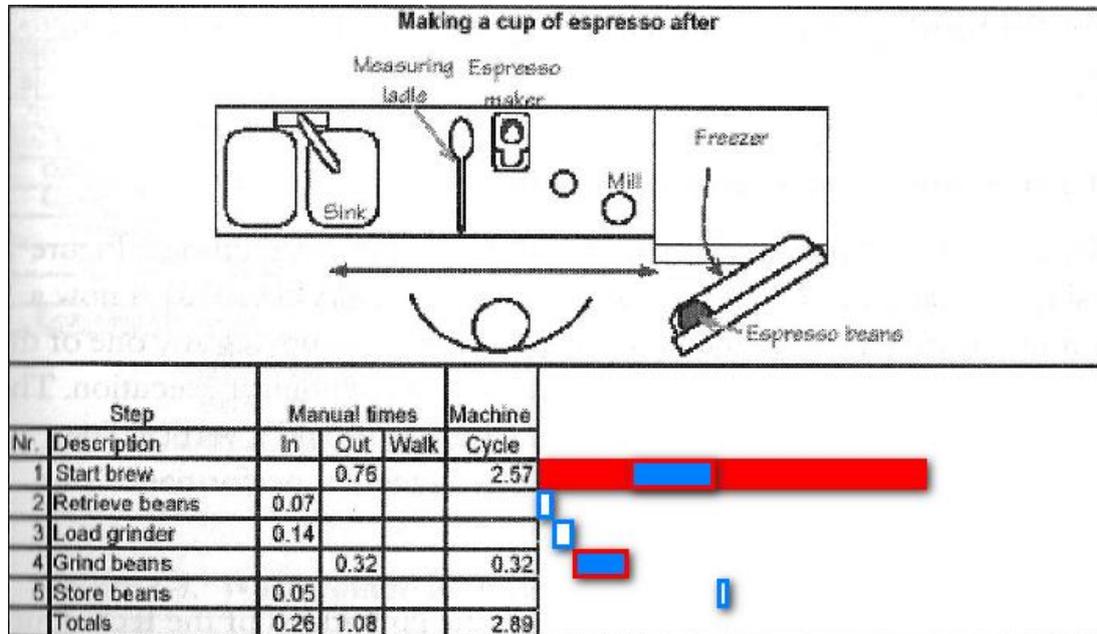


Figura 3.9 Carta uomo macchina migliorata.

Nell'esempio considerato il tempo ciclo passa da 3,91 minuti a 2,57 minuti: in questo caso l'ordine delle operazioni è diverso ed è il seguente:

- Accendere la macchina per il caffè
- Prendere i chicchi
- Caricare la macina
- Macinare i chicchi
- Caricare la macchina del caffè
- Rimettere la scatola dei chicchi nel freezer

Con questo semplice esempio si capisce che tutte le operazioni, se analizzate con la carta uomo macchina possono essere efficientate, diminuendo il tempo ciclo e l'attesa dell'operatore.

3.9.8 Design dettagliato

In un evento kaizen spesso non c'è tempo per il design dettagliato della cella, che significa che deve essere possibile basarsi solo sul design concettuale per implementare la cella. Le condizioni necessarie per il verificarsi di questa condizione sono le seguenti:

- Non ci sono problemi riguardo alla posizione futura della cella: questo di solito non è mai un problema visto che la cella occupa meno spazio dello stesso impianto produttivo in modalità a reparti.
- Gli equipaggiamenti e le macchine devono essere pronte per lavorare nella cella: se una macchina ha capacità di processo basse e instabili non è pronta per lavorare in una cella.
- Le attrezzature devono essere disposte come segue:
 1. Il pavimento deve essere sufficientemente stabile per accogliere la cella
 2. Elettricità, aria compressa e altre utenze necessarie per lo svolgimento delle operazioni devono essere disponibili da una rete impiantistica soprastante lo stabilimento, come mostra la figura 3.11.
 3. Le posizioni che accoglieranno gli scarti prodotti dalla cella devono essere già disponibili.

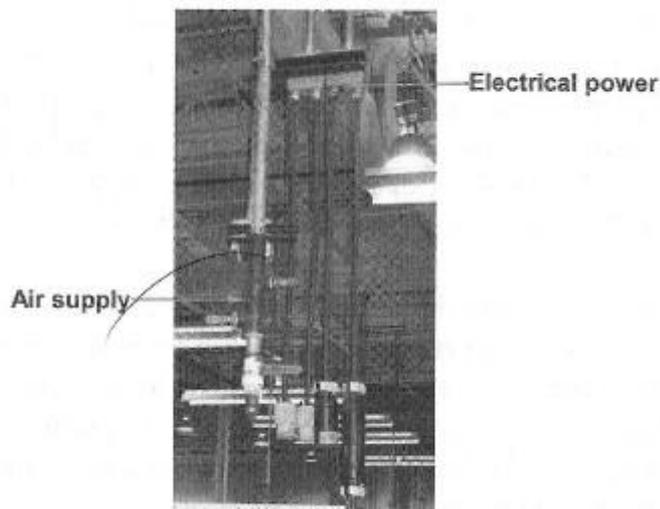


Figura 3.10 Impiantistica disponibile dalla rete soprastante lo stabilimento.

Se queste condizioni non sono verificate il modello ad evento kaizen non è attuabile, quindi sarà necessario un design dettagliato che comprenderà uno studio riguardo alle attrezzature e agli allacciamenti necessari per lo svolgimento delle operazioni.

Usare lo spazio dove l'impianto produttivo risiedeva in precedenza non è sempre un'opzione. Spesso il team di lavoro deve trovare una postazione diversa per allocare la cella: quello che non deve succedere è che il design della nuova cella sia modificato a causa di limitazioni impiantistiche e di spazio. Il design della cella non deve essere modificato a causa di queste limitazioni: il primo obiettivo è progettare la cella di produzione.

3.10 Installazione degli equipaggiamenti

Ad un certo punto il team ferma l'attività di progettazione e comincia quella di implementazione. Bisogna assicurarsi tramite un evento pietra miliare che il progetto sia arrivato a raggiungere i giusti obiettivi e si stia dirigendo verso la direzione corretta

Il progetto della cella deve essere indivisibile. Dovrà essere implementato come un'unità, e non diviso in tante piccole parti: ci sono diversi motivi per avere questo approccio:

- La cella in sé è un progetto unico, e vale di più delle sue parti messe assieme.
- Il team deve giustificare i costi della cella non dei suoi elementi. Possiamo portare un esempio: se nella nuova cella sarà presente una nuova pressa da 20.000 €, che verrà però usata solo per il 10% ma che eliminerà il carico di lavoro di un altro dipartimento, la sua giustificazione dei costi fatta come singola parte della cella sarebbe molto complicata e poco esaustiva. Ha senso vista solo come parte di un investimento totale di 80.000€ che magari si ripagherà in 5 mesi.
- Muovere macchine e attrezzature è distruttivo per la produzione, quindi è meglio muovere tanto in poco tempo.

3.10.1 Restauro e miglioramento delle attrezzature

La cella è più vulnerabile ai fermi macchina rispetto al job shop, quindi il team deve assicurarsi che le macchine siano pronte per lavorare in cella prima di muoverle. Una volta che le macchine sono state integrate nella cella la loro disponibilità e il loro funzionamento richiedono più attenzione, e parte di questa deve essere data dagli operatori che lavorano nella cella. Inoltre prima di essere integrate nella cella la macchina deve essere attrezzata in modo che rispetti gli standard di sicurezza.

Se la macchina è in buone condizioni per cominciare il lavoro nella cella il suo miglioramento dovrà essere rimandato per due motivi sostanzialmente:

- Questo ritarderebbe implementazione della cella
- Le direzioni verso cui si intende portare il miglioramento potrebbero non essere chiare fino a quando la cella non è operativa

Se invece le capacità della macchina non sono attualmente sufficienti, queste vanno migliorate immediatamente attraverso l'ingegnerizzazione e la sperimentazione: questo processo può durare anche 3 mesi che vanno a sommarsi alla durata del progetto della cella.

3.10.2 La finestra di produzione

Mentre la cella è stata posizionata il naturale corso di produzione della famiglia di prodotti si ferma: la produzione di quei beni deve comunque essere assicurata nello stabilimento perché altrimenti si avrebbero ritardi di consegna. Per rendere questo possibile bisogna che un supervisore, il value stream leader, si assicuri che ci sia uno stock abbastanza consistente da servire i processi a valle del flusso produttivo, finché la cella non sarà operativa. Ovviamente più veloce è il movimento delle macchine, meno problemi in produzione ci saranno: ad esempio durante lo spostamento è più facile che nascano ritardi in produzione e materiali in eccesso se in stabilimento si utilizza un sistema push. Per questi motivi è bene che lo spostamento sia il più veloce possibile.

3.11 Partenza della produzione e perfezionamento della cella

Una volta che le attrezzature sono state posizionate la cella è abbozzata ma non ha raggiunto lo stato di perfezione. Probabilmente già da subito si potrà constatare la riduzione di WIP, ma sarà difficile riscontrare effetti sulla produttività, senza contare che il primo impatto del nuovo modo di lavorare sugli operatori sarà forte: il fatto è che non è ancora presente un team di operatori versatile, pronto ad eseguire diversi lavori in differenti stazioni. Inoltre tutti gli attrezzi manuali, come attrezzi di taglio, di pulizia, di incollaggio devono ancora essere ben integrati nella cella. I dettagli di finitura della cella sono i seguenti:

- **Attrezzi manuali:** solo gli attrezzi usati giornalmente nel lavorare della cella devono essere integrati nella cella e devono essere posizionati il più vicino possibile al punto di utilizzo. Sia per gli attrezzi di assemblaggio che per quelli relativi a una macchina deve essere prevista una posizione ben definita, visibile e semplice da raggiungere. Nella figura seguente è possibile vedere una buona disposizione di attrezzi utilizzati nel lavoro giornaliero della cella: gli attrezzi sono ben visibili e vicini alla postazione di lavoro.

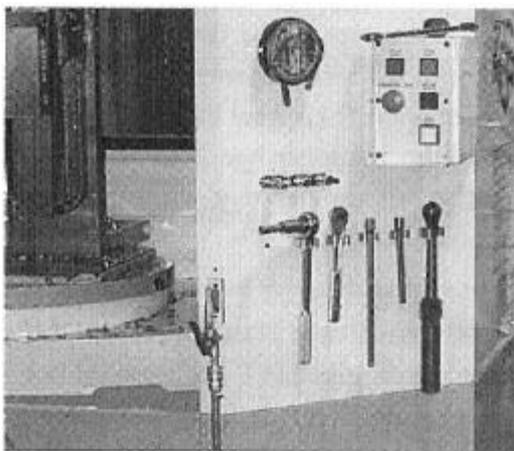


Figura 3.11 Attrezzi necessari per le operazioni di trasformazione del prodotto.

- **Attrezzature varie:** come per gli attrezzi manuali tutte le attrezzature grandi e piccole necessarie allo svolgimento delle operazioni a valore aggiunto della

cella devono essere integrate solo se utilizzate giornalmente: anche per queste attrezzature vale il fatto che devono essere più vicine e accessibili possibile alla zona di lavoro.

