

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale della Logistica e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale della Logistica e della Produzione

Tesi di Laurea Magistrale

a.a. 2018/2019

Il Manufacturing Execution System nel settore automotive. Analisi Funzionale e valutazione degli impatti economici.



Relatore

Prof. Carlo Cambini

Tutori:

Curto Marco

Garavelli Marco

Candidato

Federica Caprio

SOMMARIO

Prefazione.....	5
AZIENDA E SETTORE DI RIFERIMENTO	7
1. Oerlikon Graziano S.p.a	7
1.1 La storia	7
1.2 Oerlikon group.....	8
1.2.1 Drive system segment. Dati di settore	9
1.2.1.1 Introduzione	9
1.2.1.2 Il settore degli organi di trasmissione meccanica	9
1.2.1.2 Mercato	12
1.2.1.3 Regions&plant	13
1.2.1.4 Processo di produzione dell'ingranaggio	14
IL PROGETTO ERP E IL MES.....	17
2. Il progetto ERP ed il MES.....	17
2.1 Introduzione	17
2.1.1 Il valore aggiunto	18
2.1.2 Soa. I vantaggi.....	18
2.1.3 I web-service.....	19
2.1.4 Le opportunità delle nuove tecnologie	19
2.1.4.1 IoT e CPS	19
2.2 I processi End-To-End ed il PROGETTO MES	20
2.2.1 Plan to Inventory	22
PROGETTO MES_AS-IS ANALYSIS	23
3. AS-IS Analysis.....	23
3.1 Processi operativi	23
3.2 Cluster tecnologici	23
3.2.1 Lavorazione Meccanica	24
3.2.1.1 Introduzione	24
3.2.1 Assemblaggio.....	32
3.2.2 Trattamento termico	36
PROGETTO MES. TO-BE ANALYSIS.....	38
4 TO-BE Analysis.....	38
4.1 Visione Globale.....	38
4.2 Modello Dichiarativo	40

4.2.1 Lavorazione Meccanica	40
4.2.1.1 Set-up	41
4.2.1.2 Lavorazione	44
4.2.1.3 Movimentazione del materiale	50
4.2.2 Assemblaggio.....	54
4.2.3 Trattamento termico.....	55
4.3 Monitoraggio della produzione e Reporting	57
4.3.1 Introduzione	57
4.3.2 Reporting.....	58
4.3.3. Gestione della Produzione	59
I VANTAGGI DEL CAMBIAMENTO E L'ANALISI DELL'INVESTIMENTO	61
5. I MOTIVI DEL CAMBIAMENTO	61
5.1 Introduzione	61
5.1.1 CRP.....	62
5.1.2 Factory Scheduling	65
5.1.3 Il MES e la Lean Manufacturing.....	68
5.2 ANALISI DELL'INVESTIMENTO.....	70
5.2.1 I costi sostenuti.....	70
5.2.2. I benefici	71
5.2.3 Valutazione dei benefici	72
5.2.4 Gli out-put di riferimento	73
5.2.4.1 Le ipotesi sul tasso di sconto	73
5.2.4.2 Scenari	76
5.2.4.3 Analisi Monte Carlo	78

Alla mia famiglia.
A mio padre, per le sue perpetue cure e attenzioni,
A mia madre, per la sua pazienza e forza,
A mio fratello, compagno di giochi e di vita.

Prefazione

L'argomento, oggetto di questo progetto di tesi, riguarda l'implementazione di un sistema di gestione e monitoraggio della produzione, più comunemente detto Manufacturing Execution System. In realtà, tale applicativo è relativo a supportare soltanto uno dei processi End-To-End dell'azienda, il Plan-to-Inventory, di cui si parlerà nel seguito, e quindi rappresenta soltanto uno degli aspetti di quella che può essere la strategia dell'impresa.

In un mondo di rapido cambiamento, ciò che permette ad un'azienda di sopravvivere è rimanere sempre al passo con i tempi, spostandosi lì dove si sposta la frontiera tecnologica del momento. I tempi del progetto globale sono stati dettati esattamente da questa necessità, necessità che può essere ben espressa dalla figura metaforica del "leone che insegue la sua gazzella". L'obiettivo è avere un sistema informativo globale flessibile e modulare, ideato per ottenere di volta in volta una più rapida integrabilità.

In ogni caso, come tutti i progetti di implementazione di un sistema informatico, le fasi del progetto sono state quelle relative all'analisi funzionale, all'integrazione con il nuovo sistema gestionale ERP e alla conseguente definizione delle interfacce e la loro parametrizzazione, al testing e alla formazione. Nell'ambito di questo progetto di tesi, il focus riguarderà soprattutto la fase dell'analisi funzionale e l'impatto economico che tale sistema avrà a livello aziendale.

In particolare, il primo capitolo mira a descrivere l'azienda e a collocarla nel suo settore di appartenenza. Il settore in cui opera prettamente è quello della produzione degli organi di trasmissione, ma se si considera l'intero segmento *worldwide* l'impresa si occupa anche di assemblare tali componenti per la produzione di scatole differenziali, PTU e Torque Hub. Le aziende che dominano tale settore, o sono imprese che diluiscono il rischio attraverso una differenziazione finanziaria oppure sono aziende che decidono di integrarsi verticalmente. Per queste aziende, il settore è fortemente competitivo anche a causa dei nuovi

trend del settore, causati principalmente dalla diffusione dei Big Data, dell'IoT o di quella che in generale viene definita come Industry 4.0. Queste nuove tecnologie permettono infatti di cambiare la modalità con cui applicare metodi di pianificazione delle scorte e di gestione della produzione che sono invece tradizionali. Per esempio, una gestione Make-to-Stock può basarsi su una dimensione del lotto minimo sempre più piccola, fino ad arrivare alla gestione del singolo pezzo, lì dove è possibile; oppure di gestire le unità di carico elementari se si parla di sistemi di produzione discreti.

Il secondo capitolo, mira invece a descrivere il processo in questione così come viene attuato oggi. La descrizione del modello AS-IS è finalizzata a descrivere gli eventuali gap, funzionali alla definizione del modello TO-BE, descritto nel terzo capitolo. In tale ambito, si descriverà il modello dichiarativo del nuovo sistema di fabbrica, funzionale alla raccolta dati utile per la definizione dei Report aziendali. In realtà, il vero aspetto fondamentale di un sistema MES è quello di avere una programmazione ad eventi, in quanto ogni evento rappresenta un trigger per un altro applicativo o per una funzione differente dello stesso applicativo. Quindi, ancora una volta, ciò che ha guidato la definizione del modello TO-BE è stata la necessità di effettuare una perfetta integrabilità con il sistema gestionale e/o con altri applicativi implementati, in modo da avere una gestione della Supply Chain rapida, flessibile e quanto più possibile automatica. È importante sottolineare come sistemi completamente automatici risultano più rigidi e non possono rispondere in maniera flessibile a situazioni eccezionali. Secondo Norman, infatti, è importante trovare il giusto trade-off tra il completo automatismo, spinto, ed un sistema automatico sotto il controllo vigile dell'uomo.

L'ultimo capitolo mira infine ad effettuare una valutazione economica di quelli che possono essere i benefici e i costi del progetto. Nella valutazione dei benefici, che uno strumento di questo tipo può comportare, non bisogna dimenticare tutti quei benefici relativi al risparmio di tempo e carta che accompagnano le task più elementari e operative di fabbrica. Il primo effetto positivo del MES è l'eliminazione delle inefficienze. Il passo successivo sarà poi utilizzare lo strumento in modo da ottenere quei benefici, che in gergo vengono denominati "Hard Benefit", e che sono realizzabili attraverso l'utilizzo di opportune scelte aziendali. In modo da inglobare nell'analisi dell'investimento anche la valutazione del rischio, si è utilizzata una simulazione Monte Carlo e variabili stocastiche per quei parametri incerti.

AZIENDA E SETTORE DI RIFERIMENTO

1. Oerlikon Graziano S.p.a

1.1 LA STORIA

La Oerlikon Graziano S.p.a, in origine Carlo Graziano&Co, nasce come una piccola officina, produttrice di componentistica meccanica per macchine utensili, per opera dell'omonimo Carlo Graziano, nel 1951.

Fin da subito, si specializza nella produzione di ingranaggi e organi di trasmissione, inizialmente nel settore auto e successivamente in quello delle macchine agricole e industriali.

Fin dal 1984, avvia un'attività di co-design con i propri clienti nell'ottica di una migliore progettazione ed industrializzazione dei suoi prodotti. I suoi primi stabilimenti sono quelli di Cascine Vica, Rivoli, e di Luserna ma già a partire dal 1986 acquisisce la maggioranza assoluta dell'industria dei trattamenti termici a Cervere. Tali processi sono di fondamentale importanza nella produzione di ingranaggi di qualità, risultando così critici nella creazione del valore collegato al prodotto finito. Essi conferiscono agli ingranaggi, infatti, sia la resistenza a fatica che all'usura e se eseguiti in maniera non corretta possono essere la causa di eventuali deformazioni e problemi negli step successivi di lavorazione.

Nel 1988 collabora con la OTO TRASM di Bari, uno dei maggiori produttori di ingranaggi e trasmissioni del meridione, che decide di acquisire nel corso dello stesso anno.

Negli anni '90 riesce ad ottenere importanti forniture con BMW, IVECO e importanti aziende nel mercato degli autobus e dei carrelli elevatori e viene acquisita dal gruppo svizzero Sauer, leader nel settore delle macchine tessili. Nello stesso periodo si ha la trasformazione dell'organizzazione produttiva in isole di lavoro, vale a dire che il layout dell'impianto è organizzato in aree produttive in cui collocare insieme le macchine processanti prodotti simili. Tale scelta di layout ha vantaggi economici, abbinandolo ad un processo di produzione cellulare.

Nel 1997 l'azienda decide di produrre trasmissioni anche per macchine elettriche, iniziando un'attività di *exploration* in un settore innovativo, dopo aver acquisito pochi anni prima una filiale americana con un proprio centro logistico, la Oerlikon Fairfield. La Oerlikon Graziano sembra avere una strategia di lungo

termine che guarda allo sviluppo di capacità aziendali a partire dalle sue core competence. Nel 1999 costituisce la Graziano trasmissioni India LTD e negli anni a venire acquisisce diverse certificazioni. L'efficienza aziendale è infatti certificata dagli standard UNI EN ISO 9001 e AVQS, mentre l'attenzione aziendale per lo sviluppo tecnologico nella salvaguardia dell'ambiente è certificata dalla certificazione ISO 14001.

1.2 OERLIKON GROUP

La Oerlikon group è organizzata in tre business unit o *segment*: *Surface Solution*, *ManMade Fiber*, e *Drive System*.



Figura.1 Oerlikon group: Business Unit

Il segmento Surface Solution è specializzato nell'ambito dei trattamenti superficiali per conferire particolari proprietà, come una più lunga resistenza all'usura, a componenti di precisione per macchine e veicoli, utensili e strumenti utilizzati in ambito industriale. Tale segmento costituisce il 20% dell'EBITDA del gruppo. Il Manmade Fibers, invece, offre sistemi e soluzioni nella produzione di fibre artificiali, utilizzati nella produzione di tappeti e arredi, e sempre più anche nei tessuti tecnici per airbag e cinture di sicurezza, nonché in geotessili per la costruzione di strade e altre applicazioni industriali. Costituisce il 7.7% dell'EBITDA del gruppo.

Infine, il Drive System segment offre soluzioni customizzabili di ingranaggi, trasmissioni e cambi per veicoli e macchine industriali. Le sue competenze mettono le radici sia nell'ingegnerizzazione che nella produzione di tali prodotti, da quelli più innovativi, come un anello sincronizzatore personalizzato alle richieste del cliente, ad un propulsore perfettamente integrato. Quest'ultimo segmento costituisce il 10,6% dell'EBITDA del gruppo ed è costituito dalla Oerlikon Graziano S.p.a e la Oerlikon Fairfield.

1.2.1 Drive system segment. Dati di settore

1.2.1.1 Introduzione

Nella definizione del settore in cui la Oerlikon Graziano opera bisogna prendere in considerazione le forze in gioco che influenzano la concorrenza e quindi la redditività del settore stesso, prendendo in considerazione i mercati degli input e i mercati dei prodotti finali. (Robert M. Grant, 2014, "Analisi strategica per le decisioni aziendali").

Il mercato degli input è costituito da stampati da trattare e lavorare per la definizione di una determinata forma e specifiche proprietà di resistenza.

Il mercato dei prodotti finali è molto variegato in quanto l'impresa produce sia il singolo organo di trasmissione (ingranaggi, corone, pignone) che i prodotti assemblati dei differenziali e infine delle trasmissioni stesse.

Nell'ambito di tale progetto di tesi, si prenderà in considerazione il settore degli organi di trasmissione meccanica del moto, in modo da far riferimento a quelle che sono più prettamente le core-competence dell'impresa; vale a dire la lavorazione meccanica di precisione di ingranaggi, corone, pignoni e altro, con un alto livello qualitativo e di performance del prodotto finito. (Critical Success Factor)

1.2.1.2 Il settore degli organi di trasmissione meccanica

Nel settore degli organi di trasmissione meccanica del mercato italiano si riscontra un trend di crescita del fatturato pari all'11,3%. In particolare, la quota maggiore del fatturato delle imprese italiane, è costituito dalle esportazioni, come mostrato dalla figura 2. Con la voce "fatturato Italia" si intende il fatturato derivante dagli articoli prodotti dalle imprese italiane e vendute in Italia.

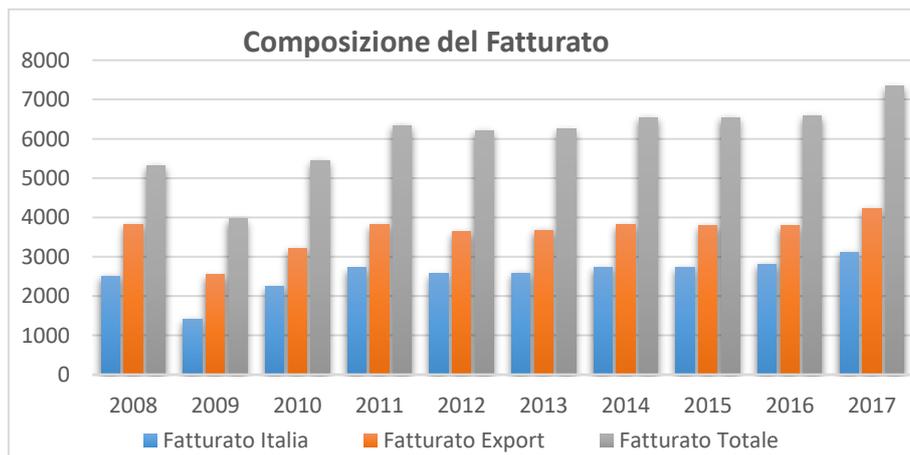


Figura.2 Composizione del Fatturato (Fonte. Dati Assiot 2017/18)

Nell'anno del 2017, scomponendo il fatturato ottenuto dalle esportazioni nelle relative famiglie di prodotto, si riscontra che solo una piccola quota dell'export è relativo alla vendita degli ingranaggi. In particolare, dai dati ASSIOT la quota export degli ingranaggi è cresciuta del 7,6% vs quella della famiglia "Altri elementi di trasmissioni" del 12,3 %, rispetto all'anno precedente.