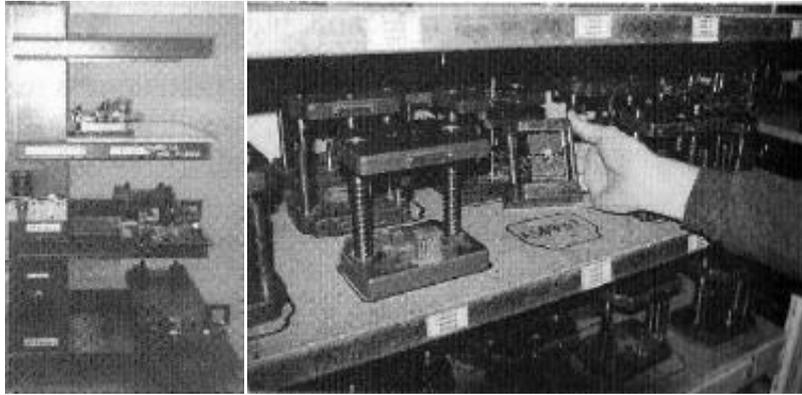


Figura 3.12 Esempio di attrezzature utilizzate per la produzione in cella.

- Attrezzi soggetti deterioramento: la cella deve avere punti di posizionamento degli attrezzi deteriorati, dove il personale addetto alla manutenzione possa prendere gli attrezzi freschi e selezionare quelli finiti.
- Istruzioni standard work: sono le istruzioni che devono seguire gli operatori, devono essere posizionate dietro ogni macchina, e devono essere suddivise per prodotto per permettere a ogni persona che lavorerà nella cella di sapere cosa e come farlo.

Operator instructions

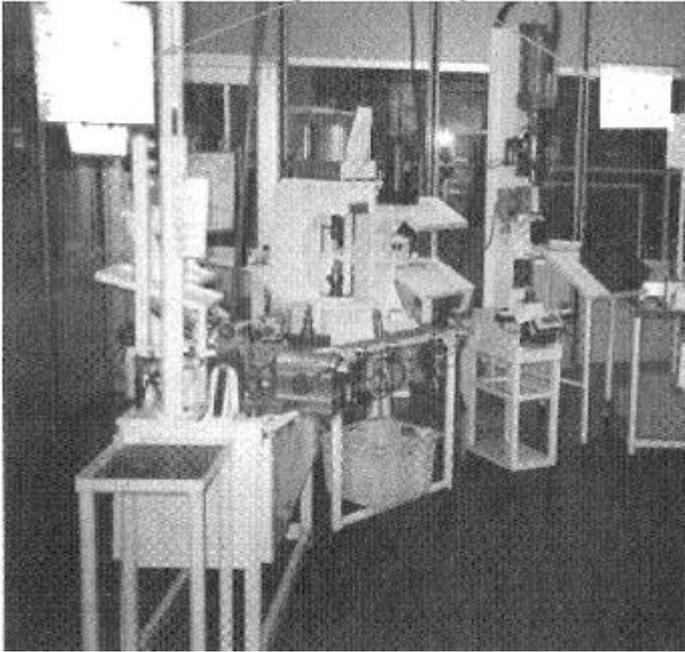


Figura 3.13 Istruzioni per gli operatori presenti in ogni stazione di lavoro.

- Segnalatori: i confini della cella devono essere segnati. In principio strisce colorate adesive sono sufficienti. I segnali più importanti nella cella sono quelli per l'input e l'output della cella. Questi devono spiccare e essere pensati per rendere difficile se non impossibile riempire oltre un certo limite le postazioni di in e out.
- Tappeti da pavimento: il suolo di uno stabilimento è piuttosto rigido e camminarci per 8 ore è affaticante per l'operatore: questo problema è facilmente risolvibile con tappeti defaticanti.
- Lavagne per la comunicazione: una grande lavagna messa a bordo linea è necessaria per scrivere i risultati della linea e tenere sotto controllo i problemi di gestione della cella.

Capitolo 4 I SISTEMI PRODUTTIVI IN CAREL INDUSTRIES SPA

4.1 Panoramica sulla struttura produttiva in CAREL

L'azienda CAREL INDUSTRIES SPA, è incentrata sulla produzione di controlli elettronici per i settori del condizionamento e della refrigerazione. Solo negli ultimi anni si è dedicata anche alla produzione meccanica di impianti per l'umidificazione. Si divide dunque in due impianti produttivi:

- Elettronica (al primo piano)
- Meccanica (al piano terra)

La produzione è operativa dal lunedì al sabato mattina (quest'ultimo è comunque considerato lavoro straordinario);

Nel metodo di rispondere alla domanda, CAREL ha reinterpretato il concetto di "make to order" in "assembly to delivery", ciò significa che le fasi di approvvigionamento dei materiali sono svolte su previsione, mentre le fasi di assemblaggio vengono svolte solo a fronte dell'arrivo di un ordine. In tal modo si evita la creazione di scorte di prodotti finiti e l'impiego inutile di materiali e risorse. Da qualche anno infatti si è compiuto il passaggio che ha sancito l'abbandono del vecchio modello a reparti (job-shop). Quest'ultimo prevedeva il raggruppamento delle risorse produttive in unità ben distinte, all'interno delle quali venivano effettuate determinate lavorazioni e assemblaggi. Tale layout era strettamente legato alla produzione per lotti, che prevedeva lo spostamento di grandi quantitativi di semilavorati da una stazione all'altra. Ciò significava che l'intero lotto veniva movimentato di reparto in reparto ed ivi si fermava per l'intero periodo di tempo che

andava dalla lavorazione del primo pezzo fino a quella dell'ultimo. Ciò unito al fatto che ogni lotto non poteva mai scendere sotto un certo quantitativo di pezzi, comportava una forte rigidità produttiva, unita alla gestione di grandi scorte e magazzini per poter soddisfare le richieste del mercato. Inoltre gli sprechi dovuti alla movimentazione tra i reparti andavano a incidere notevolmente sull'intero tempo ciclo del codice.

L'attuale modello a flusso invece prevede l'organizzazione delle risorse in celle produttive, nelle quali non si parla più di lotti ma di singoli pezzi prodotti (tecnica one piece flow). Ciò significa che ogni semilavorato non deve più subire movimentazioni tra reparti né attendere lavorazioni all'interno del lotto. Ogni codice deve essere soggetto ad un flusso lavorativo individuale, che lo porti dalle materie prime fino al pezzo finito lavorato e imballato. Tutto ciò conferisce enorme flessibilità, permettendo di adottare una tecnica produttiva di tipo "Pull" e dunque di ridurre al minimo le scorte di materie prime e prodotti finiti. Tutto ciò rientra nella mentalità lean che prevede la riduzione degli sprechi e la massimizzazione delle rendite.

Tornando all'organizzazione produttiva dell'azienda, il settore dell'elettronica è suddiviso in Value Stream: una Value Stream è un raggruppamento di impianti di produzione, macchine e operatori, che permettono l'intero ciclo produttivo di certi prodotti. Questa suddivisione serve per avere un buon controllo della produzione, visto che viene effettuata una macro suddivisione dello stabilimento, e affidata ogni value stream a un leader, completamente responsabile del flusso di prodotti affidatogli.

Il Value Stream Model prevede la mappatura del flusso di valore, ossia del percorso che deve essere effettuato da un determinato codice per subire il processo produttivo.

Per semplicità si è deciso di suddividere la produzione elettronica in base al mercato di destinazione ed alle caratteristiche tecniche comuni; le caratteristiche dei codici sono tre:

- *Value stream 1*: sono codici dotati di una tecnologia avanzata, gestiti per mezzo di complessi software e sistemi operativi: questi prodotti sono dedicati al mercato del condizionamento.

- *Value stream 2*: prodotti caratterizzati da software parametrizzabili sulle esigenze del cliente: tipicamente sono codici dedicati al mercato della refrigerazione.
- *Value stream 3*: codici che non sono abbastanza caratterizzati per rientrare nelle due precedenti categorie.

Ad ognuna di queste risorse è stata dedicata una value stream, ossia una disposizione di risorse (macchine, operatori, ecc.) che ne permette l'intero ciclo produttivo a flusso: in figura 4.1 è presente la suddivisione in value stream del reparto elettronica in CAREL.

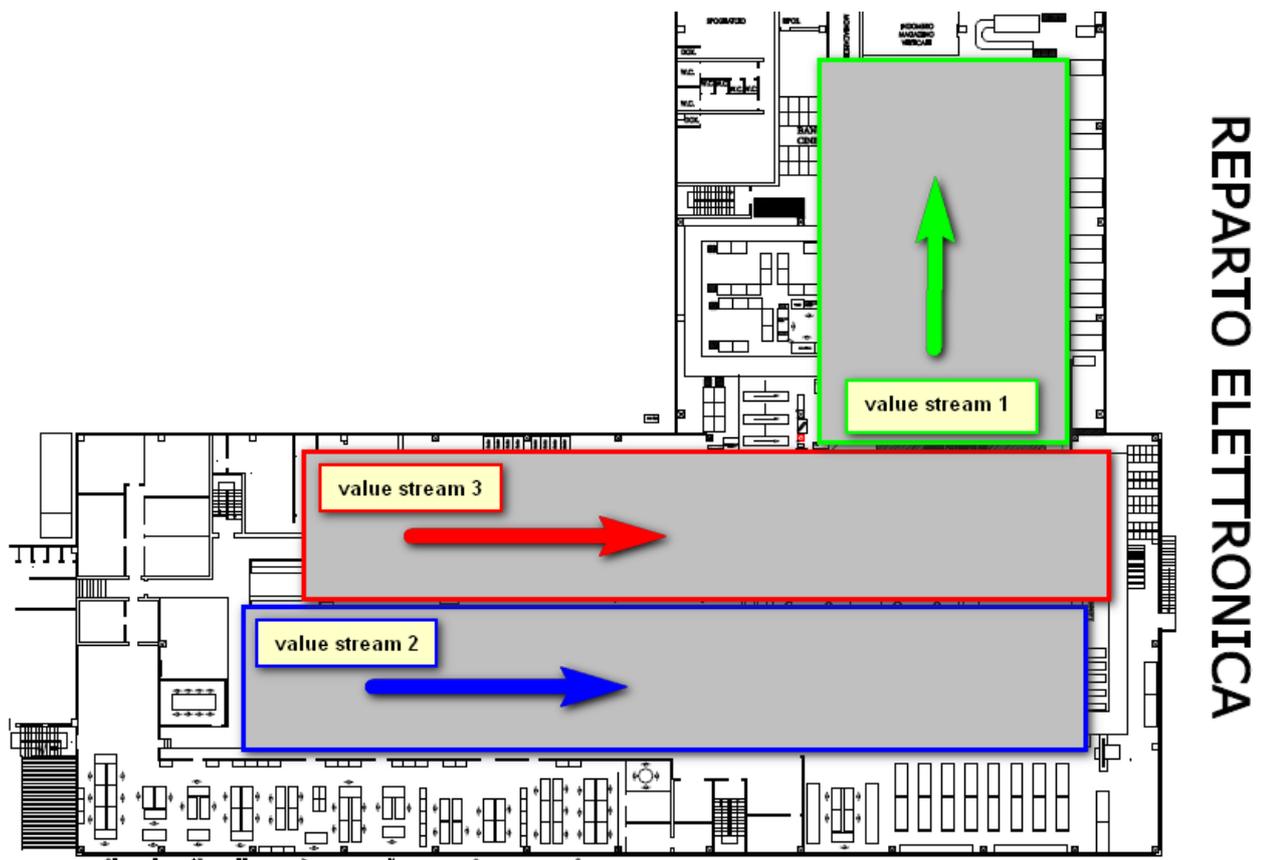


Figura 4.1 Organizzazione dello stabilimento con Value Stream.