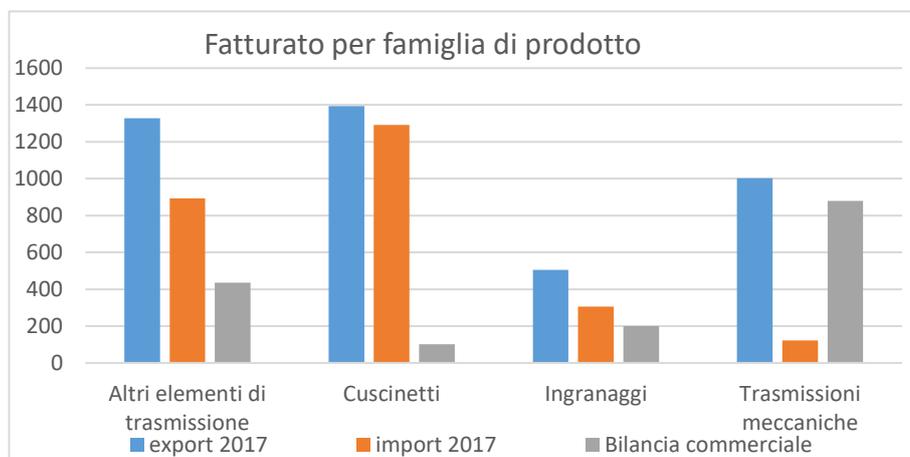


Figura.3 Fatturato per famiglia di prodotto (Fonte. Dati Assiot 2017/18)

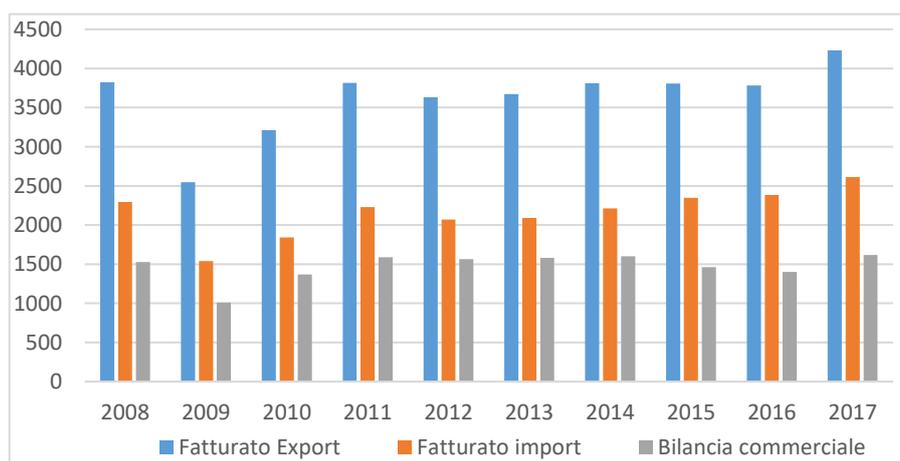


Figura 4 Bilancia commerciale del settore (Fonte. Dati Assiot 2017/18)

Nello stesso periodo si riscontra una crescita delle importazioni del 9,7%, ma per un valore rispetto all'export inferiore così da portare in aumento il saldo della bilancia commerciale per tale settore. Tale saldo risulta positivo per ognuno delle famiglie di prodotto del settore in termini assoluti e relativi rispetto all'anno precedente, ad eccezione che per l'ingranaggio. Infatti, il saldo commerciale di quest'ultimo vede un trend di decrescita del -0.8 %.

I principali tre Paesi per import sono la Germania, la Cina e la Francia. Infatti, i principali produttori di ingranaggi a livello europeo, sono imprese tedesche, di cui si ricordano la Siemens AG e la Getriebebau NORD GmbH&co. KG. (Fonte: Industrial Gear Market - Europe Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2016 – 2024). Tali imprese operano però principalmente nell'offrire soluzioni di azionamento per macchinari e veicoli, meccaniche ed elettroniche. Sono aziende diversificate con "goal" diversi, che non operano soltanto nel campo dell'automotive. In quest'ultimo settore, la gamma di prodotti comprende motoriduttori, motori, riduttori industriali, inverter e partenze motore/inverter per controllo decentrato e

non si limitano alla produzione degli organi di trasmissione. Secondo queste stesse fonti, il mercato europeo dell'ingranaggio si aggira intorno ai 24,42 Miliardi ed è caratterizzato da un'alta concentrazione di queste società europee o internazionali, che operano in un contesto altamente competitivo. Il fatturato del Drive System Segment del gruppo Oerlikon si aggira intorno ai 730 Mln, di cui il 30% è relativa alla sola quota EMEAR. La quota all'interno del solo mercato italiano, con un fatturato di 5,720 Mln (Fonte: Assiot 2017/2018) si attesta intorno al 3-4%. Di conseguenza, come diretto competitor della Oerlikon Graziano, si ricorda un'altra impresa tedesca, la Getrag, simile per fatturato.

Secondo la conferenza dell'associazione Assiot del Marzo 2018, i prodotti di tale settore si stanno orientando verso una sempre maggiore commoditizzazione. I clienti richiedono sempre maggiormente una qualità dei prodotti alta ad un prezzo minore, con tempestività nelle consegne. Il driver della competizione è il costo. In tale contesto, i nuovi trend del settore sembrano essere:

- Imprese Capital Intensive nell'ambito dell'industry 4.0;
- Forte integrazione con i fornitori e creazione di un Ecosistema (come i distretti regionali italiani);
- Condivisione delle Intellectual Property Right tra l'impresa ed il cliente;
- Economie di apprendimento.

Tutti elementi che nel lungo periodo determinano barriere all'ingresso più alte.

1.2.1.2 Mercato

Il drive system segment con i suoi componenti di trasmissione del moto riesce ad entrare in diversi settori e relativi segmenti di mercato:

<i>SETTORE</i>	<i>SEGMENTO di MERCATO</i>	<i>PRODOTTO</i>
AGRICULTURE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veicoli <ul style="list-style-type: none"> ○ Trattori ▪ Macchine varie <ul style="list-style-type: none"> ○ Mietitrebbie ○ Mietitrici ○ Miscelatori di mangime 	INGRANAGGI <ul style="list-style-type: none"> ▪ A denti dritti (SPUR) ▪ Conici (BEVEL) ▪ A denti elicoidali ▪ Zerol ▪ Hypoid
AUTOMOTIVE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automobili sportive ▪ Veicoli passeggeri ibridi e non ▪ Veicoli pesanti da trasporto 	CORONE PIGNONI Soluzioni di CAMBIO <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sincronizzatori ▪ Powershift clutch module ▪ Assemblaggi PST
CONSTRUCTION	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Macchinari ▪ Attrezzature <ul style="list-style-type: none"> ○ Attrezzature per compattazione ○ Attrezzature cingolate 	TRASMISSIONI per FUORISTRADA <ul style="list-style-type: none"> ▪ Azionamenti finali planetari ▪ Assali rigidi e sterzanti ▪ Trasmissioni per veicoli fuoristrada
ENERGY	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Macchine da movimentazione <ul style="list-style-type: none"> ○ Macchinari per estrazione mineraria e sottoterra ○ Trasportatori di superficie ○ Barche di sollevamento ○ Gru marine 	PREMIUM AUTOMOTIVE <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trasmissioni per auto ▪ Trasmissioni di veicoli elettrici-ibridi
TRANSPORT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Locomotive e veicoli per la manutenzione delle ferrovie ▪ Autobus urbano 	

Tab.1 Prodotto e segmento di mercato

I costi fissi di ingegnerizzazione del prodotto sono condivisi sui vari ambiti.

1.2.1.3 Regions&plant

Il Drive system segment è organizzato in 4 Regions: EMEAR, America, Cina e India.

In ogni region si hanno diversi stabilimenti più o meno simili tra loro.

<i>REGIONS</i>	<i>PLANT</i>	<i>DESCRIPTION</i>
EMEAR	▪ Luserna	Lo stabilimento si occupa dell'assemblaggio per la produzione di trasmissioni, gear box e altro. Gli altri stabilimenti rappresentano un suo fornitore
	▪ Rivoli	Lo stabilimento si occupa della produzione di ingranaggi ed altri organi di trasmissione, ma non ricopre le fasi preliminari (vedi dopo). Cervere è il suo principale fornitore.
	▪ Cervere	Lo stabilimento si occupa del trattamento termico preliminare e il successivo per la tempra e l'indurimento.
	▪ Sommariva	Come Rivoli
	▪ Bari	Lo stabilimento si occupa sia della produzione degli ingranaggi e altri organi di trasmissione che delle operazioni di assemblaggio degli assiali. Esegue anche le operazioni di trattamento termico relative all'indurimento
AMERICA	▪ Lafayette	Lo stabilimento gestisce l'intero processo di produzione degli ingranaggi, compreso il trattamento termico. Esegue anche le operazioni di assemblaggio per la produzione dei Torque Hub
APAC	▪ India	Gli stabilimenti si occupano della produzione sia dei semilavorati che dei prodotti finiti relativi alla produzione degli ingranaggi. Eseguono le operazioni di assemblaggio degli assiali e delle trasmissioni.
	▪ Sanand (Ahmemabad) ▪ Belgaum	
	▪ Cina	Lo stabilimento gestisce l'assemblaggio degli assiali e delle trasmissioni
	▪ Suzhou	

Tab.2. Region&Plant: descrizione

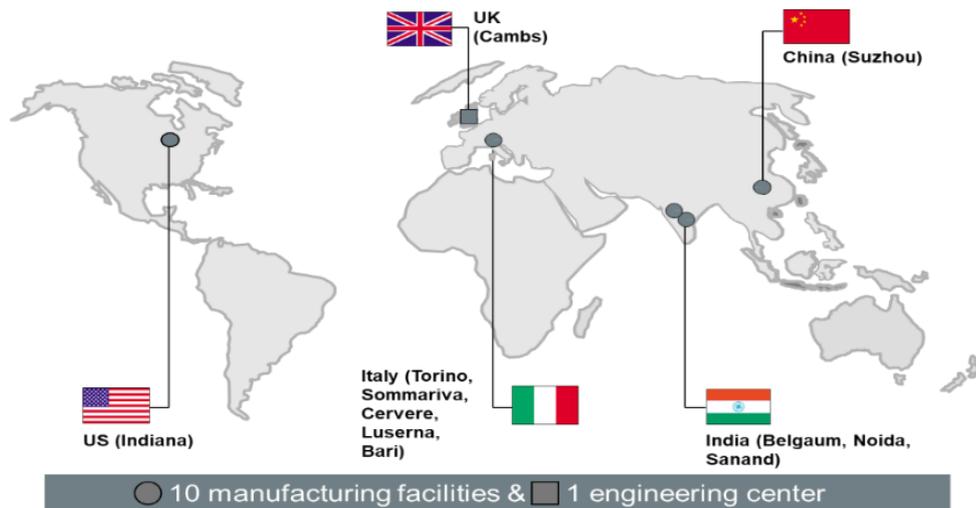
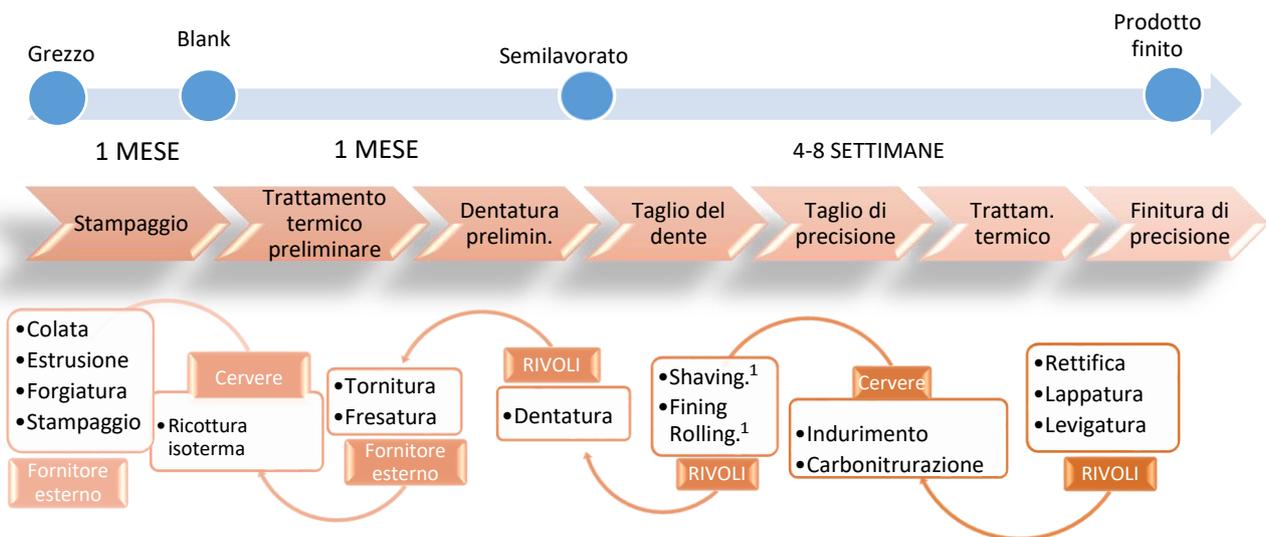


Figura.5 Region&Plant

1.2.1.4 Processo di produzione dell'ingranaggio



1. Asportazione di materiale per una migliore finitura del dente dell'ingranaggio in modo da correggerne il profilo (angoli ed eccentricità)

Figura.6. Processo di produzione dell'ingranaggio

Come possiamo osservare dalla figura, nel caso preso in esame, il processo può essere guardato come composto da due fasi:

- Lavorazione della materia prima fino alla produzione del semilavorato,
- Lavorazione dell'ingranaggio, in relazione al taglio del dente e alla sua finitura superficiale.