A livello organizzativo, la value stream è gestita da una figura chiamata value stream leader, il quale, rispondendo direttamente al Plant Manager (direttore di stabilimento), è responsabile dell'intero flusso di valore specifico, e ha il compito di interfacciarsi con i Centri di Competenza (CdC) coinvolti per il raggiungimento degli obiettivi, la risoluzione delle criticità e il miglioramento continuo del processo.



Figura 4.2 Ingrandimento della value stream 3.

Osservando la figura 4.2, oltre che il flusso dei prodotti, si può notare che nelle Value Stream ci sono due tipologie di linea: prendendo come esempio la Value Stream 3, partendo da sinistra sono posizionate per prime, le linee smt, che servono le successive: queste sono le linee dove avviene la trasformazione in prodotto finito: le linee smt e le linee a prodotto finito sono caratterizzate da differenti tecnologie di assemblaggio di cui darò una rapida panoramica.

- LINEE SMT (Surface Mounted Tecnology): queste linee si basano su di una tecnologia molto recente, introdotta negli anni '90. La SMT consta nell'assemblaggio automatizzato dei componenti ad adoperare di macchine dedicate SMD (Surface Mounted Device): la tecnologia in questione permette ritmi produttivi molto veloci (nell'ordine di decine migliaia di componenti montati/h), garantisce un livello di precisione molto elevato ma è molto meno flessibile della tecnologia PTH. In figura 4.3 è presente un esempio di posizionamento di un componente smd, mentre in figura 4.4 un componente smd dopo la saldatura nel forno a rifusione.

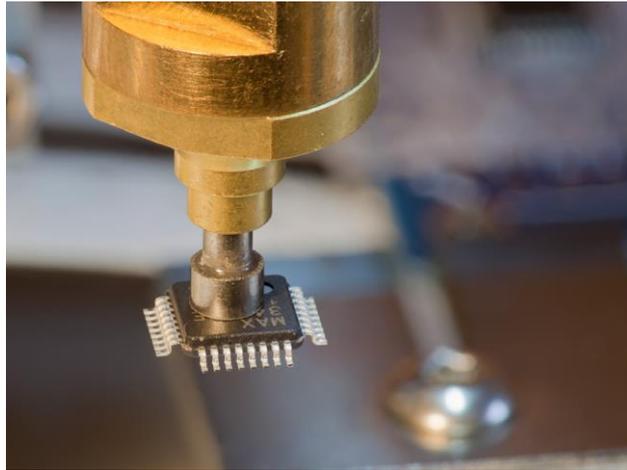


Figura 4.3 Dettaglio della tecnologia di assemblaggio pick and place.

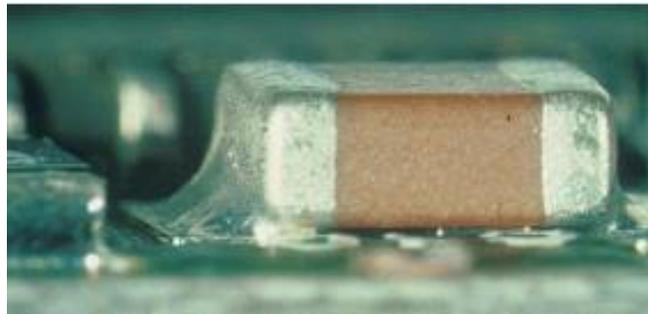


Figura 4.4 Esempio di un componente smd dopo la saldatura.

- **LINEE PRODOTTO FINITO:** questo tipo di linea, a differenza della precedente, segue l'ultima parte del ciclo produttivo di ogni codice. Per quasi tutti i codici all'interno di queste linee, viene effettuato l'assemblaggio dei componenti, ma in questo caso con la tecnica PTH (pin through hole): il montaggio in questo caso è di tipo manuale classico. Essa presenta grande flessibilità di esecuzione, ma non è sufficientemente precisa per i componenti più piccoli (dell'ordine dei mm); inoltre il ritmo produttivo è molto più basso della tecnologia SMT. In figura 4.5 è presente un esempio di componente pth.

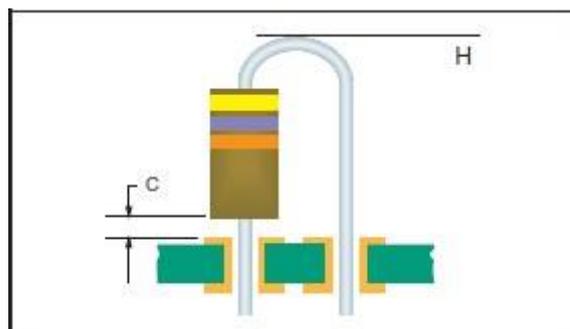


Figura 4.5 Esempio di un componente pth (IPC-610E)

Visto che il progetto di tesi ha trattato principalmente le linee a prodotto finito nel prossimo paragrafo vedremo in dettaglio quali sono le fasi di lavorazione di una linea prodotto finito.

4.2 Linee prodotto finito

Questa tipologia di linee occupa la maggior parte delle VS elettronica. Queste ricevono come input i semilavorati dalle linee SMT e forniscono in output il prodotto finito.

Ogni ciclo produttivo, relativo ad un determinato prodotto finito, è composto da una serie di lavorazioni indicate da fasi.

Le attività svolte sono le seguenti:

- *Taglio di eventuali quadrotti/schede provenienti da linee SMT:* è un'operazione effettuata per i quadrotti contenenti più di una figura; in alcuni casi l'operazione viene effettuata all'uscita del forno di saldatura SMD, in altri l'operazione viene svolta nelle Linee Prodotto Finito.
- *Montaggio di semilavorati su carrello di saldatura e assemblaggio manuale dei componenti PTH:* tale attività prevede il posizionamento del semilavorato proveniente dalle linee SMT su appositi carrelli (necessari per il successivo passaggio in saldatrice). Qui viene effettuato il montaggio manuale dei componenti più complessi, che le macchine SMD non possono effettuare.

- *Saldatura*: questa fase viene effettuata tramite saldatrici ad onda una tecnologia consolidata da diversi anni. La saldatura dei componenti sul PCB ha il compito di assicurare tenuta elettrica e meccanica dei componenti, è quindi un processo di fondamentale importanza e che determina la qualità finale del prodotto finito. E' un processo che coinvolge diverse variabili, che devono essere controllate al meglio per ottenere un processo conforme. La fase di saldatura consiste in tre fasi principali:
1. *Flussatura a onda o spray del PCB*: il fluxante ha il compito di dissolvere le parti in rame che verranno saldate: senza il deposito e la successiva attivazione del fluxante non si avrebbe una adeguata saldatura.
 2. *Pre-riscaldamento*: questa fase consiste nell'attivazione del fluxante tramite apporto di energia termica: perché il fluxante svolga la sua funzione di decapaggio deve raggiungere una certa temperatura ed essere attivato, e per fare ciò bisogna seguire un preciso profilo termico.
 3. *Saldatura ad onda*: la vera e propria fase di saldatura consiste nel passaggio del PCB su un'onda di lega saldante. Le variabili da controllare in questa fase sono la temperatura della lega saldante, il tempo di contatto, e l'interferenza tra l'onda di lega e il PCB.
- *Controllo*: questa fase consiste in controllo manuale dell'operatore, che ha il compito di accertarsi che la saldatura sia avvenuta correttamente in tutti i pin, e non ci siano difetti di saldatura quali corto circuiti, saldature mancanti, ragnatele, palline e vele: in caso di difetti l'operatore provvede rimuoverli manualmente tramite apposite attrezzature come il saldatore. Tutti i difetti, una volta corretti, vengono riportati sul rapporto di produzione relativo all'ordine di lavoro.
- *Test in-circuit, Test funzionale*: questi controlli consistono nel posizionare il PCB in appositi letti ad aghi che hanno il compito di controllare, tramite contattazione, che tutti i parametri elettrici rientrino in standard prefissati. Per

certi prodotti viene inoltre effettuato un controllo in maniera da testare tutte le periferiche aggiunte, per verificarne le funzioni salienti.

- *Assemblaggio*: consiste nella chiusura del prodotto finale, ossia nell'assemblaggio di tutte le plastiche e tutti gli eventuali componenti accessori (monitor, pulsanti, tastiere etc.)
- *Imballaggio*: consiste nell'inserimento del prodotto nella confezione finale, dove sono presenti le istruzioni per l'uso e eventuali accessori del pezzo: l'output è il pacco pronto per la spedizione.

4.3 Situazione iniziale nella value stream 3

In questo paragrafo si vuole descrivere la situazione precedente alla riorganizzazione lean in CAREL. Prendiamo in esame le linee prodotto finito della value stream 3, oggetto del progetto di stage, e vediamo come era disposto l'impianto produttivo prima della rivoluzione lean. Osservando la planimetria della stabilimento in figura 4.6, vediamo che secondo la vecchia filosofia a reparti, tutte le linee dei prodotti finiti si appoggiavano per il processo di saldatura ad un'unica grande dorsale che attraversava tutta la value stream 3. Un'unica grande saldatrice con un nastro trasportatore saldava tutti i prodotti della value stream. Si evince come tale configurazione comportasse un tempo di realizzazione del prodotto finito molto lungo, legato appunto alla fase di saldatura. Consideriamo le due linee evidenziate in rosso: la linea 1 e la linea 2: il tempo di saldatura per la linea 1 che era situata alla fine del nastro trasportatore era di 20 minuti. Un vantaggio di questa configurazione era il fatto di avere una sola grande macchina dalla quale passavano tutti i prodotti della value stream: la produzione in questo caso però era gestita per lotti economici, e quindi venivano aggregate le richieste dei clienti. In tale maniera vi era una sovrapproduzione che andava ad aumentare il valore del magazzino, contribuendo a diminuire l'indice di rotazione.

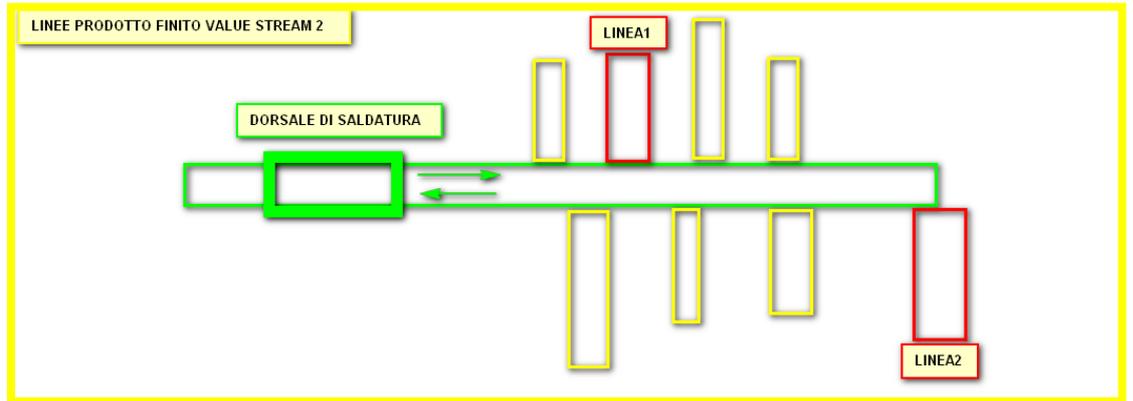


Figura 4.6 Linee prodotto finito value stream 3.

Questo impianto produttivo presentava diverse criticità tra le quali:

- Flusso produttivo non visibile: il pezzo dopo il montaggio dei componenti pth, era caricato nella dorsale di saldatura e veniva perso di vista dall'operatore
- Scarso rendimento globale delle risorse : il rendimento medio globale pesato delle due linee era lontano dal 100%, ed era stabile.
- Gestione produzione complessa: le linee da gestire, controllare e schedulare erano due. Inoltre a causa dell'alto tempo di attraversamento in saldatura, quando si passava da un ordine di lavoro (odl) a un altro, c'era la necessità per non far attendere l'operatore, di cominciare il nuovo odl, prima che l'odl presente in linea fosse finito. Questa era una grande complicazione per la produzione.
- Tempo di attraversamento >>> Tempo a valore aggiunto: l'operazione effettiva di saldatura dura circa 2 minuti, il tempo di attraversamento del pezzo a percorrere tutta la dorsale era di 20 minuti. Molto tempo di attraversamento, poco tempo a valore aggiunto.
- Spazio occupato non ottimizzato: a causa della disposizione lineare, lo spazio non era ottimizzato e causava un'eccessiva movimentazione degli operatori.
- Produzione a lotti: a causa della configurazione dell'impianto e dei tempi di saldatura, c'era la necessità da parte dello schedulatore di

accorpare gli ordini di lavoro a bassa numerosità per creare dei lotti consistenti di produzione. Il lotto medio di carico in saldatrice dei codici alto rotanti era di 25 pezzi.

Per risolvere queste criticità è stato deciso di intraprendere delle azioni di miglioramento: in particolare la direzione intrapresa da CAREL è stata quella di unire la linea 1 e la linea 2 in una sola cella a forma di “C”, che lavorasse in ottica chaku-chaku. Nel prossimo capitolo verrà spiegato in dettaglio lo sviluppo e il bilanciamento della nuova cella di produzione.

Capitolo 5 CELLA DI PRODUZIONE IN OTTICA CHAKU-CHAKU

5.1 Chaku-Chaku, la cella di seconda generazione

La chaku-chaku è una cella nella quale le macchine o le stazioni hanno uno scarico automatico e dove il lavoro dell'operatore a ogni stazione è quello di prendere il pezzo, che è stato scaricato automaticamente dalla macchina, controllarlo visivamente e caricarlo nella prossima macchina o stazione, così da far proseguire il flusso di produzione. Le fixture di tutte le stazioni sono modificate e allocate in modo da rendere il carico della macchina facile, veloce e privo di errore, e sono attivate da pulsanti "as you go" che mantengono la sicurezza dell'operatore, e permettono l'attivazione mentre l'operatore cammina verso la prossima stazione. La cella chaku-chaku cerca di raggiungere nei macchinari lo scarico automatico del pezzo e il carico da parte dell'operatore, visto che tra i due è più facile e economico automatizzare lo scarico. Le celle della lean manufacturing sono percepite come un'effettiva alternativa alla costosa automazione. Le celle sono parte di un economico e incrementale approccio all'automazione, in cui lo stato dell'arte è una linea chaku-chaku che combina lo scarico automatico, con il carico manuale, e partenze "as you go" per cominciare il prossimo ciclo. La chaku-chaku è una forma avanzata di cella e non è completamente automatica: è una cella semi-automatica e integra la filosofia del meglio fatto dalle macchine e del meglio fatto dall'uomo. Il termine chaku-chaku letteralmente significa letteralmente carica-carica: l'uomo ha il compito di prendere il pezzo e caricarlo o lavorarlo nella stazione successiva, fino ad ottenere il prodotto finito. La cella chaku-chaku presente in CAREL sostituisce le due linee precedenti presenti nello stabilimento: la scelta è stata quindi di unire due linee in una nuova cella flessibile con lo scopo di raggiungere diversi obiettivi.

5.2 Cella chaku-chaku in CAREL

Vediamo ora in figura 5.1 come si presenta il nuovo layout a forma di “C” implementato nell’agosto 2013 in CAREL. Possiamo notare la grande differenza rispetto al layout presente in figura 4.6, dove erano presenti le due linee appoggiate alla grande dorsale di saldatura. Ora il layout è a forma di “C”, le stazioni sono il più ravvicinate possibile e le movimentazioni dell’operatore sono ridotte al minimo. La freccia blu indica il flusso del pezzo, che in questo caso è stato scelto orario.

Le postazioni di lavoro sono sei, e sono nell’ordine:

- 1) Postazione di montaggio manuale dei componenti pth
- 2) Saldatrice
- 3) Postazione manuale per rifinitura e controllo delle schede appena saldate
- 4) Test in-circuit
- 5) Postazione manuale di assemblaggio
- 6) Postazione manuale di imballaggio finale

Come mostra la seguente figura, la nuova cella, chiamata C1, è stata posizionata immediatamente a monte delle linee smt, così da ridurre al massimo il trasporto, e da rendere il flusso del pezzo più breve e visibile possibile.

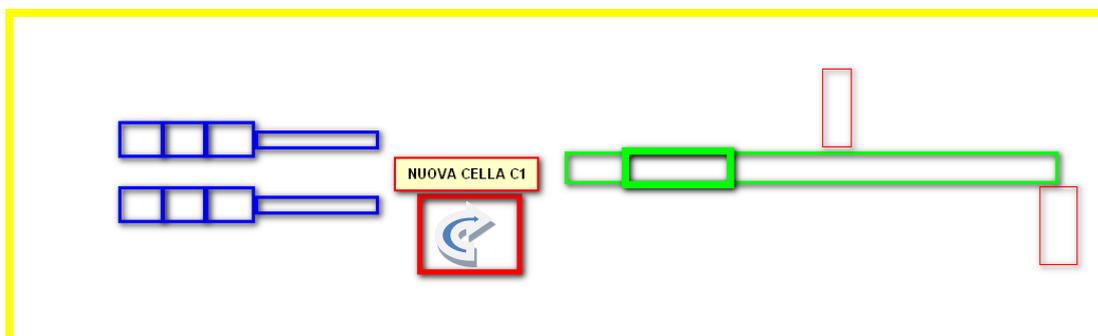


Figura 5.1 Ubicazione della nuova cella C1 nella value stream 3.

La figura seguente mostra in dettaglio il nuovo layout della cella C1.

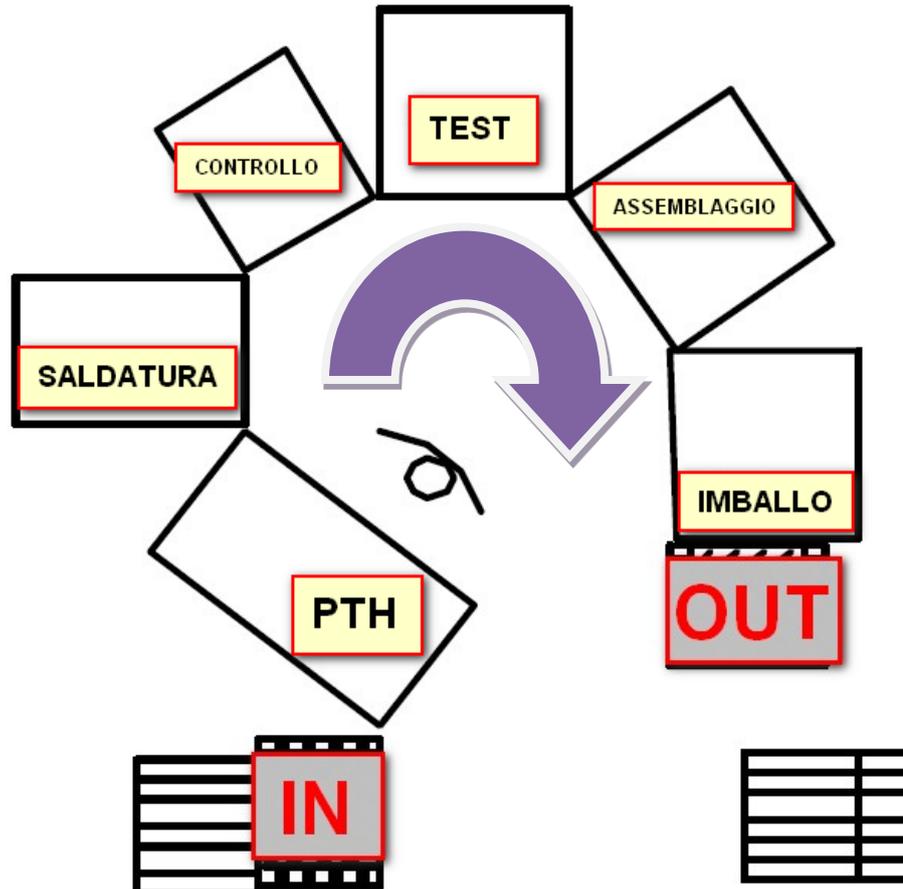


Figura 5.2 Nuovo layout a "C" che sostituisce le linee 1 e 2.

Oltre che a generare questo nuovo layout, sono stati pensati dei nuovi banchi di lavoro in ottica lean: i nuovi banchi sono stati studiati per essere il più compatti ed ergonomici possibile. Prendiamo ad esempio la prima postazione di lavoro: il banco di montaggio manuale dei componenti pth. Questa postazione è stata pensata con la golden zone: la golden zone è lo spazio che minimizza i movimenti e gli sforzi dell'operatore, quindi i materiali maneggiati più frequentemente devono trovarsi in quella zona. In figura 5.3 è rappresentata la golden zone.

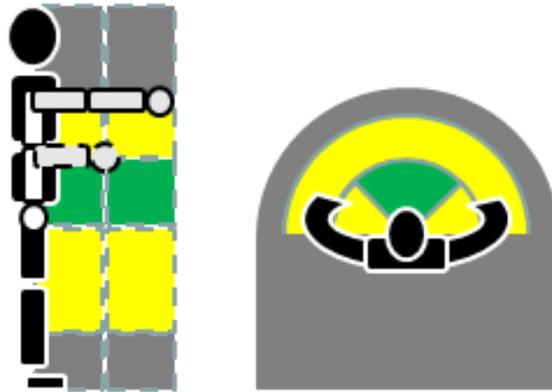


Figura 5.3 Golden zone (www.4lean.net)

La postazione di montaggio dei componenti pth presente in CAREL prevede il montaggio con l'operatore seduto: come si vede in figura 5.4 la golden zone ha una forma a trapezio, e i componenti da montare sono posizionati sempre vicino all'operatore che, per prendere e posizionare i componenti sulle schede deve solo allungare la braccia, senza compiere altri movimenti.

Con una attenta progettazione delle postazioni di lavoro si possono ridurre notevolmente gli sprechi di movimentazione degli operatori: in questo modo, si mette in condizione l'operatore di svolgere il più possibile operazioni a valore aggiunto.