E' facile intuire che la prima fase del processo di lavorazione apporta minore valore aggiunto rispetto alla seconda fase, che si focalizza sulla meccanica di precisione. Non è un caso, infatti, che questi primi processi sono in outsourcing, mentre i secondi vengono eseguiti in-house, ad eccezione del trattamento termico.

Il trattamento termico preliminare è un trattamento di normalizzazione del materiale, vale a dire che questo viene riscaldato fino alla temperatura di austenizzazione e poi raffreddato in aria calda. Questo permette di affinare la grana di quello che viene definito blank, in modo da uniformarne la struttura. Tale processo viene demandato allo stabilimento di Cervere, quando vi è capacità produttiva disponibile, altrimenti è affidato a fornitori esterni. Il trattamento termico più importante è quello relativo all'indurimento e alla carbonitrurazione dell'ingranaggio. L'indurimento viene eseguito attraverso processi di tempra; vale a dire che il materiale viene riscaldato fino alla temperatura di austenizzazione (800-900°C) e poi raffreddato tramite un qualsiasi mezzo, quale l'acqua oppure l'olio. Il più rapido raffreddamento rispetto al caso precedente determina la durezza del prodotto. Gli ingranaggi induriti vengono poi di nuovo temprati, ad una temperatura di 690°C, per conferirgli duttilità e resistenza a fatica. Il processo di carbonitrurazione è il processo mediante il quale il materiale ferroso austenizzato viene posto a contatto con un ambiente ricco di carbonio. In questo modo si ha l'assorbimento del carbonio a livello superficiale e attraverso il processo di diffusione, esso si colloca tra il livello superficiale e la parte interiore. In relazione alla temperatura e al tempo di esposizione, la penetrazione del carbonio è maggiore. Anche qui, lo scopo è quello di aumentare la durezza del materiale. Come già accennato precedentemente, questo è uno dei processi più critici nella determinazione delle caratteristiche dell'ingranaggio e per questo è gestito internamente all'organizzazione.

Importante è prestare attenzione ai lead time di produzione.

Come si è detto in precedenza, l'azienda è entrata in numerosi settori, tra questi vi è il settore automotive. Tale settore, rispetto a tutti gli altri già citati, è più esigente in quanto richiede dei lead time di consegna dell'End item più brevi, con un ordine di grandezza settimanale. In tal caso, il punto di penetrazione dell'ordine è di un mese, mentre l'intero processo può durare almeno tre mesi. La strategia utilizzata dall'azienda nella gestione della supply chain è l'*available to promise*. (ATP). Zhao *et al* definiscono tale strategia nel modo seguente: '... the ATP function ... provide a response to customer order request based on resource availability ..., must insure that the quantity promised can be delivered on the date promised ..., should be able to dynamically adapt resource utilisation and to prioritise customer orders'. Di conseguenza l'ATP è quella strategia per cui, verificando la disponibilità dei materiali e delle risorse, determina le date di consegna degli ordini dei clienti, o della domanda prevista, prendendo in considerazione anche la disponibilità in magazzino e la capacità produttiva dell'impianto. Essa viene utilizzata in un'ottica push per la prima parte del processo produttivo, fino alla produzione del semilavorato, e per le restanti parti in un'ottica pull. Il processo viene infatti suddiviso in due parti, in relazione alle logiche utilizzate nell'avviare la sequenza delle attività, che dall'approvvigionamento alla produzione e al trasporto, portano alla consegna del prodotto finito. Di conseguenza, nella produzione del semilavorato, la previsione del fabbisogno determina l'approvvigionamento delle materie prime necessarie, che a cascata innesca la sequenza delle attività a valle. Mentre le ultime fasi sono innescate dall'ordine del cliente che attiva l'ultima delle attività a valle. Quest'ultima attività tira le attività a monte nell'ottica di completare la produzione delle quantità richieste.

Un sistema di tipo push richiede quindi un più grande magazzino delle materie prime, mentre un sistema di tipo pull richiede che sia sempre disponibile il semilavorato, da rifinire, per la soddisfazione dell'ordine del cliente.

In particolare, un push-ATP System alloca le risorse in relazione alla previsione della domanda e definisce delle quantità da promettere al cliente, dati gli ordini già rilasciati, in un dato periodo di tempo. Un pull-ATP System permette invece un'allocazione dinamica delle risorse in relazione all'ordine reale del cliente.

Bisogna prestare attenzione al fatto che la fase di "Dentatura preliminare" e quindi di tornitura è eseguita nel caso degli ingranaggi da un fornitore esterno, ma rappresenta la prima operazione nella lavorazione del prodotto finito. Nell'ottica della Lean Manufacturing di produrre con "0 Magazzino WIP" è importante una perfetta integrazione del fornitore-tornitore con la rimanente parte della catena produttiva, in modo da rimanere flessibili in relazione alle richieste del cliente.

2. Il progetto ERP ed il MES

2.1 Introduzione

“Il mondo del business si sta muovendo da un’era industriale ad un’era dell’informazione in un periodo di rapido cambiamento”.

Fin dall’inizio dell’era dell’industrializzazione, i salti tecnologici hanno condotto ad un cambio di paradigma che sono stati definiti ex-post come “Rivoluzione Industriale”. In particolare, la prima rivoluzione industriale è stata caratterizzata da una forte meccanizzazione della fabbrica che ha portato alla produzione di massa e al Taylorismo. La seconda rivoluzione industriale ha portato alla diffusione dell’energia elettrica; mentre la terza rivoluzione industriale con l’avvento della digitalizzazione ha fortemente favorito il mondo dei servizi. Oggi, si sta assistendo ad una sempre più forte digitalizzazione, che sta invadendo il mondo della fabbrica fino a stravolgere i sistemi produttivi. Le nuove tecnologie come l’internet degli oggetti (IoT), i cyber-physical system (CPS), l’RFID e il Cloud-Computing, hanno rivoluzionato il modo di pensare, invadendo tutti i settori, da quelli più innovativi a quelli più tradizionali, tanto da parlare di “Quarta Rivoluzione Industriale”. Gli elementi di input di questo cambiamento sono di tipo economico, politico e sociale. Nell’ambito del settore di riferimento ci si riferisce ad una forte necessità di:

- flessibilità nella produzione;
- decentralizzazione dei processi di decision-making, per rispondere velocemente alle sollecitazioni dell’ambiente esterno alla fabbrica;
- efficienza delle risorse per far fronte alla richiesta di un prodotto di qualità a prezzi più bassi.

In tale contesto, ci si sta orientando verso sistemi di produzione efficienti e modulari in grado di gestire lotti di dimensione unitaria, rimanendo nell’ambito della produzione di massa.

Tutto ciò è reso possibile attraverso la definizione di una tipologia di architettura orientata ai servizi, più comunemente nota come SOA (Service Oriented Architecture).

Si definisce SOA una metodologia di implementazione dell'architettura di un sistema informatico, basata sui servizi. Ogni servizio incapsula una logica applicativa ed è richiamabile tramite un servizio-client, tramite delle interfacce. L'elemento che permette l'interconnessione tra i diversi software-services è quello che viene definito come middleware. Il middleware permette ai vari applicativi di comunicare tra di loro, anche se utilizzano linguaggi differenti. Se il middleware permette di invocare servizi, che vanno al di là dei confini dell'impresa, si riesce a creare un sistema inter-enterprise.

L'azienda sta perseguendo l'obiettivo di implementare un sistema orientato ai servizi, in modo da rimanere sulla frontiera tecnologica del momento. Ha scelto di implementare diversi web service, ognuno contenente una determinata logica applicativa relativa ad un processo END-TO-END.

In seguito, si andranno a descrivere i vantaggi derivanti da tale scelta e le opportunità che offre in relazione all'adozione di nuove tecnologie, utilizzabili nell'ambito della gestione della produzione e quindi del MES.

Uno dei motivi più importanti del cambiamento è il VALORE AGGIUNTO, seguito dal vantaggio competitivo e l'obsolescenza del vecchio sistema.

In un mercato sempre più dinamico, in cui il cliente richiede un prodotto di qualità a basso prezzo, nei tempi di consegna prestabiliti, creare l'infrastruttura informatica adatta a garantire flessibilità e nello stesso tempo efficienza della produzione è di fondamentale importanza. La riduzione dei costi, a parità di servizi erogati, è il driver della competizione.

2.1.1 Il valore aggiunto

2.1.2 SOA. I vantaggi.

I vantaggi principali di un'architettura orientata ai servizi sono:

- Riduzione delle ridondanze;
- Struttura modulare.

Nella progettazione delle architetture tradizionali, ogni processo di business era supportato da un unico applicativo, contenente tutti i blocchi funzionali necessari per l'esecuzione dello stesso. Ciò comportava la replicazione di blocchi identici in applicativi supportanti processi differenti. Implementare un'architettura orientata ai servizi, significa definire un servizio che incapsula soltanto una particolare logica e poi supportare i vari processi di business, integrando tra di loro i vari servizi. In questo modo è possibile:

- condividere i servizi comuni a diversi processi aziendali;
- ri-assemblare i vari servizi in maniera tempestiva in relazione alle ri-organizzazioni aziendali;
- outsourcing dei servizi meno importanti;
- aggiornare/modificare/eliminare un singolo componente per volta.

Dal punto di vista strategico, l'azienda è capace di rispondere ai cambiamenti dell'ambiente esterno in maniera tempestiva oppure riorganizzarsi sulla base delle sue core-competence, sviluppando quelle che vengono denominate dynamic capabilities in modo da entrare in nuovi mercati, come nel segmento delle macchine elettriche. Questa struttura modulare comporta un risparmio di costi di manutenzione/aggiornamento del sistema ed economie di scale.

2.1.3 I web-service

Un web-service è un sistema software in rete, che offre un servizio a qualsiasi applicativo ne faccia richiesta, attraverso la definizione di interfacce. Queste hanno una struttura tabellare ed ogni riga corrisponde ad un insieme di campi, a cui saranno collegati l'attributo corrispondente di un determinato record o tupla. Si definisce tupla la relazione che associa ad ogni campo il valore corrispondente nel dominio degli attributi. Essa è univoca ed è individuabile tramite una chiave primaria. La chiave primaria è l'attributo o l'insieme degli attributi di una tupla che la rendono univoca. In questo modo due applicativi possono comunicare e scambiarsi informazioni, garantendo l'interoperabilità tra sistemi. L'interoperabilità è garantita dall'utilizzo di standard nella comunicazione. In particolare, i due applicativi comunicano attraverso il protocollo standard della rete, l'HTTP, e rilasciano come out-put un file XML. In un'architettura SOA, ogni web-service fornisce dei servizi standard e la loro integrazione permette di supportare un intero processo di business. L'azienda ha deciso di perseguire la strada di definire un unico web-service master, che custodisce i dati di anagrafica ed è autorizzato a modificarli, coincidente con LX, e una serie di web-service slave, che ricevono le anagrafiche, creandone una copia locale ma non possono modificarle, utili per eseguire i loro servizi. Il MES è utilizzato come web-service slave.

2.1.4 Le opportunità delle nuove tecnologie

2.1.4.1 IoT e CPS

Con il termine Internet of things ci si riferisce ad un network di oggetti fisici embedded connessi ad internet in modo da creare una rete distribuita, capaci di raccogliere dati e scambiarsi informazioni. Affinché sia possibile una connessione tra due elaboratori o hardware, è necessaria la creazione di un software che li virtualizzi. Di conseguenza, l'IoT non può prescindere dall'implementazione di un CPS o Cyber-physical system. Un CPS è un sistema costituito da una componente fisica (oggetto reale, es. una macchina) ed una componente virtuale. La componente fisica è dotata di sensori e altri dispositivi digitali che permettono di raccogliere dati sullo stato della macchina e la sua performance in maniera real-time, in modo che il gemello virtuale possa replicare l'oggetto fisico nella sua condizione corrente. Un CPS è fondamentale nel monitoraggio degli oggetti fisici, quale può essere la macchina o un contenitore che percorre il flusso produttivo, mentre l'IoT viene pensato con lo scopo principale di raccogliere i dati e permettere lo scambio di informazioni tra più oggetti intelligenti. Gli oggetti smart di questa rete, hanno un proprio processore e CPU, e rappresentano i nodi terminali di una rete distribuita. Uno dei problemi è che questi possono utilizzare linguaggi differenti. Per risolvere al suddetto problema si può decidere di utilizzare un software middleware, posto tra i diversi smart object. Un IoT Middleware permette di memorizzare le interazioni tra due o più oggetti intelligenti e rappresenta il punto di storage di tali dati, in modo che si possa pensare di elaborarli e analizzarli. In questo contesto, la Data Science e la Big Data Analysis sono di fondamentale importanza per determinare un modello matematico, che a partire da determinati parametri di input si determina un preciso output. L'utilizzo di tali dati può essere, infatti, molteplice. Nell'ambito della produzione è facile pensare a quella che viene più comunemente definita come manutenzione preventiva o predittiva. Attraverso un PLC collegato alla macchina, si può conoscere lo stato della macchina real-time, raccogliendo i dati relativi a dei parametri chiave, come per esempio la temperatura o il consumo di olio, e pensare di costruire un modello matematico funzione della variabile temporale, per determinare la vita residua utile dell'asset in questione. Un'altra applicazione potrebbe essere quella di modellizzare le macchine di una cella, in modo da determinarne il gemello virtuale. Con un costante monitoraggio, in caso

di guasto improvviso di una delle macchine, si può intervenire ad assegnare la produzione ad un diverso tipo di abbinamento, ove possibile. Il machine-learning permette di far reagire la macchina apprendendo da un evento passato, senza l'interazione dell'uomo. Un ulteriore aspetto è l'analisi della Process Capability della macchina, a partire dal monitoraggio nel tempo dei pezzi conformi e non conformi. Il cloud computing permette di trasferire servizi computazionali delle varie risorse, intese come applicazioni software, sul cloud e quindi di investire soltanto quando la domanda di tali servizi aumenta.

2.2 I PROCESSI END-TO-END ED IL PROGETTO MES

Il progetto ERP è stato organizzato in maniera tale che il sistema gestionale ERP comunicasse con una serie di moduli, ognuno dei quali ricoprenti un determinato processo END-TO-END, la cui interazione ha lo scopo di migliorare le performance dell'intera Supply Chain, coordinando tutti i partecipanti alla creazione del valore lungo l'intera catena produttiva.

Frye and Gulledge definiscono un processo END-TO-END come un "flusso di attività guidate dagli eventi che attraversano i confini delle singole funzioni aziendali, dell'azienda stessa e del sistema". (Frye, D. W., and T. R. Gulledge. 2007. "End-to-end Business Process Scenarios." Industrial Management and Data Systems)

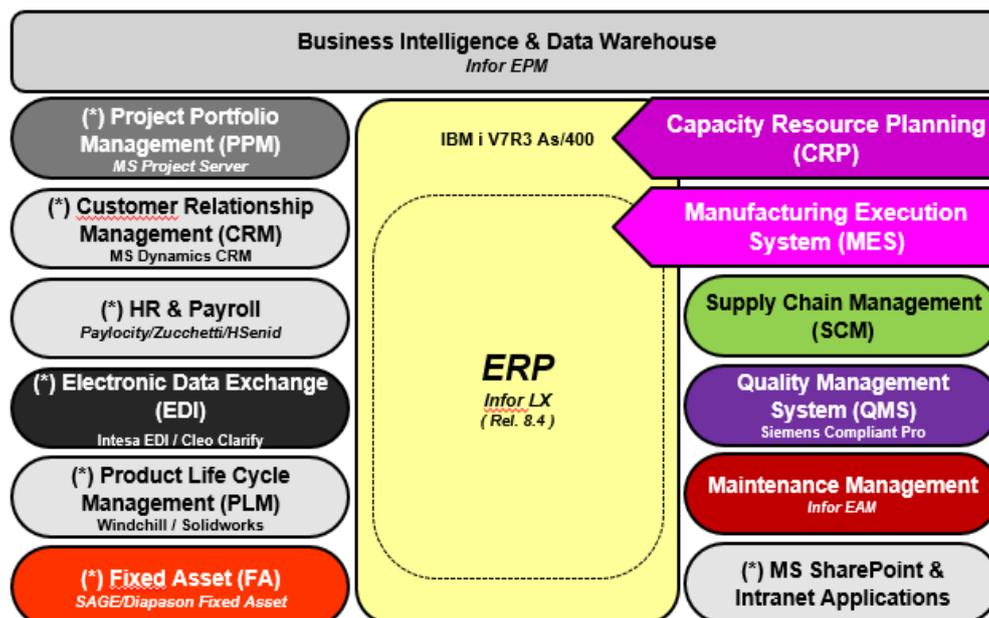


Figura7. Il progetto ERP. Fonte: ODS_MES_KICK-OFF.ppt

A livello informatico ciò è reso possibile da ciò che viene definito come "programmazione ad eventi"; vale a dire che il codice sorgente è suddiviso in parti, che prendono il nome di procedure/funzioni/oggetti, il più possibili svincolati l'uno dall'altro. Il flusso descritto dal programma viene eseguito sulla base di quali eventi vengono generati, attraverso l'interazione utente-sistema. L'evento, che innesca la parte di flusso stabilito, può provenire non soltanto dall'interazione utente-sistema ma anche dall'interazione con altre applicazioni, interne e/o esterne al sistema aziendale.

Il MES, a livello di fabbrica, e il CRP, a livello di programmazione della produzione e integrato in una seconda fase del progetto, sono i due moduli che andranno a gestire il processo END-TO-END, definito come “Plan to Inventory”.

In particolare, il CRP, o Capacity Requirement Planning, è il modulo funzionale alla programmazione a capacità finita degli ordini di produzione, rilasciati a livello di MRP. Esso permette di definire le ore tempo ciclo necessarie a produrre gli Ordini di Produzione, estrapolandone il ciclo di lavoro, e definendo il carico sulle risorse, a livello di Centri di lavoro, in maniera dettagliata. Attraverso le simulazioni del CRP, è possibile definire la fattibilità di un piano di produzione in relazione alla disponibilità delle risorse (Macchine, uomo, ecc..).

Il MES invece è funzionale alla raccolta dei dati dalla fabbrica in modo da eseguire il monitoraggio della fase più prettamente di execution. Permette di controllare l'avanzamento in produzione di un ordine di produzione, tracciare il materiale WIP, dal suo ingresso in stabilimento fino allo stoccaggio nel magazzino finale, e gestire le risorse, umane e non, in termini di assegnazioni e controllo delle performance; esso opera insieme ad un ulteriore modulo, denominato “Factory Scheduling”, che esegue la schedulazione degli ordini di produzione, e dei relativi ordini di set-up, resi visibili alla fabbrica. Attraverso tale modulo si riescono a gestire le urgenze, relative alla mancanza inaspettata di materiale o altro, ed effettuare una schedulazione dinamica in relazione ai vincoli imposti, alimentati dai dati raccolti dal MES. I dati raccolti dal MES sono funzionali anche ad alimentare analisi di Process Capability.

Tali applicativi entrano in gioco soltanto dopo la determinazione dell'MPS (Master Production Schedule) e la verifica del suddetto piano tramite l'RCCP (Rough Cut Capacity Planning), a livello più alto di pianificazione della produzione.

Il Master Production Schedule è lo strumento che ti permette di definire quando e quanto produrre in relazione agli ordini cliente e alle previsioni della domanda. L'orizzonte di pianificazione viene suddiviso in bucket temporali, e prende in considerazione le seguenti variabili:

- Previsioni della domanda (P_t)
- Ordini del cliente (O_t)
- Inventario Disponibile (I_t)
- MPS
- ATP (Available to Promise)

L'MPS ha lo scopo di impedire che, in un determinato bucket temporale t , l'inventario diventi negativo o scenda al di sotto della scorta di sicurezza SS_t , dato il valore max tra P_t e O_t ; vale a dire che:

$$I_t = I_{t-1} + MPS_t - \max(P_t, O_t) > 0$$

In caso contrario, viene ordinata la produzione di una quantità fissa o discreta, in relazione alla politica d'ordine aziendale. Le scorte di sicurezza possono essere gestite come ordini interni, da aggiungere a quelli già presenti dei clienti.

L'ATP è invece la quantità di prodotto finito che si può ancora promettere al cliente fino al successivo time bucket in cui è prevista la disponibilità della quantità di prodotto finito schedulato (MPS_{t+n}) secondo la logica precedente, dato quello già presente al tempo t e dati gli ordini clienti già confermati nello stesso periodo; vale a dire che:

$$ATP_1 = I_0 + MPS_1 - \sum_1^{next\ MPS} O_i$$

$$ATP_t = MPS_t - \sum_t^{next\ MPS} O_i$$

Data la pianificazione di produzione determinata dall'MPS per il prodotto finito, l'RCCP definisce il carico delle risorse, prendendo in considerazione soltanto i work-center critici; vale a dire che verifica se le ore tempo ciclo per ogni articolo da lavorare su una delle macchine di tale work-center superino la capacità massima della macchina stessa.

2.1.1 Plan to Inventory

Il processo END-TO-END del Plan-To-Inventory inizia dalla determinazione della domanda per famiglia di prodotto, funzionale alla pianificazione della produzione, fino all'esecuzione degli ordini di produzione in fabbrica e al monitoraggio del livello di inventario.



Figura.8 Plan-to-Inventory

A tal proposito, il MES permette di monitorare l'intera fase di Execution, attraverso la raccolta dati, relativi a:

- Quantità avanzate conformi
- Quantità difettose in sospeso dell'esito dell'analisi della qualità
- Stato della macchina
- Tempi di esecuzione delle varie attività produttive e non-produttive
- Tempi di attraversamento
- Calcolo dell'OEE
- Calcolo dell'efficienza dell'uomo
- Supporto al calcolo dei costi della non qualità
- Supporto al calcolo dei costi produttivi

Infine, supporta sia la gestione del magazzino attraverso la tracciabilità del WIP, evitando l'errore umano nel momento delle transazioni inventariali, e sia lo scheduling degli ordini di produzione giornalieri, vincolati dalla disponibilità delle risorse quali macchine, addetti alla produzione ed altro.

Infatti, permette di raccogliere le presenze/assenze del personale e di gestire i turni in modo da supportare l'applicativo del Factory Scheduling e facilitare la successiva assegnazione uomo-macchina.

3. AS-IS Analysis

3.1 PROCESSI OPERATIVI

Nella definizione dell'AS-IS Analysis bisogna delineare i confini di azione del MES; vale a dire che è importante definire quali dei processi aziendali verranno gestiti completamente all'interno di tale sistema e quali invece sono rilevanti nello scambio di informazioni chiave, in relazione sia al corretto funzionamento dei primi ma soprattutto in relazione alla realizzazione di un sistema informatico di gestione aziendale completamente integrato.

I processi operativi individuati quali processi *core* sono i seguenti:

- Fabbricazione
- Monitoraggio della produzione
- Controllo di processo/prodotto

Tali processi core si interfaceranno, infatti, con altri processi operativi, quali:

- Programmazione della produzione
- Manutenzione

3.2 CLUSTER TECNOLOGICI

Nella realtà aziendale di Oerlikon Graziano S.p.a, l'analisi metterà in evidenza gli aspetti di congiunzione e di differenza dei processi operativi, sopra descritti, relativi a tre diversi cluster tecnologici.

Si è detto infatti in Region&Plant relativo al sottoparagrafo 1.2.1 del par1.2 nel Cap1., che gli stabilimenti della Oerlikon Graziano Drive System si occupano di una o più fasi dell'intero flusso produttivo, descritto nello stesso capitolo. Tali fasi sono il trattamento termico del grezzo e del semilavorato, la lavorazione meccanica di precisione del singolo componente, e l'assemblaggio.

Prima di proseguire con la descrizione di ogni singolo cluster tecnologico, si anticipa che all'interno degli stessi si sono individuate differenti realtà da schematizzare logicamente in maniera differente.

In particolare, si prenderanno in considerazione i seguenti cluster tecnologici:

- Lavorazione meccanica
 - Cella
 - Macchine in abbinamento
 - Macchina singola
- Assemblaggio
 - Isola
 - Linea di montaggio
- Trattamento termico

Per quanto riguarda la lavorazione meccanica, si ha una prima distinzione tra cella e macchine in abbinamento. La cella prevede una serie di operazioni in serie, collegate ad un singolo Ordine di Produzione; mentre l'abbinamento prevede l'accoppiamento di diverse operazioni, eseguite in parallelo da un unico operatore su più macchine e ognuna collegata al proprio ordine di produzione.

Per quanto riguarda l'assemblaggio, la distinzione si ha tra isola e linea di montaggio.

In un'isola, il montaggio si realizza intorno ad un unico banco di lavoro e il pezzo rimane fermo mentre gli operatori si alternano; in una linea di montaggio, invece, le operazioni di assemblaggio vengono eseguite in serie ed il pezzo si muove lungo la catena delle stazioni di montaggio, appositamente collocate in sequenza a tale scopo.

Come si vedrà maggiormente nello specifico nel cluster dell'assemblaggio, in un'isola, i pezzi vengono montati a creare dei sotto-gruppi (il differenziale, il cambio, ...) da utilizzare per l'assemblaggio dei complessivi. Tali operazioni sono collegate ad un Odl ma vengono eseguite in modo da creare un "magazzino di semilavorati" da cui prelevare per il completamento del successivo assemblaggio del prodotto finito, che avviene sulla linea, sempre legate allo stesso Odl.

Infine, il trattamento termico costituisce un cluster a parte per la natura particolare delle sue operazioni.

3.2.1 Lavorazione Meccanica

3.2.1.1 Introduzione

Nella descrizione del flusso di processo occorre distinguere le seguenti fasi:

- Rilascio degli Odp
- Dispatching degli Odp
- Schedulazione degli Odp in coda sulle macchine di un centro di lavoro
- Fabbricazione
- Monitoraggio della Produzione

Le prime tre fasi sono di responsabilità della logistica e della programmazione di produzione, e costituiscono l'input della Fabbricazione.

3.2.1.1.1. Rilascio degli Ordini di lavoro di produzione (Odl)

La logistica Centrale definisce una domanda per un orizzonte di 6 mesi per l'MPS a partire dal port-folio degli ordini clienti e da previsioni, calcolate sulla base di trend storici degli ultimi 3-6mesi, considerando una scorta di sicurezza, qualora la domanda sia ripetitiva. Mentre l'aggiornamento del port-folio clienti è giornaliero, la logistica centrale congela mensilmente la pianificazione dell'MPS. Si determina quando e

quanto produrre del prodotto finito per soddisfare gli ordini clienti nello stesso periodo. Gli ordini d'acquisto sono raggruppati per fornitore e rilasciandoli si determinano i programmi fornitori, mentre gli ordini di produzione sono rilasciati determinando i programmi di produzione per ogni reparto e centro di lavoro. In particolare, sulla base degli output dell'MPS, si verificano le quantità da produrre in funzione della capacità e si conferma il piano. Si determinano gli ordini di acquisto su un orizzonte di sei mesi. Successivamente sulla base degli ordini cliente del mese, MRP definisce gli ordini di produzione e si rilascia il programma di fornitura.

Tale programma, rilasciato ogni mese, propone al fornitore, infatti, il seguente orizzonte:

- 2 mesi confermati
- 4 mesi previsionali

Di conseguenza, si spinge materiale nella parte push della catena in relazione ad una domanda di 2 mesi ma la produzione, invece, si tira come materiale quello relativo a soddisfare la domanda di un mese, suddiviso settimana per settimana, in relazione all'ordine cliente. Il programma di C/L è rilasciato, infatti, settimanalmente, per il tornitore e il trattamento termico finale.

MRP pianifica a capacità infinita, mentre la programmazione di produzione programma a capacità finita, per livellare l'impegno delle risorse e garantire le scadenze previste.

3.2.1.1.2 Dispatching degli Odp

Nel momento in cui Cervere rilascia il Documento Di Trasferimento (DDT) dopo l'esecuzione del primo trattamento termico di ricottura isoterma, considerando il processo del Cap.1 par. 1.2.1.4, lo stabilimento della lavorazione meccanica ha traccia dell'avanzamento del materiale lungo il flusso. In questo momento viene rilasciato l'ordine di lavorazione di conto lavoro collegato ai relativi ordini di acquisto, una settimana prima dalla data in cui si prevede l'arrivo in stabilimento. In base agli ordini rilasciati, il programmatore effettua una lista delle priorità degli ordini da produrre per il tornitore sulla base appunto degli ordini di acquisto arrivati (Dispatching List). Infatti, il dispatching prevede di ordinare gli ordini rilasciati indipendentemente dalle richieste di produzione fatte dai centri a valle. Il tornitore segue tale programma e spedisce il materiale a Cascine Vica, su richiesta della fase a valle.