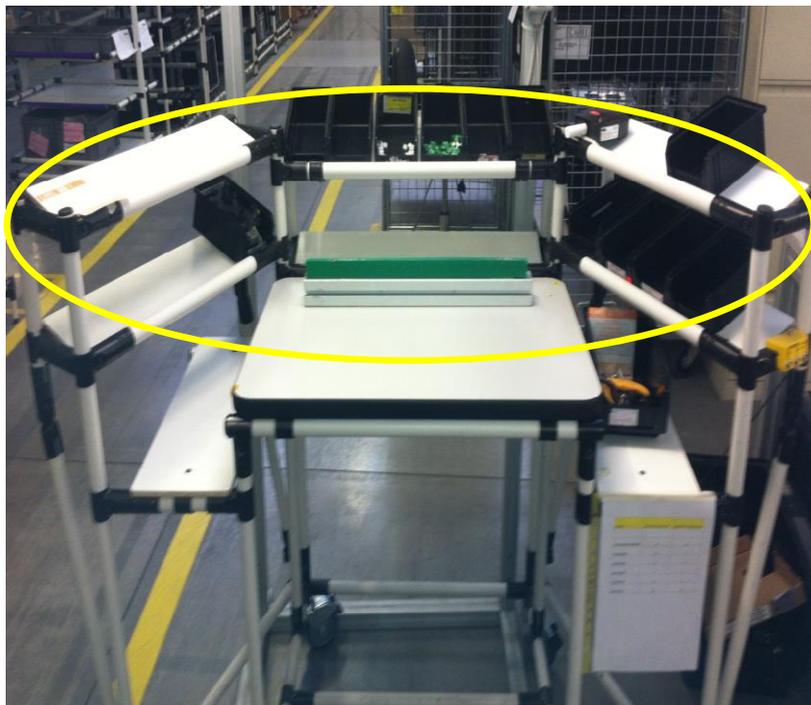


Figura 5.4 Banco montaggio pth con golden zone in CAREL.

La prima azione intrapresa per risolvere le criticità dell'obsoleto impianto produttivo è stata quindi la scelta e l'implementazione di un layout a "C", che sostituiva le due linee precedenti. Per implementare questo layout è nata la necessità di ripensare al macchinario che si occupava del processo di saldatura. Da diversi anni la saldatura a onda era affidata a macchinari di grandi dimensioni: per implementare una cella compatta come la chaku-chaku, CAREL ha deciso di stravolgere il concetto tipico di grande saldatrice, ripensando a una macchina di dimensioni contenute, in modo che fosse integrabile in una cella compatta. Grazie all'ingegneria di produzione e alla sezione di process improvement si è arrivati a un buon compromesso progettando un piccolo macchinario che garantisse buoni tempi di saldatura, e che mantenesse i profili termici ideali tali da garantire una saldatura entro gli standard CAREL previsti.

In figura 5.5 è possibile rendersi conto della differenza dimensionale dei due sistemi di saldatura.

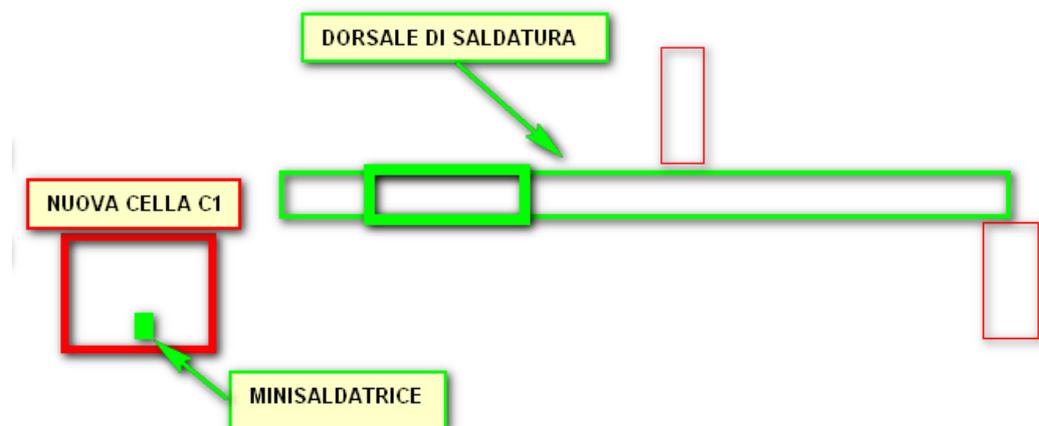


Figura 5.5 Confronto dimensionale tra le due tecnologie di saldatura

La nuova mini-saldatrice è lunga 1 metro invece dei 4 metri della precedente saldatrice a dorsale: il macchinario serve una sola cella adesso, e questo rende possibile una perfetta visione del flusso del pezzo in linea, a differenza della filosofia precedente dove il pezzo che si caricava nella dorsale di saldatura veniva perso di vista. Dopo aver implementato il layout è cominciato il progetto di tesi: il

rendimento globale della nuova cella dopo aver implementato il layout a “C” con i nuovi banchi di lavoro, mediamente non è cambiato, infatti è rimasto costante, fino a quando non è stato sviluppato il metodo di lavoro.

5.3 Organizzazione del lavoro

Il progetto di tesi ha visto come attività principale lo sviluppo del metodo di lavoro della nuova cella produttiva. Quando il progetto è iniziato, mediamente per ogni turno di lavoro lavoravano 1,5 operatori: questo significa che nei due turni di lavoro la cella era presidiata un turno da un operatore, un turno da due operatori. Questa premessa è stata fatta perché il numero di operatori che presidiava la cella, è stato modificato in seguito agli studi effettuati.

Come prima attività ho effettuato delle estrazioni da CAREL JOB, programma MES (Manufacturing execution system) aziendale, per capire quanti prodotti venivano assemblati in linea1 e linea2, e con che volumi di produzione. Dalle estrazioni è emerso che nella cella venivano trasformati 44 prodotti differenti, accomunati per la maggior parte dalle stesse operazioni, ma con tempi ciclo e tempo delle singole completamente differenti. Sviluppare il metodo di lavoro su 44 prodotti diversi sarebbe stato molto complesso da effettuare, e ancora di più da implementare realmente in linea. Dato l'elevato mix produttivo della cella ho svolto l'analisi ABC per capire quale fosse la classe A dei prodotti. La classe A è composta dal 20% dei prodotti che sviluppa l'80% dei volumi di produzione. Nella seguente tabella sono presenti i codici che generano l'80% dei volumi annuali di produzione: i codici che generano questo volume di produzione in realtà sono 6 su un totale di 44: in realtà quindi l'analisi ha svelato che il 13% dei prodotti sviluppa l'80% del volume di produzione annuale.

La tabella 5.1 mostra la composizione della classe A dei prodotti passati in linea 1 e 2 nel 2013, ordinati per numero di pezzi prodotti.

Tabella 5.1 Classe A dei codici prodotti della cella C1

CODICI PRODOTTO	N° PEZZI / ANNO	PERCENTUALE
CODICE A	9163	24%
CODICE B	7353	19%
CODICE C	4838	13%
CODICE D	3340	9%
CODICE E	3196	8%
CODICE F	2598	7%
TOTALE	30500	80%

D'ora in avanti tutta l'analisi dei tempi e del metodo di lavoro si è limitata ai codici della classe A. Una volta capiti i codici sul quale potersi concentrare per sviluppare il nuovo metodo di lavoro, è cominciata l'analisi dei tempi in linea: nonostante di ogni codice ci fosse il suo tempo ciclo a sistema, ho voluto rilevare i tempi reali di produzione, perché alcuni tempi presenti a sistema non erano veritieri.

Per tutti i codici della classe A, ho svolto il monitoraggio dei tempi di tutte le operazioni per la trasformazione in prodotto finito: ogni tempo di ogni operazione è stato preso con diversi operatori, in modo da avere una media del tempo delle operazioni manuali: questo è stato fatto perché ogni operatore ha una velocità diversa. Nella tabella sottostante sono presenti i tempi delle operazione di uno dei codici alto rotanti.

Tabella 5.2 Tempi delle operazioni relativi al codice F.

OPERAZIONI CODICE F	TEMPO [secondi]
MONTAGGIO PTH	150
SALDATURA	320
RIFINITURA, CONTROLLO	70
TEST IN-CIRCUIT	190
ASSEMBLAGGIO	70
IMBALLAGGIO	30

Queste rilevazioni sono state effettuate per tutti i 6 codici che componevano la classe A. Le operazioni presenti per il codice F, come per tutti gli altri codici, sono tutte manuali, escluse la stazione di saldatura e quella di test dove l'operatore ha il compito di caricare il pezzo nella macchina, avviarla, aspettare che questa finisca il ciclo dell'operazione e infine scaricarlo per trasportarlo alla stazione successiva. Questa è la peculiarità di questa cella di lavoro, dove le stazioni di lavoro sono miste: 4 manuali e 2 con macchine.

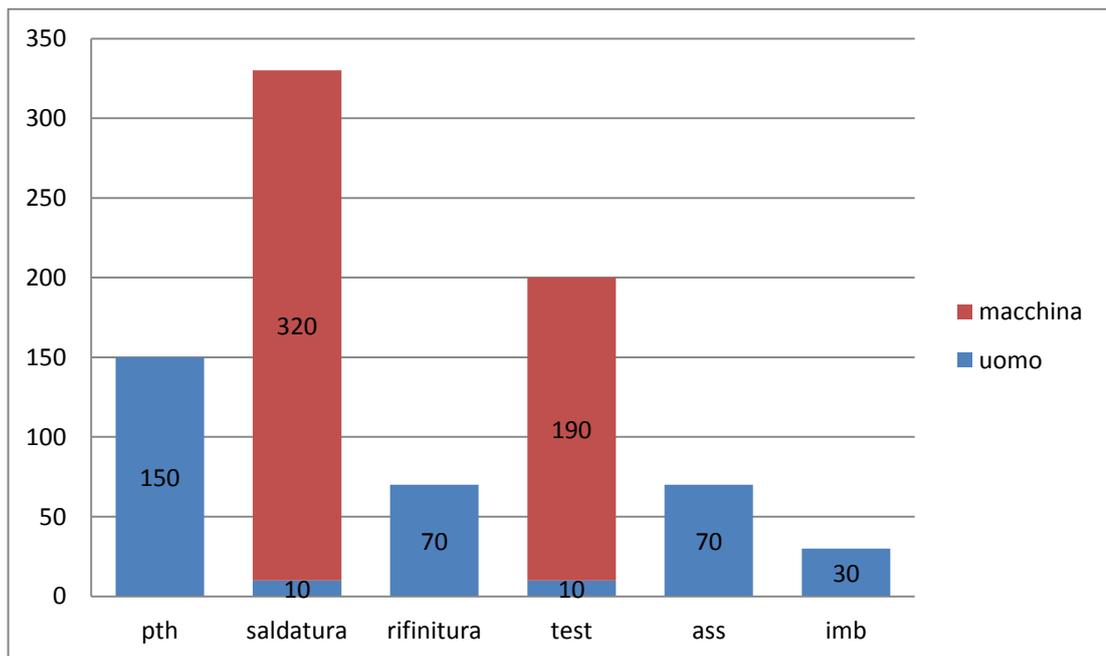
Vediamo in dettaglio la stazione numero due, quella dove è presente la saldatrice: il tempo di saldatura è sempre di 320 secondi perché il ciclo di saldatura ha quella durata, ma nella macchina è possibile caricare più di una scheda alla volta: per certi codici della classe A è possibile caricare anche 30 schede per ciclo, visto che sono semilavorati di piccole dimensioni. In realtà quindi il tempo di saldatura per pezzo, una volta che la linea è entrata a regime, cambia a seconda del numero di schede che vengono caricate. Nello studio è stato considerato in seconda analisi, anche il tempo di carico e scarico della saldatrice, che è risultato di 10 secondi: questo tempo è uguale per tutti i codici visto che l'operazione di carico della saldatrice non cambia.