Una volta arrivato il materiale in stabilimento OG, il pianificatore esegue il sequenziamento delle code sulle macchine in relazione alle date di consegna di ogni ordine di produzione, cosicché possa iniziare la fabbricazione. Nel reparto automotive, invece, il pianificatore insieme al caporeparto schedula anche gli attrezzaggi oltre che la produzione sulle varie macchine.

3.2.1.1.3 Fabbricazione

L'esecuzione della lavorazione richiede la verifica delle disponibilità relative a:

- Materiale
- Macchina
- Attrezzature/Utensili/Calibri
- Forza lavoro per attrezzaggio e produzione

La *disponibilità del materiale* si effettua in parte attraverso il sistema FIFO WIP. Il sistema in base al metodo FIFO (First In First Out) decide il materiale da allocare sulle macchine comunicando al carrellista la locazione. Il materiale sarà in IN, finché il contenitore processato successivamente non entrerà ugualmente in IN sulla

stessa macchina. Il FIFO viene fatto sul disponibile dell'operazione precedente. Questo sistema è attivato dall'operatore attraverso la funzionalità di chiamata pezzo sul sistema di chiamata a Bordo Macchina. In caso di urgenze, la disponibilità viene verificata per passaparola. Attraverso il sistema FIFO WIP, il personale addetto alla movimentazione può registrare il posizionamento di una data targa di contenitore in una locazione di magazzino oppure in una locazione di bordo macchina. In quest'ultimo caso, il carrellista prima di posizionare il contenitore nella rispettiva locazione IN della macchina, inattiverà le targhe dei contenitori svuotati presenti nella medesima postazione. La targa è l'elemento chiave della tracciabilità del materiale nel flusso WIP dall'inizio alla fine del processo produttivo.

Infatti, lo stampatore del grezzo una volta che ha il materiale pronto per la spedizione a Cervere per il trattamento termico preliminare, ha l'obbligo di stampare un'etichetta per ogni contenitore, riportante la colata e il codice articolo ma non le quantità. La quantità totale sarà indicata sulla bolla di uscita. Ogni pezzo in acciaio è marcato in tale fase dalla lettera di colata. A Cervere, gli stampati saranno pesati per controllarne la quantità in entrata e travasati in appositi cestelli a definire le cariche per i forni. All'uscita dal trattamento, i pezzi saranno immessi in appositi contenitori a cui si abbina la relativa targa, riportante al momento il codice articolo, la lettera di colata, la quantità e il lotto di rintracciabilità. Tali pezzi saranno spediti al tornitore, che dopo la sua lavorazione riporrà i pezzi torniti negli stessi contenitori, ma separati da specifici vassoi "Termoformati"; questo travaso implica che il numero di contenitori in ingresso è inferiore a quello di uscita ed è necessario fornire al fornitore i contenitori vuoti e i termoformati. La quantità max all'interno di ogni contenitore è standard. Una volta che il materiale entra nello stabilimento di Oerlikon Graziano per la lavorazione meccanica, la Targa permetterà l'identificazione del materiale lungo l'intero flusso WIP. Infatti, ad ogni postazione di lavoro è presente una locazione per il contenitore dei pezzi da lavorare in IN e una locazione OUT per il contenitore vuoto da riempire con i pezzi lavorati. Ogni volta che un contenitore in IN si svuota, come detto precedentemente, la targa viene inattivata; mentre ogni volta che arriva un contenitore vuoto in OUT, una nuova targa viene stampata. La durata di vita di una Targa all'interno del sistema corrisponde alla singola operazione e riporta, come prima, il codice articolo, la lettera di colata, il lotto di rintracciabilità e la quantità, ma si aggiunge a questo punto l'informazione riguardante l'operazione precedente, l'operazione corrente e l'operazione successiva a cui il lotto sarà sottoposto. La stampa della Targa con l'indicazione della quantità sul cassone in OUT viene eseguita dall'operaio, prima della lavorazione, nel momento della chiamata del contenitore vuoto. La targa rappresenta il cartellino di produzione in un sistema Pull del tipo Toyota System.

La *disponibilità della macchina* viene verificata dal capoturno, che a fine turno verifica lo stato delle macchine e lo riporta sul tabellone PPM. Tale registrazione è funzionale per l'inizio del turno successivo per l'assegnazione delle risorse alle varie macchine. Infatti, in tale mappa è rappresentato il lay-out dell'impianto e quindi determina la fotografia dello stato delle macchine ogni inizio turno.

La *disponibilità degli attrezzi/utensili/ Calibri* è verificata tramite il sistema informatico.

Gli attrezzi sono i tool utilizzati per il posizionamento del pezzo sulla macchina in modo che quest'ultimo rimanga fermo durante l'intera lavorazione. Gli utensili si distinguono invece in utensili primari e secondari. Gli utensili primari sono quegli utensili che sono gestiti in contabilità come immobilizzi e se ne gestisce quindi la vita residua. La gestione della vita residua è finalizzata al corretto utilizzo per la produzione e la programmazione. Lo scopo è infatti quello di utilizzare in lavorazione solo quegli utensili che hanno una vita

residua che permetta di lavorare l'intera quantità di un lotto entrante in una determinata operazione evitando tempi di inattività della macchina.

Infatti, in caso di mancanza di utensili, il capoturno si occupa di segnalare l'informazione via e-mail al caporeparto, che si occuperà di gestire le priorità delle affilature. Invece, gli utensili secondari sono tutti quegli utensili che sono contabilizzati a costo nel conto economico e sono sostituiti secondo il consumo perché generici, come per esempio le placchette. Infine, i calibri sono gli strumenti di misura per il controllo dimensionale del pezzo. La verifica della disponibilità dei calibri include il controllo della validità della certificazione dello strumento di misura, eseguito attraverso un sistema dedicato (il sistema Calvin), che non interagisce con il sistema di fabbrica. La taratura è di responsabilità della Qualità e viene effettuata mensilmente, attraverso la programmazione suggerita dal sistema dedicato, che però non trasmette notifiche di Alert. Alla fine di tale operazione, sul sistema si indicano:

- Data di ultima calibrazione
- Data di scadenza

Quest'ultima oggi è anche riportata sul calibro stesso.

La gestione della vita residua dell'utensile primario si basa su due parametri inseriti sul sistema, relativi ai mm di tagliente consumati e alle quantità prodotte. Si stabiliscono due range di accettabilità dell'utensile ciascuno relativo ad un determinato parametro. Il responsabile registra sul sistema per uno stesso codice articolo relativo ad un utensile, "m" Serial-Number. Ogni Serial-Number è associato ad un utensile esistente in reparto. Nel momento della chiusura dell'attrezzaggio da parte dell'operatore, quest'ultimo può dichiarare fino a quattro utensili. In questo modo si riesce a collegare il Serial-Number di un utensile ad una targa macchina e quindi alla relativa operazione di lavorazione dei pezzi. Nel momento in cui l'operaio dichiara sul sistema di fabbrica la quantità lavorata per una data operazione, BPCS aggiorna il conteggio dei pezzi prodotti dall'utensile e quindi la sua vita residua.

La *disponibilità della forza lavoro* è gestita dal capo reparto e dal capo turno. Settimanalmente, il capo reparto determina le associazioni uomo-macchina in relazione ai giudizi di idoneità (allergie, sopportazione peso, disabilità varie) e compila il foglio dei turni. Il capo turno dovrà invece registrare le presenze e le assenze, turno per turno, e comunicarle alla Direzione e al capo reparto. Successivamente, si occuperà di aggiornare il tabellone PPM in relazione all'assegnazione uomo-macchina. Per la Gestione delle competenze, abilità/disabilità della forza lavoro, si utilizza la skill-matrix. Questa matrice riporta le informazioni relative a uomo-competenza e uomo-abilità/disabilità. In questo modo si riesce ad assegnare un uomo ad un'operazione rispettando i suddetti vincoli.

Una volta verificate tutte le disponibilità, si assegnano gli operatori alle macchine determinando uno scheduling giornaliero sia delle attività di attrezzaggio sia per quelle di produzione. L'operatore, assegnato all'attrezzaggio di una data macchina, segue i seguenti step:

- Stampa della documentazione collegata all'Odp
 - a. Ciclo
 - b. Autocontrollo
 - c. Scheda Imballo
 - d. Scheda di lavorazione
 - e. Disegno particolare
 - f. Schema di montaggio
 - g. Check-list Benestare

h. Scheda Parametri

- Prelievo dell'attrezzatura da montare
- Recupero del materiale necessario per la lavorazione
- Smontaggio dell'attrezzatura dell'operazione precedente
- Immagazzinaggio dell'attrezzatura dell'operazione precedente
- Montaggio dell'attrezzatura per il nuovo part number
- Caricamento del part program sulla macchina
- Esecuzione del primo pezzo
- Misure previste dall'Autocontrollo e relative registrazioni
- Compilazione della richiesta di Benestare
- Trasferimento del pezzo al collaudo

Nel momento in cui il pezzo viene portato al laboratorio Qualità, l'attrezzaggio è completato ma non chiuso. Infatti, qualora il controllo del pezzo risultasse negativo, l'attrezzista deve riaprire l'attrezzaggio sulla macchina e rieseguire nuovamente la lavorazione del primo pezzo e portarlo nuovamente al collaudo per il controllo. L'attrezzaggio si chiude definitivamente quando la Qualità rilascia il Benestare del primo pezzo.

La schedulazione della lavorazione dei vari Odp identifica le risorse del reparto da impegnare, sia su una singola macchina, una cella o gli operai da impegnare. Un operaio può essere assegnato ad una macchina singola o ad una cella per realizzare la lavorazione di un Odp, oppure può essere assegnato a più macchine singole per realizzare in parallelo più Odp contemporaneamente. Quest'ultima modalità viene definita assegnazione in abbinamento. L'abbinamento, definito nel paragrafo 1.1, ha un tempo ciclo ben definito e assegnato dall'ufficio Tempo e Metodi, che si occupa del monitoraggio della produzione. Tale tempo ciclo viene definito a partire dai tempi cicli delle singole operazioni, e rappresenta il tempo medio per la produzione di un pezzo in abbinamento.

Una volta schedulate le lavorazioni dei singoli Odp e assegnati gli operai ad una macchina, l'operaio inizia la lavorazione seguendo gli step successivi:

- Esegue le verifiche di controllo della postazione di lavoro e dei DPI necessari
- Visualizza One Point Lesson (Opl)
- Inizia la lavorazione dei pezzi
- Esegue l'autocontrollo previsto
- Separa eventuali pezzi difettosi
- In caso di fermata per guasto chiama l'operatore/capo turno

L'Autocontrollo è un documento cartaceo che documenta le misure che l'operaio deve effettuare durante la produzione dei pezzi e con quale frequenza. È il documento operativo che nasce a partire dal Piano di Controllo. Tali strumenti rientrano nell'ambito del controllo della Process Capability ed è di responsabilità della Qualità, di cui parleremo nel seguito.

Terminata la produzione dei pezzi schedulati, l'operaio chiude l'attività di lavorazione e dichiara i pezzi versati, senza distinguere tra pezzi buoni e difettosi. L'operaio ha infatti soltanto la delega di decidere quali pezzi bloccare e non far avanzare in produzione ma non può qualificare un pezzo come uno scarto oppure un pezzo da rilavorare. Tale decisione è delegata, come vedremo successivamente, all'operatore che durante l'attrezzaggio qualifica i pezzi sospesi ed effettua le eventuali rilavorazioni. Tale attività viene effettuata prima della fine del turno e i pezzi rilavorati sono collegati nuovamente al lotto di appartenenza, a meno che questi non superino in numero i 50 pezzi. In quest'ultimo caso si apre un'attività a sé stante di rilavorazione dei pezzi.

Le Opl sono anch'essi documenti cartacei, raccolti in un Hand Book a bordo macchina, che gli operai hanno l'obbligo di visualizzare prima della lavorazione del pezzo, in modo che prestino attenzione alla lavorazione di alcune parti critiche del pezzo e/o al posizionamento dello stesso sulla macchina, onde evitare eventuali non conformità. Infatti, vi è l'obbligo da parte del capo reparto di certificazione che un lavoratore su di una certa macchina, abbia visualizzato le Opl. Nel momento in cui termina la lavorazione, a fine turno, l'operaio oltre a dichiarare le quantità lavorate, come detto precedentemente, registra sul sistema di fabbrica il tempo speso nella lavorazione e le eventuali ore spese per attività di reparto, inserendone la causale.

3.2.1.1.4 Lo scarto in officina.

L'operaio, mentre esegue la lavorazione, può riscontrare un difetto dimensionale o visivo del pezzo. In questo caso può decidere di ripassarlo. Se il difetto sussiste, egli segrega con un cartellino rosso il pezzo in un contenitore rosso, posizionato a bordo macchina. Ogni macchina ha il suo contenitore rosso.

Sul cartellino, l'operaio registrerà la targa macchina, il codice articolo, il difetto e la causale di difettosità.

Al prossimo attrezzaggio della macchina, l'operatore prima di smontare l'attrezzatura decide se rilavorare o meno il pezzo segregato dall'operaio precedentemente oppure se confermare lo scarto. L'iter di approvazione dello scarto prevede di seguire cinque livelli, che sono raggruppabili in due macro-livelli.

Lo scarto viene, infatti, confermato prima dai responsabili della Produzione e infine dalla Qualità. Al termine di tale iter di approvazione, si crea la bolla di scarto e il pezzo viene slegato dal suo Odl e cancellato dal sistema. Di conseguenza, su BPCS, i pezzi, posti in sospenso dall'operaio, avanzano in produzione nelle fasi successive, finché lo scarto non viene approvato. Non vi è la tracciabilità di questi pezzi.

3.2.1.1.5. Il guasto

Nel momento in cui una macchina si ferma, l'operaio segnala il guasto al capo turno. Quest'ultimo chiama uno specialista che esegue una prima diagnosi sullo stato della macchina. Se la macchina non può essere riparata, il capoturno apre un ticket di manutenzione sul sistema Remedy, funzionale a tale scopo. La manutenzione esegue al più presto un sopralluogo per verificare la possibilità di riparare il guasto in tempi brevi, piuttosto che richiedere ulteriori verifiche e tempi lunghi.

In quest'ultimo caso, il capoturno assegna l'operaio ad un'altra lavorazione e schedula lo smontaggio della macchina, segnata come "In stato di Manutenzione". L'OdP può essere schedulato su di una macchina alternativa, se esistente. In caso contrario viene aperto un extra-ciclo con una fase di conto-lavoro, per completare l'esecuzione dell'intero OdP. Ogni macchina alternativa, infatti, deve essere validata in relazione alla sua Process Capability. Nel momento in cui la manutenzione termina la riparazione della macchina, invia un segnale al capoturno che deve confermare lo stato della macchina. Assegnando la macchina ad una nuova lavorazione, il capoturno verifica l'efficacia della riparazione e l'efficienza della macchina, decidendo se confermare, rifiutare o accettare la macchina con performance ridotte. Se invece il guasto può essere subito riparato, il capoturno decide se far attendere l'operaio o riassegnarlo ad altra attività; comunque quando la macchina può ricominciare a produrre continuerà l'OdP che era stato interrotto.

Nel caso in cui la produzione può ripartire, il capoturno e il manutentore decidono se far eseguire nuovamente il Benestare di avvio produzione.

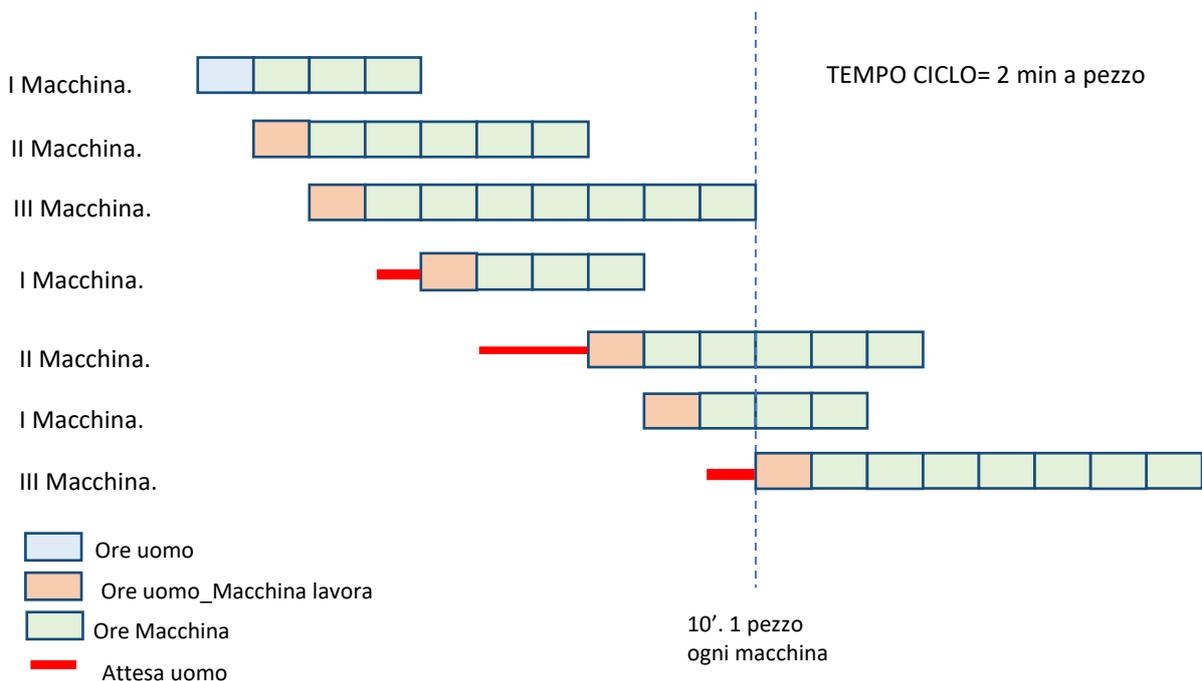
Nel caso di macchine abbinata si chiude la lavorazione per tutte. Si può scegliere una macchina alternativa oppure si può scegliere di lavorare con le macchine rimanenti. In ogni caso si riapre la lavorazione per le macchine scelte con un differente codice di abbinamento.

Infine, in caso di cella, la lavorazione viene chiusa per l'intera cella. Si può decidere di lavorare solo con le rimanenti macchine della cella oppure scegliere di lavorare in abbinamento o dare in C/L.

3.2.1.1.6 Monitoraggio della produzione

Il monitoraggio della produzione è di responsabilità dell'ufficio Tempi&Metodi. In particolare, tale ente si occupa di assegnare e monitorare i tempi cicli delle singole macchine, delle celle e delle macchine in abbinamento. Il tempo ciclo è il tempo necessario alla produzione di un singolo pezzo dalla macchina; esso è la somma delle ore uomo e delle ore macchina. Tramite il tempo ciclo si riesce a determinare il numero di pezzi che un operaio dovrebbe produrre sulla macchina e quindi a monitorare l'efficienza del lavoratore. Il tempo ciclo è inoltre fondamentale per il calcolo dell'OEE. In caso di macchine in

Fig.9 Macchine in abbinamento



abbinamento il tempo ciclo complessivo è la somma del tempo ciclo e del tempo di attesa del singolo operaio che lavora su più macchine in parallelo; in caso di cella, invece, la cadenza è dettata dalla macchina più lenta.

La macchina è contrassegnata da tre tipi di "etichette", in relazione al suo tempo ciclo:

- P (Preventivo). Il tempo ciclo è calcolato analiticamente;
- S (Stimato). Il tempo ciclo è una stima determinata per similitudine;
- C (Consuntivo). La produttività della macchina è monitorata a consuntivo. Non si conosce il tempo ciclo preventivato o stimato (lotto pre-serie), oppure la macchina ha prodotto meno pezzi del previsto/stimato.

L'attività dell'analista dell'ufficio UTM ha come input le macchine registrate con un tempo ciclo a consuntivo. Se questo non è noto, egli dovrà inserire il tempo ciclo reale della macchina, andando a prendere il tempo sulla macchina stessa, tramite cronometro. Al contrario, se tale tempo è noto, l'analista verifica le dichiarazioni degli operai relative alle perdite di lavorazione e alle attività improduttive eseguite.

Le attività improduttive o economie sono dichiarazioni che esprimono anche le cause per cui una configurazione di macchina ha avuto una produttività più bassa in un arco temporale fissato (il turno), ma non sono legate alla macchina ma bensì alla singola persona. Oggi, sia le perdite di lavorazione che le attività improduttive sono dichiarate come economie. Infatti, il tempo speso nelle attività di economia determina, da un lato, il tempo di indisponibilità della macchina, utile per il calcolo dell'OEE; e dall'altro lato, esse rappresentano un metro di giudizio per la produttività del personale. Oggi, queste dichiarazioni vengono fatte dall'operaio stesso, a fine turno, sul sistema di fabbrica. In realtà, alcune di esse vengono dichiarate dall'operaio su documenti cartacei e poi inseriti manualmente dall'analista; tra questi vi è anche il cosiddetto Marcia-Macchina, che riporta la Manutenzione Programmata, il tempo di guasto, le micro-fermate, e la quantità dei pezzi di scarto e dei pezzi prodotti.

L'inserimento del tempo ciclo preventivato avviene in fase di inserimento di un nuovo prodotto e poi continuamente monitorato e aggiornato, in relazione alle prestazioni della macchina, o delle combinazioni di macchine

3.2.1.1.7 Criticità ed opportunità di miglioramento.

Criticità	Opportunità di miglioramento
In accuratezza delle quantità nel WIP: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Non tracciabilità dei pezzi NO OK; ▪ Quantità dichiarate errate; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestione dell'OdP pari alla quantità avanzata ▪ Dichiarazione dei pezzi OK e pezzi NO OK ▪ Tracking dei pezzi NO OK ▪ Controlli sulle quantità dichiarate alla chiusura dell'operazione
Performance della macchina monitorata con le dichiarazioni: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Distinzione non formale tra perdite di lavorazione ed economie; ▪ Tempi macchina dichiarati dall'uomo (fenomeno dell'auto-regolazione); ▪ Tempi di set-up standard (tempi medi, non tempi effettivi); ▪ Dichiarazione di tempi a consuntivo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempi effettivi ricavati dal MES in relazione a: <ul style="list-style-type: none"> ○ Tempo di lavorazione ○ Tempo di Set-up ▪ Dichiarazione delle sospensioni di lavorazione con opportuna causale ▪ Dichiarazione delle economie a fine turno ▪ Ricavare il tempo macchina dalla macchina stessa
In accuratezza dell'inventario e ritardi nelle consegne: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dichiarazione di quantità inaccurata nei contenitori; ▪ Quantità dichiarate errate; ▪ Registrazione della quantità lavorata come quantità avanzata all'operazione successiva (richiedente). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tracking del contenitore ▪ Versamento ad ogni completamento del contenitore (o chiamata del contenitore) ▪ Dichiarazione dei pezzi OK e pezzi NO OK ▪ Recupero dei NO OK prima della chiusura della bolla
Applicativi differenti per: <ul style="list-style-type: none"> ▪ la gestione delle ubicazioni e la stampa della Targa (cartellino di produzione o di prelievo) ▪ la registrazione delle dichiarazioni ▪ la chiamata a Bordo macchina 	Un unico applicativo integrato con il sistema gestionale ERP.

Tab.3. Criticità ed opportunità di miglioramento: cluster della lavorazione meccanica

Gestire un OdP significa gestire il flusso produttivo a livello di fabbrica, in modo che lo stato avanzamento coincida con ciò che si è programmato. Il monitoraggio di un ordine di produzione permette di ridurre i

tempi di attesa; ciò significa mantenere un flusso di produzione teso e quindi ridurre i metri quadri occupati in magazzino. La tracciabilità del contenitore permette di monitorare le giacenze, permettendo il matching tra l'inventario fisico e contabile.

È importante mantenere integro l'ordine di produzione in modo da rispettare le date di consegna, senza creare anomalie nel flusso produttivo.

Infine, derivare le fermate, i tempi di set-up e di inattività della macchina direttamente da quest'ultima piuttosto che dall'uomo permette un calcolo migliore dell'OEE.

3.2.1 Assemblaggio

Il modello del cluster dell'assemblaggio può essere descritto per differenza dal precedente.

Una prima distinzione, come si è detto, è quella relativa alla linea e all'isola di montaggio.

La linea di assemblaggio è costituita da più stazioni di assemblaggio in sequenza e la cadenza della linea è dettata dal tempo ciclo dell'operazione più lenta, qualora i tempi di attesa dei pezzi prodotti a valle o a monte di una stazione non siano adeguatamente assorbiti. A questo scopo, le isole di assemblaggio vengono utilizzate per far da rifornimento alle stazioni più veloci della linea e i gruppi assemblati in tali aree vengono collegati manualmente all'OdP del complessivo, che si sta assemblando.

Un pezzo sciolto non conforme è etichettato con il cartellino rosso, riportante difetto e causale di difettosità, ma il sotto-gruppo assemblato non viene collaudato, a differenza del complessivo assemblato sulla linea.

La linea è identificata da una o più targhe, relative alle stazioni di assemblaggio, ed una targa relativa a quella di collaudo. Molte delle linee sono dedicate ad un particolare codice articolo e non è necessario il set-up con rilascio di benessere. Infatti, il set-up effettuato su tali linee è un semplice attrezzaggio di cambio tipo. Per questo motivo, non viene eseguita alcuna dichiarazione relativa al set-up, ma al contrario questo viene registrato attraverso una causale di perdita di lavorazione, che l'operaio dichiara a fine turno.

L'avanzamento in produzione si ha attraverso la dichiarazione dell'operaio dei pezzi lavorati in ogni stazione. Se un gruppo semi-assemblato viene lasciato a bordo macchina, questo non viene dichiarato nella fase successiva di assemblaggio. Tali informazioni si ritrovano sull'host della linea ma non nel sistema informatico. Soltanto una volta che il gruppo assemblato ha attraversato l'intera linea e passa il collaudo, questo sarà registrato a sistema, effettuando lo scarico dei componenti per backflush dal magazzino materiali. Non esiste una gestione del WIP, e la chiamata del materiale sulla linea viene eseguita tramite kanban oppure su chiamata.

3.2.1.1 Rilascio degli Ordini di lavoro (Odl)

Nel cluster di assemblaggio, il rilascio dell'Ordine di lavoro si ha mensilmente con la pianificazione del richiesto Cliente nell'omonimo file excel. L'Odl non viene suddiviso in sotto lotti. Il file Richiesta Clienti pianifica gli ordini cliente per il mese corrente, suddiviso in settimane, definendo le date di spedizione, e determina una pianificazione previsionale per i successivi tre mesi. Il file è aggiornato giornalmente per i gruppi assemblati già spediti e il richiesto ancora da soddisfare, ed è l'input della Produzione per la definizione della forza lavoro e l'assegnazione del personale sulle linee. La quantità montata è un'informazione fondamentale per tenere traccia dell'impegno del materiale relativo ad un Odl, in relazione ai gruppi pronti per la spedizione ma ancora presenti in stabilimento. La quantità collaudata, definita come conforme, è la quantità in relazione alla quale si ha l'impegno effettivo del materiale su BPCS e determina

l'avanzamento effettivo dell'ordine. Il richiesto ancora da soddisfare per ogni cod. articolo è l'input per l'aggiornamento del file excel relativo al Piano di Assemblaggio.

Per ogni codice articolo, si distribuisce il richiesto cliente ancora da soddisfare nei giorni del mese corrente. In questo modo sulla base della giacenza a Luserna ed esplodendo la distinta base, si determina il fabbisogno per ogni componente del prodotto finito. Il programma di fornitura aggiornato viene spedito a Cascine Vica e Sommariva, per la fornitura dei componenti del complessivo.

Tale procedura viene utilizzata soltanto per i componenti provenienti dagli stabilimenti Oerlikon; i restanti componenti si gestiscono su BPCS. MRP definisce gli ordini di acquisto, che vengono analizzati, eventualmente modificati, e confermati da parte del pianificatore, che li rilascia. La gestione della fornitura sul sistema si ferma in tale fase del processo. Di conseguenza l'ordine viene inviato al fornitore che può modificarlo senza alcun avviso/allarme per il pianificatore.

3.2.1.2 Fabbricazione

La produzione sulla linea inizia dopo aver effettuato la verifica della:

- Disponibilità del materiale
- Disponibilità e assegnazione del personale.

La *disponibilità del materiale* è garantita dalla pianificazione di stabilimento. Le eventuali criticità sulla disponibilità del materiale sono comunicate dalla logistica, il giorno precedente, per la produzione del giorno successivo. Mentre in caso di assenza del materiale sulla linea nel turno di lavoro, la comunicazione si ha tramite il capo turno, durante la procedura delle consegne, oppure tramite il rifornitore di linea.