Per quanto riguarda la stazione di test delle schede, sempre una stazione macchina, l'operatore ha il compito di prendere la scheda dalla stazione di rifinitura e controllo e di caricarla nella macchina di test, avviare il test, e aspettare che la scheda passi il test. Questa macchina lavora sempre un singolo pezzo alla volta, quindi il tempo di

test, diverso comunque per ogni codice, è costante. Anche in questo caso è stato considerato il tempo di carico del test, e questo mediamente è risultato essere di 10 secondi, nonostante per certi prodotti esso è più alto a causa delle attrezzature di test più obsolete.

Dopo aver preso i tempi di tutte le stazioni dei codici di classe A, ho graficato i risultati ottenuti nella “yamazumi chart” (yamazumi in giapponese significa impilare), un istogramma che visualizza i tempi di ogni stazione di lavoro. Nella yamazumi chart ho suddiviso i tempi oltre che per stazione di lavoro anche per responsabile dell’operazione: si evince dal grafico se il lavoro è svolto da un uomo o da una macchina. Nella tabella 5.3 è presente un esempio della yamazumi chart del codice F.

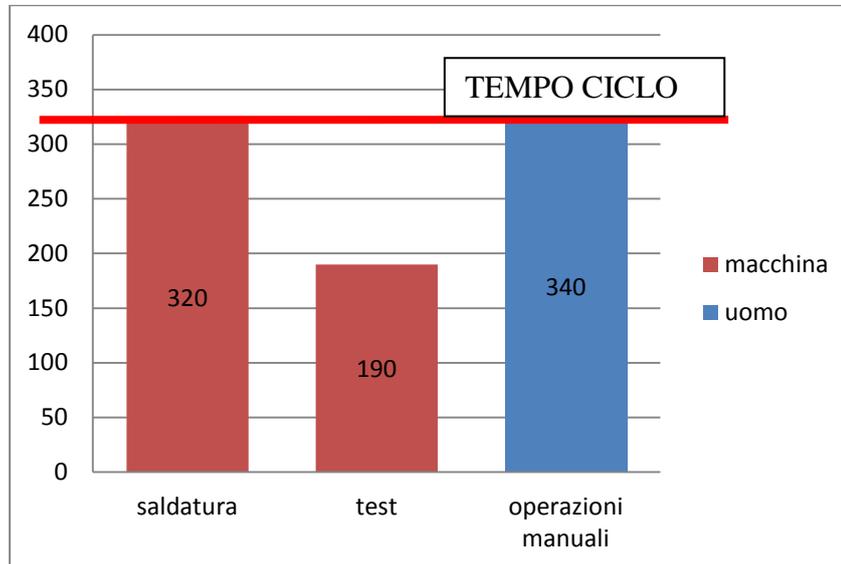
Tabella 5.3 Yamazumi chart codice F



Il passo successivo dello studio del metodo di lavoro è stato quello di sommare tutti i tempi delle operazioni manuali in modo da capire per ogni codice quali fossero i tempi uomo e i tempi macchina totali, così da poterli confrontare: sono stati quindi considerati separatamente i tempi delle due macchine e la somma delle operazioni

manuali, e questo lo si può vedere nella tabella 5.4. In questa tabella è evidenziato il tempo ciclo, ovvero il tempo della fase più lunga.

Tabella 5.4 Yamazumi chart codice F



Dalla tabella 5.4 si evince il tempo ciclo del codice F lavorato con un solo operatore: il tempo ciclo è quello della risorsa più lenta. In questo caso è la risorsa uomo, che svolge tutte le operazioni manuali relative a questo prodotto. Per questo codice il tempo ciclo è quindi di 340 secondi.

Una volta fatta questa operazione di rilevazione dei singoli tempi per tutti codici della classe A, è arrivato il momento di calcolare il takt time, ovvero la frequenza alla quale deve uscire un pezzo, per soddisfare la domanda del cliente. Per effettuare il conto bisogna scegliere la finestra temporale, sapere il tempo disponibile di produzione e il numero di pezzi da produrre. Il calcolo ideale del takt time andrebbe fatto sulle previsioni di vendita dei prodotti lavorati in linea, ma non essendo previste fluttuazioni a rialzi per questi prodotti, ho calcolato il takt time sui dati storici dell'anno 2013.

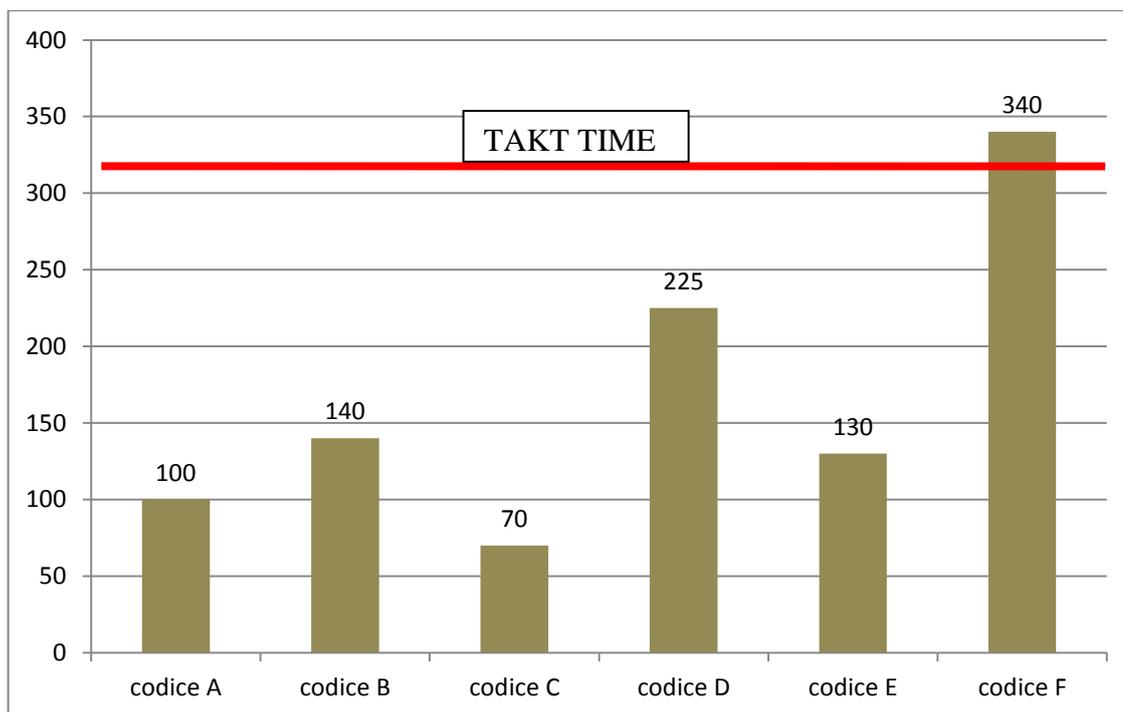
Per il tempo disponibile ho considerato 220 giorni di lavoro, composti ognuno da due turni di lavoro di 7,5 ore. I pezzi totali richiesti nel 2013 sono stati 38000. Nella Tabella 5.5 è presente il calcolo del takt time del 2013.

Tabella 5.5 Calcolo del takt time

TEMPO DISPONIBILE	198000 [minuti]
PEZZI RICHIESTI	38000
TAKT TIME	5,2 [minuti/pezzo]

Dal calcolo si evince che la domanda del cliente è soddisfatta se esce mediamente un pezzo ogni 5,2 minuti ovvero ogni 312 secondi. A questo punto ho considerato tutte le yamazumi chart dei codici della classe A e ho confrontato i tempi ciclo con il takt time calcolato. Il risultato, visibile nella tabella 5.6, è stato che per tutti i codici della classe A, con l'eccezione del codice F, il tempo ciclo è inferiore al takt time indicato dalla linea rossa.

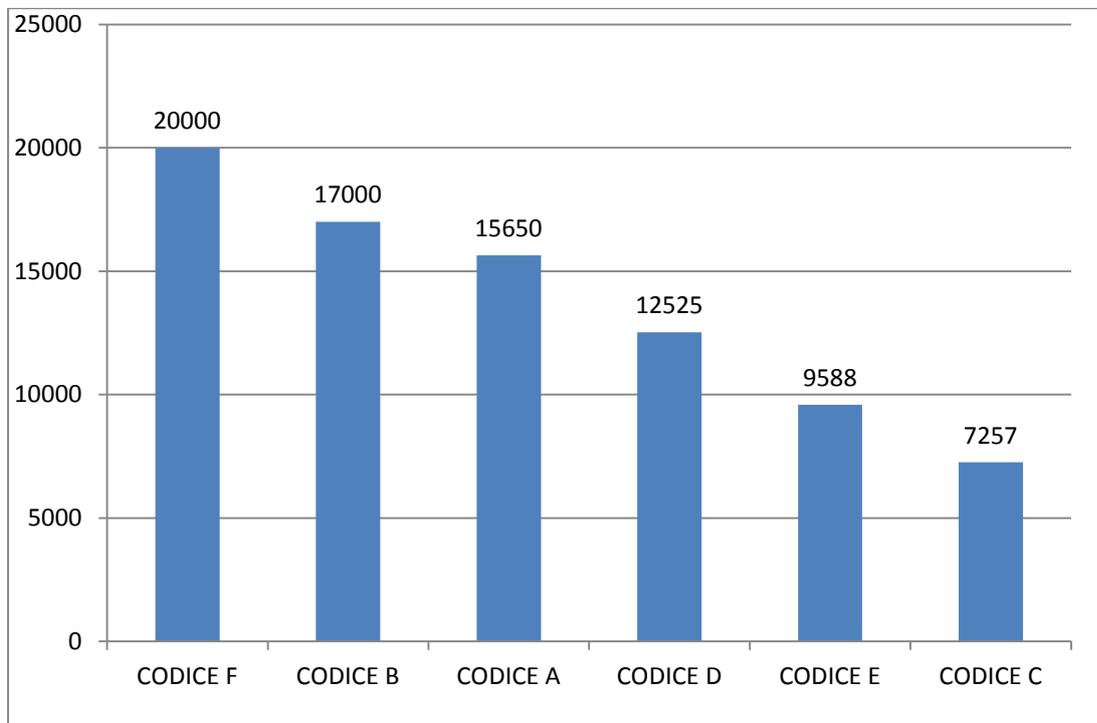
Tabella 5.6 Tempi ciclo dei codici della classe A



Da questa tabella si evince che, se la linea lavora sempre con un solo operatore, e i volumi di produzione rimangono paragonabili all'anno 2013, la cella riuscirà a produrre soddisfacendo il ritmo di domanda del cliente: infatti, nonostante il codice F

abbia un tempo ciclo leggermente superiore al takt time, tutti i tempi ciclo dei codici che sviluppano l'80% dei volumi di produzione sono largamente al di sotto del takt time, a parte appunto il codice F, che comunque occupa solo il 7% del volume di produzione. Oltre che a un'analisi sul numero di pezzi ho effettuato la stessa analisi sul tempo che i codici della classe A, hanno occupato in linea nell'anno 2013. Per fare ciò ho moltiplicato il volume di produzione di ogni codice per il proprio tempo ciclo. I risultati si trovano nella tabella 5.7.