La *disponibilità e assegnazione del personale* sulle linee è effettuata dal capo reparto e dal capo turno. Il capo reparto determina le assegnazioni uomo-linea di assemblaggio in relazione ad una matrice delle competenze e delle abilità/disabilità. Il capo-turno verifica le presenze e le assenze per la giornata di lavoro. In base alla disponibilità del materiale e del personale, sulla base dell'ordine cliente ancora da evadere, pianificato per il giorno della settimana corrente dalla logistica, il capo-reparto cerca di saturare le risorse. In particolare, sulla base del file "Richiesto Cliente", determina il richiesto della giornata per ogni linea, schedula gli Odl delle linee, e tramite un coefficiente di impiego (produttività uomo) ne definisce l'equipaggio.

Si è detto che si hanno linee sempre dedicate ad un particolare codice articolo e linee non dedicate. Per queste ultime è l'operaio a eseguire il set-up di cambio tipo, secondo l'articolo che deve essere assemblato. La registrazione dell'Odl da eseguire sul sistema su di una linea non dedicata è assegnata al responsabile di linea, che a inizio turno registra sul sistema il codice articolo da assemblare. L'operaio assegnato ad una linea dovrà sempre effettuare il log-in sulla macchina per iniziare l'operazione. In questo modo, inizia il conteggio dei gruppi assemblati per quell'operazione legato alla matricola dell'operaio stesso, sull' host di cui la macchina è dotata. Per lo stesso motivo, a fine di ogni operazione, l'operaio deve effettuare il log-out. Vi è tracciabilità matricolare sull'host della macchina.

Però non vi è integrazione tra host e Sistema di Fabbrica e quindi per la valutazione dell'efficienza del personale, è necessario che l'operaio a fine turno dichiari sul sistema informatico le seguenti informazioni:

- Articolo
- Targa-linea
- Operazione
- Quantità montata
- Causali di economia

La modalità di equipaggio è calcolata in automatico dal sistema.

Tra le causali di economia, vi è il disagio linea corrispondente alla situazione in cui sulla linea vi è insufficienza di personale. In tal caso la dichiarazione va validata dal responsabile di linea. Tale dichiarazione è ripetuta per ogni operazione che l'operaio esegue sulla linea, durante il suo turno.

All'inizio di ogni turno, il responsabile di linea raccoglie i seguenti dati dall'host della macchina e li comunica al capoturno, che completa il file giornaliero di produzione:

- Quantità montata
- Quantità collaudata
- Quantità scartata.

L'attività di lavaggio viene attivata su chiamata dalla linea, ma non viene legata all'ordine di produzione.

L'operaio, registratosi sulla macchina a fine turno, dichiarerà:

- Targa macchina
- Operazione
- Codice art.
- Quantità

Lo stesso vale per l'attività di verniciatura.

Infine, per l'attività di controllo e rifinitura degli spessori, essa non è collegata all'Odp/Pdl ma viene attivata su richiesta dalla linea. Infatti, attraverso la vista del cartellino "Richiesta spessori", si effettua tale operazione. Tutte queste operazioni hanno un proprio ciclo, ma non rientrano nel ciclo dell'articolo assemblato. L'operazione di lavaggio ha come tempo ciclo quello della macchina più performante, e l'operaio sarà valutato sul tempo ciclo del cartellino di produzione relativo alla targa macchina che dichiara. Il ciclo dei lapidelli invece ha come tempo ciclo, il tempo medio relativo ai vari spessori.

Infine, per quanto riguarda l'assemblaggio relativo ai lotti pre-serie, il flusso del processo è il medesimo con le rispettive dichiarazioni. Tutto parte infatti dal sequenziamento di un ordine di produzione sulla linea, a seguito di una richiesta del Cliente. I tempi delle fasi vengono stabiliti prima in via teorica e poi verificati, tramite rilevazione pratica, da Tempi&Metodi.

3.2.2.2.1 Lo scarto in officina

Nella gestione degli scarti si distingue tra:

- pezzo sciolto
- sottogruppo assemblato

Quando nella fase di assemblaggio, l'operaio si accorge di un difetto visivo o dimensionale di un pezzo sciolto, quest'ultimo insieme al responsabile di linea decide se scartarlo. Non vi è possibilità di ripassare il pezzo. In caso di scarto, l'operaio segrega il pezzo a bordo macchina con un cartellino rosso, riportante articolo, la data, l'operazione e la causale. La suddetta causale è però semplicemente una descrizione libera. L'addetto Qualità ogni giorno raccoglie i pezzi segregati sulla linea, verificando la quantità scartata per codice articolo su di un registro compilato nel momento della segregazione dei pezzi.

Lo scarto viene analizzato e se confermato si rilascia la bolla di scarto

Oggi, ad ogni gruppo assemblato è associato un assembly-number sulla linea. Nel momento in cui il gruppo assemblato arriva nella fase collaudo, si hanno due scenari:

1. il gruppo montato è OK. In tal caso all'articolo viene associato il serial number e i componenti vengono scaricati in backflush.
2. Il gruppo montato è non OK ed il pezzo viene mandato in area Rework, contrassegnato esclusivamente dall'assembly number.

In ogni area di Rework, una lista di componenti del sottogruppo, che sono sempre da scartare (viti, bulloni,..) poiché non riusabili, sono scaricati dal magazzino tramite codice a barre e scartati.

Il Reworker esegue lo smontaggio ed effettua un'analisi dettagliata del difetto.

Nel caso in cui il sottogruppo sia riparato, quest'ultimo torna in linea nella fase precedente in cui si è riscontrato il difetto e viene sottoposto nuovamente al collaudo.

In caso contrario, i pezzi disassemblati conformi ritornano in linea o in magazzino, mentre i pezzi non conformi sono restituiti al fornitore oppure direttamente scartati.

3.2.2.2.2 Il guasto.

In caso di fermo macchina per guasto, il responsabile di linea o l'addetto esegue una chiamata su Remedy.

Di conseguenza, tutta la linea si ferma, ad eccezione che nei seguenti casi:

- Guasto del banco prova
- Fermo di una postazione che può essere bypassata nell'assemblaggio
- Fermo breve

Il ticket avrà un orario di apertura, mentre l'orario di chiusura si avrà soltanto a fine dell'intervento.

Oggi sulla base dell'analisi dei dati sugli interventi registrati su Remedy, si riesce tramite un applicativo a determinare sia la manutenzione preventiva che predittiva di ogni postazione e banco prova.

3.2.2.3 Monitoraggio della produzione

Si distinguono tre attività:

- Le attività di pre-montaggio, come la lavorazione degli spessori e il lavaggio dei componenti.
- Le attività di montaggio
- Le attività post-montaggio come la verniciatura per l'assemblaggio degli assali.

Per le attività di lavaggio si crea all'interno della distinta un codice phantom, per indicare quali componenti di un sottogruppo o più sottogruppi, devono essere sottoposti a tali attività.

Oggi, sul sistema, si riesce a ricavare in automatico solo il tempo ciclo dell'operazione di montaggio dell'end item. Invece, per conoscere il tempo ciclo complessivo si dovrebbe andare ad esplodere la distinta base, sommando i tempi cicli di ogni sottogruppo collegato, e tenendo in considerazione gli eventuali phantom creati.

Il tempo ciclo registrato a sistema è standard per tutte le macchine della linea, corrispondente a quello della cadenza della linea, data dal tempo ciclo più lungo tra quelli delle varie operazioni costituenti la sequenza di assemblaggio e tenendo in considerazione la modalità di equipaggio completa.

Se un'operazione può essere eseguita da un operaio o da due, su BPCS c'è un solo ciclo. Il monitoraggio della produzione si ha attraverso la doppia dichiarazione di ognuno di questi, che dichiareranno entrambi i gruppi lavorati su quell'operazione, ma in un tempo minore. A livello di monitoraggio dell'efficienza non cambia nulla, si ha soltanto la dichiarazione di una quantità doppia sull'operazione. Questo potrebbe essere un problema soltanto nel momento in cui si decide di passare alla modalità di scarico dei componenti lavorati dal magazzino, operazione per operazione, e non oggi che si registrano i conformi e si scaricano i componenti ad essi collegati soltanto nell'operazione finale. Per quanto riguarda il monitoraggio dell'efficienza, il tempo impiegato dall'operaio è confrontato con il tempo della singola operazione riscontrabile sul cartellino di produzione o Sepia. Infatti, la valutazione della performance produttiva è sul singolo individuo e non sulla squadra.

Il team può essere composto da 4 o 6 persone, ma in relazione ai tempi ciclo, sul sistema non si ha una distinzione tra le diverse modalità di equipaggio con cui la linea lavora. Tale distinzione è invece riscontrabile

ancora una volta sul cartellino di Produzione. Il cambio di modalità di equipaggio può avvenire anche durante la lavorazione. Ciò si riesce a riscontrare dall'analisi delle dichiarazioni dell'operaio, a consuntivo, ma non esiste una causale di cambio equipaggio.

Tutto ciò è vero ad eccezione della linea Mercedes che ha due tempi cicli registrati a sistema:

- Tempo ciclo per 4 postazioni
- Tempo ciclo per 6 postazioni

Si gestiscono le attrezzature tramite distinta base dell'articolo.

3.2.2.4. Criticità ed opportunità di miglioramento.

Criticità	Opportunità di miglioramento
In accuratezza del magazzino Non tracciabilità dei sotto-gruppi collaudati	Tracciabilità dei sotto-gruppi NO OK in area Rework
Schedulazione Odi sulle linee manuale	Factory scheduling
Assegnazione equipaggio manuale	Gestione dell'equipaggio attraverso il sistema
Documenti cartacei per la dichiarazione delle attività di ripassatura fuori linea e validazione	Registrazione e validazione sul sistema
Host della macchina e Sistema di Fabbrica non integrati	Integrazione host-MES e calcolo di KPI standard

Tab.4. Criticità ed opportunità di miglioramento: cluster dell'assemblaggio

I tempi di lavorazione e di fermo macchina, come le quantità prodotte per operazione, sono riscontrabili sull'host della linea.

3.2.2 Trattamento termico

Nello stabilimento di Cervere si realizza il trattamento termico dei pezzi, sia iniziale che finale. Per la gestione generale e per monitorare lo stato di avanzamento di produzione si utilizza un software customizzato chiamato ProGest. Su tale applicativo si determina di volta in volta, ad ogni entrata di materiale nello stabilimento, il ciclo di trattamento più adeguato. L'unità monitorata è la carica degli impianti. La carica è una quantità di pezzi, dello stesso materiale e della stessa colata, ma anche di articoli diversi, che sono trattati in un impianto in un certo momento.

Il trattamento può essere discreto, cioè tratta una certa quantità di pezzi per volta, attendendo il tempo necessario al completamento del processo per tutta la carica, oppure può essere continuo, cioè i singoli pezzi o le unità di contenimento attraversano l'impianto continuamente; ciascun pezzo o unità di contenimento (UdC) attraversano l'impianto in un tempo definito; ma il lotto si completa quando l'ultimo pezzo o UdC termina il trattamento.

Attualmente i plant spediscono i pezzi a Cervere con un documento di trasferimento (DDT). Per ogni DDT, comprensiva di più contenitori e quindi più targhe, si associa un'unica Targa ad un unico foglio di lavoro. La carica è definita dal programmatore come l'insieme dei fogli di lavoro (Targhe) che possono seguire lo stesso trattamento termico. Di conseguenza, ad una carica sono legate più Targhe o fogli di lavoro, ma ad una Targa è associata un'unica carica. In BPCS, i lotti risultano al trattamento termico a Cervere, ma non c'è nessuna informazione di avanzamento. Il ciclo di lavoro del pezzo lavorato a Cascine Vica in BPCS identifica

il processo di trattamento come un'unica operazione, ma in realtà il ciclo del trattamento termico è molto più articolato. Le operazioni del trattamento a Cervere, sono gestite attraverso un lead time standard. Questo genera una perdita di tracciabilità, in quanto chi spedisce non può sapere lo stato di avanzamento dei pezzi e quindi la data in cui questi saranno disponibili.

Una particolarità dello stabilimento di Cervere è la presenza di due tipologie di forni:

- Forno continuo: in cui si può processare l'intero lotto o carica. Di conseguenza si può dichiarare l'intera quantità sulla operazione di controllo officina posta alla fine della linea. La dichiarazione dei pezzi conformi è effettuata dopo il controllo d'officina, una volta che l'ultimo pezzo dell'ultima carica è stato controllato.
- Forno a camera: in cui il lotto deve essere spezzato in diverse cariche. Di conseguenza si può dichiarare solo la quantità della carica processata in quel momento. Nel caso in cui la quantità residua del lotto sia inferiore a quella della carica, non è possibile sapere quando il lotto verrà terminato.

In relazione all'avanzamento di produzione, ProGest attualmente non scambia dati con BPCS. Infine, nel momento in cui il pezzo viene inviato a Cervere per il trattamento termico finale e poi spedito agli stabilimenti Graziano per le operazioni finali. Oggi Cervere, non ha visibilità delle code degli OdP in ingresso nello stabilimento.

3.2.2.1. Criticità ed opportunità di miglioramento.

Criticità	Opportunità di miglioramento
Lead time di attraversamento del processo standard	Visibilità delle code in entrata allo stabilimento Visibilità delle code in uscita
In accurata analisi del carico di lavoro sui centri di lavoro	Capacity Requirement Planning
In accurata raccolta dati	KPI standard tra gli stabilimenti

Tab.5. Criticità ed opportunità di miglioramento: cluster del trattamento termico

Lo stabilimento lavora per commessa e ProGest non effettua un'analisi del carico di lavoro su ogni operazione del ciclo (variabile), mentre sul ciclo di BPCS è indicato un'unica operazione (legata ad un workcenter) su cui effettuare tale analisi, che rimane tuttavia vincolata ai soli articoli processati per la Graziano.

4 TO-BE Analysis

4.1 Visione Globale

L'obiettivo è monitorare l'avanzamento dell'ordine di lavoro lungo tutto il flusso produttivo. In generale, l'introduzione dell'ordine di produzione ha lo scopo di permettere, in una seconda fase, la schedulazione dei job di fabbrica, in modo da ottimizzare i tempi di produzione e saturare le risorse. Tale schedulazione verrà fatta per ogni operazione del ciclo del prodotto finito, collegata ad un work-center, in modo da definire le code degli Odl per le macchine dello stabilimento e all'ingresso dello stabilimento di Cervere.