Tabella 5.7 Classifica codici classe A in termini di minuti occupati nel 2013



Da questa tabella si vede la classifica dei codici della classe A in termini di tempo occupato alla linea. In dettaglio si evince che il codice F occupa, in percentuale, più minuti di ogni altro codice la linea: questo comunque non pregiudica la fattibilità di produzione con un solo operatore in linea. Per rendersi conto di questo bisogna guardare la tabella 5.8.

Tabella 5.8 Classifica codici classe A in termini di tempo percentuale occupato in linea nel 2013.

CODICE F	24%
CODICE B	21%
CODICE A	19%
CODICE D	15%
CODICE E	12%
CODICE C	9%

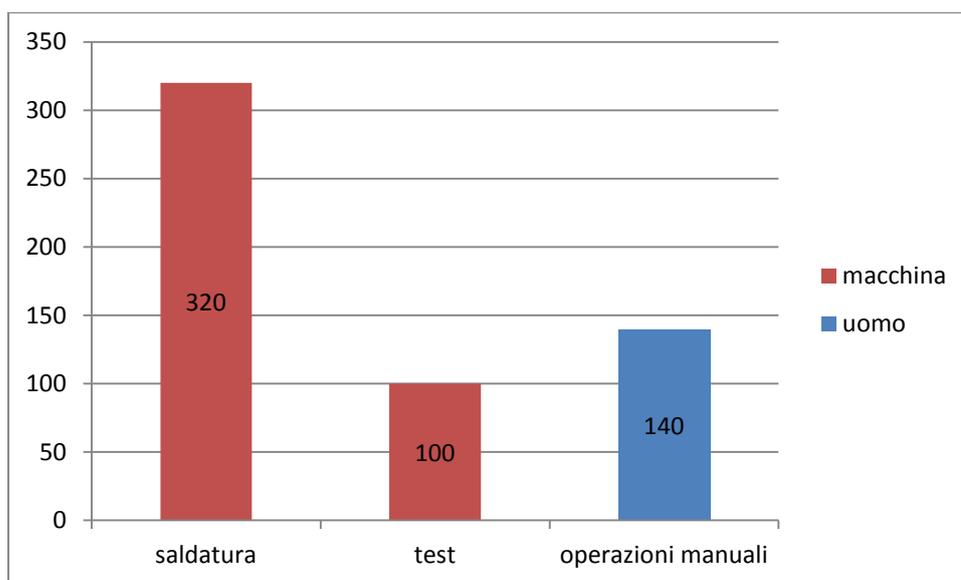
Solo per il 24% del tempo la capacità della linea non riuscirà a soddisfare il takt time, ma visto che il mix di produzione medio giornaliero è molto elevato, mediamente è possibile produrre con un solo operatore senza far attendere il cliente: questa modalità di produzione presenta in sé un notevole vantaggio, ovvero quello di produrre con un'efficienza più alta.

Per rendersi conto di questa affermazione, prendiamo in esame i tempi delle operazioni del codice B, il codice secondo in classifica di tempo percentuale occupato. Di seguito la tabella 5.9, con i tempi delle operazioni e la 5.10, con la yamazumi chart.

Tabella 5.9 Tempi operazioni codice B.

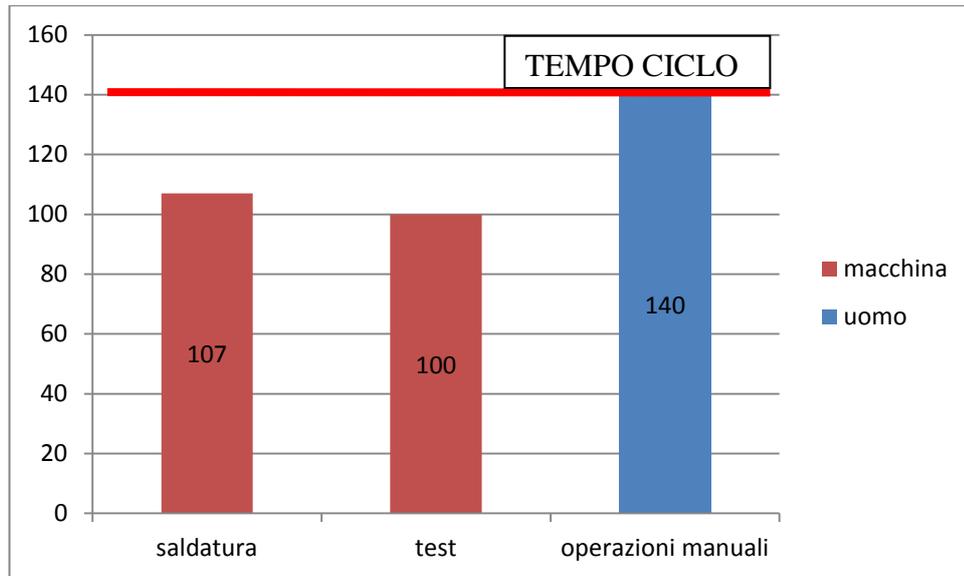
OPERAZIONI CODICE B	TEMPO[S]
MONTAGGIO PTH	40
SALDATURA	320
RIFINITURA	20
TEST FUNZIONALE	100
IMBALLO	50
CARICO TEST	20
CARICO SALDATRICE	10

Tabella 5.10 Yamazumi chart codice B.



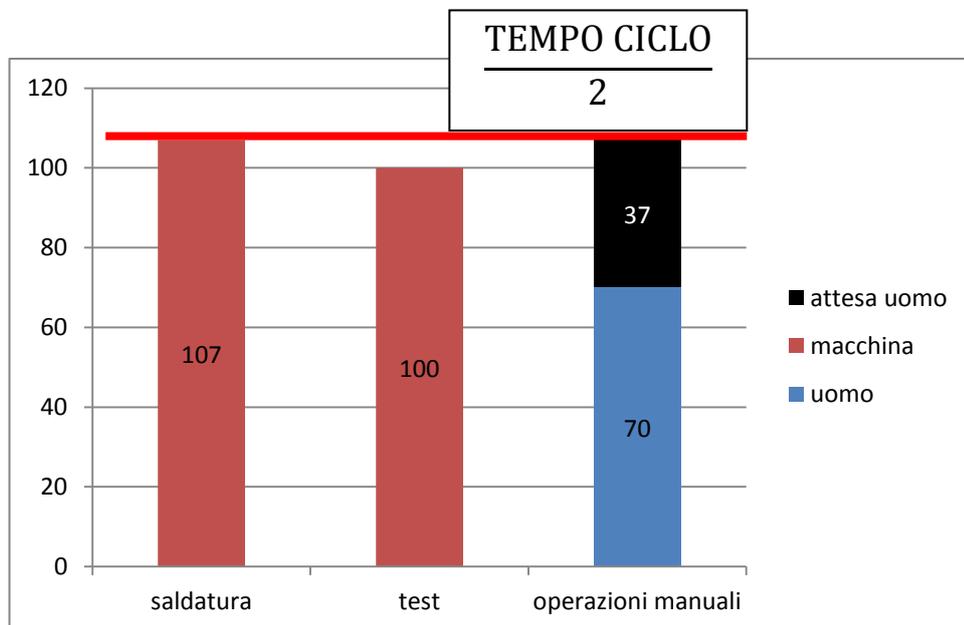
Facciamo due considerazioni su questo grafico: guardandolo parrebbe che il tempo ciclo di produzione a regime sia proprio il tempo di saldatura: in realtà non è così, visto che nella saldatrice, per questo codice, si possono caricare fino a tre schede alla volta. Per quanto riguarda la teoria del one piece flow, caricare tre schede alla volta sarebbe da evitare, ma questo è un male necessario visti i tempi ciclo delle attrezzature: se con questo codice venisse caricato un solo pezzo nascerebbe un'attesa dell'operatore, un grande spreco di risorse. Il tempo di saldatura per una scheda diventa quindi 107, tempo ottenuto dividendo per tre il tempo di saldatura di 320 secondi. Il tempo di test invece rimane fisso, visto che si può testare sempre e solo una scheda alla volta, e in questo codice quel tempo è di 100 secondi. Vediamo come diventa la yamazumi chart, che indica i tempi uomo e macchina riferiti alla produzione di un singolo pezzo. Osservando la tabella 5.11 e la successiva 5.12 si può notare la differenza tra i tempi di produzione lavorando, in questa cella, con uno o con due operatori. Con un operatore, dati i tempi delle operazioni in gioco è difficile che la macchina sia il collo di bottiglia della produzione, mentre aggiungendo una persona per aumentare la produttività, come si nota in questo caso, il tempo macchina diventa il collo di bottiglia e causa un'attesa degli operatori.

Tabella 5.11 Yamazumi chart codice B lavorato da un operatore.



Il tempo ciclo del codice B lavorato con un operatore è quindi di 140 secondi. Se lo stesso codice viene lavorato con due operatori il tempo ciclo in realtà non dimezza, come è possibile vedere nella tabella 5.12

Tabella 5.12 Yamazumi chart codice B lavorato da due operatori.



Questa yamazumi chart mostra che se sono presenti due persone in linea, il tempo totale delle operazioni manuali dimezza, perché due persone eseguono le operazioni

manuali del pezzo: così non accade per i tempi macchina, che sono fissi. In questa modalità il collo di bottiglia è diventato la saldatrice. I tempi sono sempre riferiti alla produzione di un singolo pezzo, quindi si può dire che ogni operatore che presidia la cella durante la produzione del codice B, ha una attesa di 37 secondi per pezzo prodotto: il tempo ciclo in questo caso diventa il battente della cella. Il tempo di saldatura per questo codice, è il minimo possibile, visto che non si possono caricare più di tre schede. Visto che con due persone esce un pezzo ogni 107 secondi, il tempo ciclo del pezzo è di 214 secondi. Con due persone quindi non si produce il doppio dei pezzi nello stesso intervallo temporale, e si ha un calo di efficienza. Questo calo di efficienza è diverso per ogni codice della classe A. Per risolvere i colli di bottiglia nati dalle macchine, si potrebbero replicare le attrezzature, ma la duplicazione della stazione di lavoro, mal si adatta a una cella compatta come questa, che fa dei piccoli spazi di camminamento degli operatori uno dei suoi punti di forza. Inoltre, l'investimento della duplicazione di una certa attrezzatura, si giustifica solo se l'aumento di efficienza ottenuto per quel codice si ripaga in pochi mesi. Non avrebbe senso duplicare un test che si ripaga in 1 anno.

Dato che il takt time permette mediamente la produzione di tutti i codici alto rotanti con una sola persona, è stato sviluppato il metodo di lavoro con 1 solo operatore grazie all'aiuto della carta uomo macchina.

Se in una certa finestra temporale del successivo anno, ci fosse un picco di domanda da parte del mercato, ricorrere alla produzione con due operatori sarebbe un male necessario, perché il rispetto del lead time, è un dei valore per il cliente, che non si può non soddisfare perché il costo di produzione interno aumenta.

Con la carta uomo macchina è possibile capire in che ordine svolgere le operazioni per ogni codice della classe A, ed è uno strumento essenziale per portare il metodo di lavoro in linea. Questo metodo di lavoro è stato portato in linea per tutti i codici della classe A, che costituiscono l'80% del volume di produzione. Di seguito è presente un esempio di carta uomo macchina, dove è possibile confrontare le modalità di lavoro con uno o due operatori: da notare che nella modalità di produzione a due operatori il metodo utilizzato è il baton-touch, citato nel capitolo 3. Nella modalità di produzione a due persone, nascono molte attese da parte degli operatori, e questo provoca un brusco calo del rendimento globale di produzione.

Carta uomo macchina codice B, confronto tra 1 e 2 operatori

Per ogni codice della classe A è stato individuato il minimo numero di schede da caricare in saldatura, per non creare una attesa da parte dell'operatore. Per effettuare questo passaggio basta dividere il tempo totale di saldatura per la somma del tempo delle operazioni manuali: per il codice B il numero intero superiore, come già citato in precedenza, è 3.

Come si vede dal confronto, le attese causa di inefficienza, sono maggiori nella modalità di lavoro con 2 operatori. Nella carta uomo macchina è possibile vedere il percorso che dovrà fare l'operatore durante la produzione di quel codice: seguendo lo scorrere del tempo verso destra, l'operatore deve seguire in successione il percorso blu, e caricare il singolo pezzo dalla stazione presente a quella successiva, senza quasi mai attendere. Le macchine processano in tempo mascherato, non generando attese nel caso di lavoro a singolo operatore.

Per tutti i codici della classe A è stata fatta la carta uomo macchina e successivamente si è portato nella nuova linea 1, il metodo di lavoro frutto dello studio.

5.4 Risultati e conclusioni

Dopo aver portato in linea la nuova modalità di lavoro grazie alle carte uomo macchina, è stato monitorato l'andamento del rendimento globale della cella e confrontato con lo storico dell'anno 2013: i dati del rendimento globale con le nuove modalità di lavoro sono visibili dopo la linea rossa, nella tabella 5.13.

Prima di analizzare i dati definiamo come è definito il rendimento globale in CAREL:

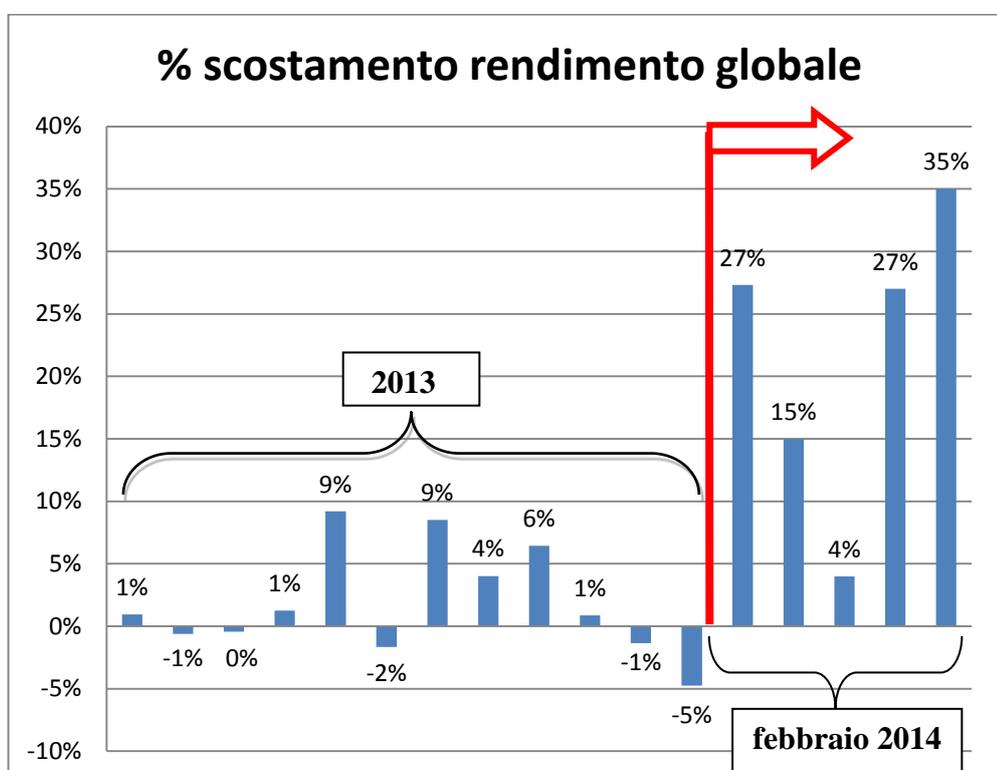
$$\text{RENDIMENTO GLOBALE} = \frac{\text{TEMPO STANDARD}}{\text{TEMPO TIMBRATURE}}$$

- Tempo standard: è il tempo atteso di produzione del pezzo.

- Tempo timbrature : è il tempo di lavoro in linea dell'operatore, escluse le pause contrattuali.

La tabella 5.13 mostra i risultati ottenuti dopo l'implementazione della nuova modalità di lavoro: a sinistra della linea rossa sono presenti i dati mensili del rendimento nell'anno 2013. La linea mostra l'istante in cui è stato portato in cella il nuovo metodo di lavoro: da notare che i dati del rendimento globale sono espressi in termini percentuali rispetto al rendimento medio del 2013.

Tabella 5.13 Grafico dello scostamento % del rendimento a partire da gennaio 2013.



I risultati che ha portato il progetto di tesi sono buoni: nel febbraio 2014 è stato portato in cella il nuovo metodo di lavoro, e il rendimento globale è salito percentualmente di trenta punti. Il calo di rendimento globale nella terza settimana di febbraio, è dovuto a un fermo macchina causato da un malfunzionamento della saldatrice: in questa settimana gli operatori dovevano portare il semilavorato a saldare nella dorsale di saldatura, perdendo inevitabilmente molto tempo in attese,

movimentazioni e trasporti: inoltre per soddisfare la domanda del mercato è stato necessario lavorare con 2 operatori.

A parte il picco negativo dovuto al fermo macchina, nelle altre settimane si è lavorato secondo la nuova modalità, e il rendimento ne ha beneficiato: in pratica la produzione dei beni avviene in minor tempo, quindi costi sono ridotti.

La nuova cella di lavoro in ottica chaku-chaku, ha raggiunto diversi obiettivi tra i quali:

- Rendimento produttivo massimizzato: in condizioni normali di lavoro +30% rispetto al rendimento medio precedente.
- Utilizzo risorse migliorato: grazie alla produzione con singola persona sono state abbattute le attese degli operatori, uno dei sette sprechi.
- One piece flow: grazie al nuovo metodo di lavoro, è stato deciso per ogni codice della classe A, il minimo numero di schede da lavorare nella cella che non generasse attese dell'operatore, mentre in precedenza la saldatrice veniva sempre caricata al massimo delle sue possibilità.
- La produzione a lotti, necessaria con il vecchio impianto produttivo, è stata pesantemente ridotta: il lotto medio di lavoro è passato da 25 a 6 pezzi.
- Spazio occupato ottimizzato: la compatta cella chaku-chaku ha permesso un saving di spazio del 30% rispetto alle 2 precedenti linee.
- Gestione di produzione semplificata: adesso la programmazione e la schedulazione è relativa a una sola linea di produzione, mentre in precedenza era necessario programmare e controllare due linee. Inoltre con la produzione a singolo operatore, ogni persona addetta alla produzione del bene, è unica responsabile dell'intero flusso del pezzo, con grandi vantaggi in termini di rintracciabilità.
- Il layout compatto a "C" ha reso il flusso del pezzo perfettamente visibile, a differenza della modalità precedente, dove il pezzo, una volta caricato nella dorsale di saldatura, veniva perso di vista.

La cella è attinente ai principi della lean production, e integra al meglio il lavoro delle macchine e il lavoro dell'uomo: l'operatore ha il compito di prendere il pezzo e caricarlo nella stazione successiva, fino ad avere il prodotto finito. Nel caso CAREL la cella chaku-chaku non è composta solo da macchine da caricare, visto che sono presenti diverse stazioni manuali, ma il principio di funzionamento, è il carico del pezzo dalla stazione n alla stazione $n+1$, da parte dell'operatore. Non sono presenti costosi sistemi di automazione, o di trasporto tra una stazione e l'altra. Questa è una cella che trova la sua massima efficienza nella modalità di lavoro con un operatore, e perché questa sia implementabile, serve una compatibilità del takt time, con i tempi delle operazioni della famiglia di codici che si intende produrre. Inoltre, perché una realtà produttiva del genere sia implementabile, c'è la necessità di avere disponibili macchine compatte, che svolgano il processo a loro affidato, in maniera stabile e a zero difetti.

In generale meno muda, più valore aggiunto.

Dal punto di vista produttivo, un interessante sviluppo per questo tipo di cella potrebbe essere quello di sviluppare il metodo di lavoro a due operatori: ottimizzando il bilanciamento e l'organizzazione del lavoro si potrebbe raggiungere un'efficienza prossima a quella con un solo operatore: per raggiungere questo obiettivo, c'è la necessità di ripensare anche alle stazioni come la saldatrice e quella di test, che con due operatori diventano, in diversi casi, il collo di bottiglia della cella.

Questo progetto di tesi ha contribuito allo sviluppo della prima cella chaku-chaku presente nello stabilimento elettronica di CAREL: la direzione ha intenzione di estendere questo tipo di implementazione ad altre linee prodotto finito, visti i risultati ottenuti. La semplificazione dei flussi produttivi, l'ottimizzazione dell'efficienza, e il risparmio dello spazio occupato in stabilimento sono alcune delle priorità che un'azienda snella dovrebbe perseguire per sviluppare i propri impianti produttivi. Dato che CAREL, da qualche anno che ha portato la rivoluzione lean, ho visto durante il progetto di tesi quanto questa realtà stia applicando la lean manufacturing nella divisione operations: come dice il quinto principio, la perfezione va sempre inseguita senza mai fermarsi.

Questo ultimo principio può sembrare presuntuoso e va quindi interpretato nel senso di miglioramento continuo. Infatti se si sono applicati correttamente i primi quattro principi si creano sinergie impensabili che mettono in moto un processo continuo di riduzione dei tempi, degli spazi, dei costi. L'applicazione dei principi lean deve essere sistematica e continua per giungere a continui miglioramenti. In questo senso il quinto principio deve essere da sprone per l'incessante applicazione dei principi lean e risultare ogni volta quale un nuovo punto di partenza. Una volta finito si deve ricominciare per fare emergere nuovi sprechi ed eliminarli.

Bibliografia

A.De Toni, R.Panizzolo, A.Villa (2012) *Gestione della produzione* Novara: De Agostini scuola spa

Baudin, M. (2007). *Working with Machines*. New York: Productivity Press.

Giovanni Graziadei (2005) *Lean Manufacturing* Hoepli

Jones D.T., J.P. Womack (1997). *Lean Thinking*. Milano: Angelo Guerini e Associati spa.

Jones D.T., J.P. Womack (1990) *The Machine That Changed the World* New York Free Press

Mike Rother, John Shook (2006) *Learning to see* Cambridge, Lean enterprise Institute

Steven A: Ruffa *Going Lean* (2008) Brilliance Audio Inc.

Ringraziamenti

Ringrazio la mia famiglia, in particolar modo i miei genitori, Tiziana e Romolo, che mi hanno sempre consigliato e sostenuto durante tutto il mio percorso universitario: a loro un enorme grazie per tutto quello che hanno sempre fatto per me.

Come non ringraziare i miei compagni d'avventura d'ingegneria: grazie a loro il percorso universitario è stato speciale e indimenticabile, e ha contribuito a far nascere delle bellissime amicizie. Grazie tosi.

Un grazie speciale alla mia ragazza, Angela, che con grande amore mi è sempre stata vicina in ogni situazione.