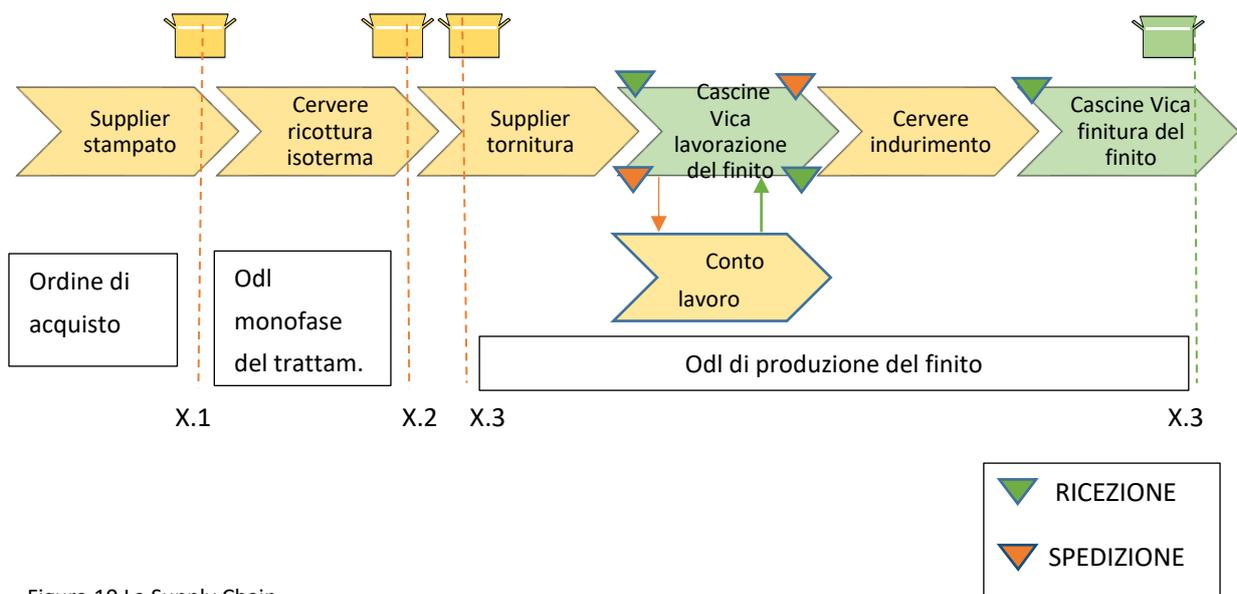


Figura.10 La Supply Chain

Si è detto che il Master Production Schedule sulla base degli ordini clienti e sulla previsione della domanda determina la quantità del prodotto finito (X.3) e la data/periodo in cui lo stesso deve essere disponibile. Il punto di disaccoppiamento del materiale nel flusso produttivo si trova alla fine della fase di tornitura, questo coincide con il punto di disaccoppiamento informativo, vale a dire il punto di penetrazione dell'ordine cliente. Infatti, la fase di tornitura viene alimentata per soddisfare la domanda di un mese e la stessa produce una quantità di semilavorato pari a soddisfare la domanda dello stesso periodo. Invece, successivamente, la fase a valle della tornitura tirerà da questa una quantità di produzione funzionale a soddisfare l'ordine cliente nel periodo settimanale (JIT). Di conseguenza in base alle quantità da produrre dell'X.3 determinata dall'MPS, si determina il carico di lavoro complessivo per tutti gli stabilimenti, verificandone la capacità in termini di ore tempo ciclo (RCCP) e l'MRP definisce delle previsioni sugli ordini di acquisto dei suoi componenti, con un orizzonte di 6 mesi e suddivisi mese per mese, e degli ordini di lavoro. La pianificazione dell'MRP degli ordini di lavoro viene confermata mese per mese. Nella seconda fase del progetto, con l'implementazione del CRP, in relazione agli ordini di produzione rilasciati su base mensile, si determinerà per stabilimento il carico dei centri di lavoro. La programmazione degli ordini di lavoro sui rispettivi centri di lavoro verrà eseguita settimanalmente, in relazione al carico di lavoro. La fase di tornitura si ritrova nel ciclo di lavoro dell'X.3 per quanto riguarda l'ingranaggio e produce la quantità spinta nel flusso ma invia soltanto la quantità richiesta dalla fase a valle. Cervere è gestito come un conto-lavorista per lo stabilimento OG. Nella prima parte del flusso produttivo, il pezzo entra a Cervere come X.1 ed esce come X.2, spingendo materiale nel flusso; invece nella seconda parte, il trattamento di indurimento dovrà tirare la fase di monte e le priorità dovranno essere tirate dalla fase di valle. Infine, con l'implementazione del Factory Scheduling, sulla base degli ordini resi visibili per settimana in base alla disponibilità di materiale, si effettuerà la schedulazione degli ordini di produzione e di attrezzaggio, giorno per giorno, su ogni work-center e macchina dello stabilimento.

L'ordine di lavoro di cui il Mes andrà a gestire l'avanzamento è soltanto quello relativo al livello X.3 della distinta base (prodotto finito). In tal senso, l'applicativo raccoglierà i dati di avanzamento dalla fabbrica, sia a Cascine Vica che a Cervere, per trasferirle all'Erp (LX).

Per il cluster della lavorazione meccanica, i principali cambiamenti introdotti sono la gestione di un ordine di produzione, corrispondente alla quantità avanzata. Ciò permette di migliorare la rintracciabilità del materiale lungo il flusso produttivo e avere una migliore visibilità sul WIP. Utilizzare un OdP pari all'unità di avanzamento permette di tracciare tale oggetto, conoscendo le disponibilità di semilavorato ad ogni fase del ciclo, utile successivamente per le attività di programmazione a capacità finita e di schedulazione. Il Mes gestirà l'avanzamento del WIP, in relazione alle sole quantità OK avanzate, per ogni operazione del ciclo, e le quantità NOK saranno tracciate in un magazzino sospesi, di responsabilità della qualità. Per il cluster del trattamento termico si definiscono soltanto alcune operazioni fondamentali all'interno del ciclo, in cui raccogliere tali dati.

Nell'ambito della lavorazione meccanica, il Mes raccoglierà i dati dalla fabbrica in ottica di monitoraggio della produzione, secondo la logica della Lean Manufacturing. Il principale cambiamento introdotto è la registrazione delle attività produttive e improduttive, secondo un'ottica ad eventi. La possibilità di visualizzare gli intervalli di tempo intercorrenti tra due eventi qualsiasi ti permette di effettuare delle azioni correttive mirate e ridurre gli sprechi. La riduzione delle attese, come già citato precedentemente, permette di ridurre i buffer inter-operazionali.

In questo capitolo, si andrà di seguito a descrivere il modello dichiarativo, funzionale non solo alla gestione della fabbrica e al monitoraggio della produzione ma anche all'ambito generale del progetto ERP, relativo alla gestione dell'intera Supply Chain.

Infine, in relazione al modello dichiarativo si andrà a descrivere il Reporting.

Il cluster dell'assemblaggio rappresenta un discorso a parte in tale ambito, in quanto relativo alla produzione di un complessivo, di cui il livello X.3 è un componente. Si lancerà un ordine di assemblaggio mensile, e l'avanzamento di tale ordine si otterrà, raccogliendo i dati direttamente dall'host della linea, dove presente, o dichiarandoli direttamente su LX, in caso contrario.

4.2 Modello Dichiarativo

4.2.1 Lavorazione Meccanica

Nella descrizione del modello dichiarativo, si distingue tra l'attività di set-up e l'attività di lavorazione in senso stretto. In ciascuna delle due attività si ha la distinzione di tre casistiche, che si differenziano in relazione alla decisione di assegnare l'operaio e l'operatore ad una macchina singola, ad un abbinamento di macchina e ad una cella. Per il caso dell'assegnazione dell'operatore e successivamente dell'operaio ad una cella, lo schema del modello dichiarativo è diverso tra l'attività di set-up e l'attività di lavorazione. Infatti, nell'attività di set-up l'operatore deve registrare una dichiarazione per ogni macchina su cui esegue la sua prestazione di lavoro; mentre, nell'attività di lavorazione, l'operaio eseguirà la registrazione a fronte di un unico oggetto, la cella. A tal proposito, si è reso necessario gestire localmente al MES due tipologie di Ordini di lavoro (OdP), l'OdP di set-up e l'OdP di produzione, entrambi legati all'Odl padre, rilasciato a livello del sistema gestionale. Ciò è stato reso necessario in quanto al termine di ogni attività di set-up, è fondamentale il controllo da parte della Qualità del primo pezzo prodotto, che certifica, in caso di esito positivo, la conformità dei pezzi lavorati nella successiva fase di lavorazione.

La dichiarazione dell'operaio e dell'attrezzista, denominato operatore nell'ambito del MES, può avvenire secondo due modalità: asincrona e sincrona.

La modalità asincrona è quella per cui la registrazione delle dichiarazioni viene fatta a fine turno; mentre la modalità sincrona è quella per cui la registrazione è fatta in real-time. In quest'ultimo caso, la dichiarazione real-time è una dichiarazione ad eventi. Gli eventi corrispondono ad uno stato della macchina, di cui il MES memorizza l'istante di tempo di registrazione; ciò permette di memorizzare l'intervallo di tempo intercorrente tra due eventi desiderati.

Gli eventi in questione sono i seguenti:

- Inizio
- Sospensione
- Ripresa
- Fine
- Versamento

Vi è poi la possibilità di dichiarare a posteriori sia gli scarti che i fermi.

4.2.1.1 Set-up

4.2.2.1.1. Macchine singola

Si è detto che l'attività di set-up inizia nel momento in cui un'attrezzista, denominato operatore nell'ambito del MES, viene assegnato ad una o più macchine dopo la schedulazione giornaliera degli attrezzaggi in reparto. La sequenza delle attività dell'attrezzaggio, descritte nel paragrafo 1.2.1.1.3 del Cap.1, sono schematizzate in quattro macro-blocchi:

- Preparazione
- Attrezzaggio
- 1° pezzo
- Autocontrollo

In relazione agli eventi, sopra citati, si avrà la seguente associazione attività e stato della macchina.

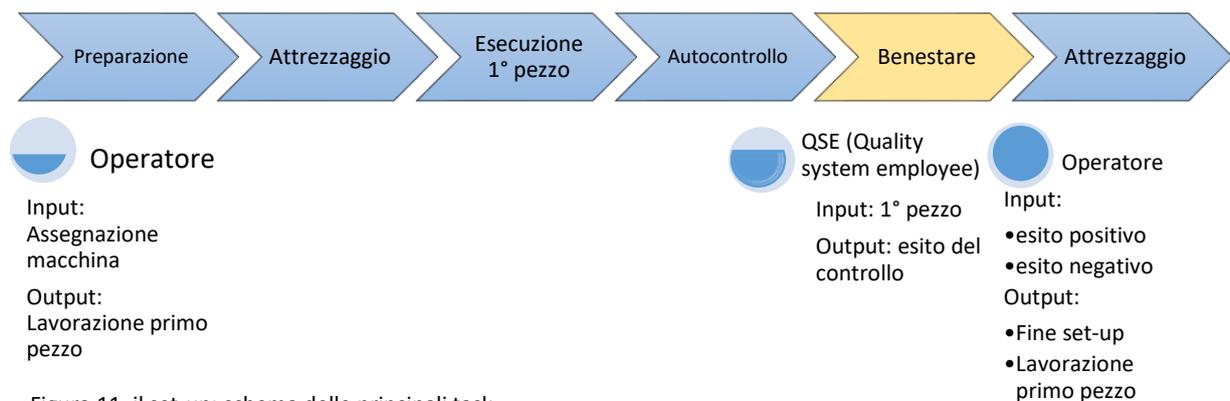


Figura.11. il set-up: schema delle principali task

L'attività di benessere è a carico della funzione Qualità, che effettuerà il controllo in relazione alle urgenze e alle priorità degli ordini di lavoro di produzione, a cui l'attività di set-up si riferisce. Infatti, gli eventi descritti oltre a rappresentare lo stato real-time della macchina, rappresentano più precisamente lo stato dell'ordine di lavoro che è stato assegnato a quella specifica macchina. Si ricorda infatti che l'oggetto di monitoraggio, lungo l'intera Supply Chain, è appunto l'Odl.

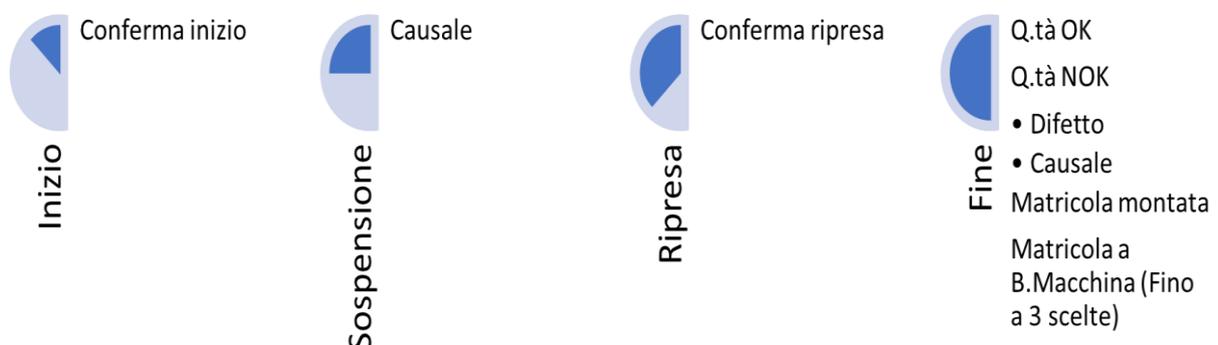


Figura.12.Set-up: modello dichiarativo

L'attrezzaggio termina, e di conseguenza l'OdP di set-up (OdP.S) si chiude, quando la Qualità rilascia il Benestare del primo pezzo. A questo punto, l'operatore registrerà lo stato di fine; in caso contrario, registrerà lo stato di ripresa dello stesso OdP.S ed eseguirà nuovamente la lavorazione del primo pezzo.

In realtà, l'addetto della Qualità può definire il pezzo come OK, NOK, oppure da rilavorare. In quest'ultimo caso l'esito del controllo è comunque negativo, ma l'operatore eseguirà oltre alla lavorazione del 1° pezzo, anche la rilavorazione del pezzo che non ha passato il collaudo, in modo da recuperarlo. Al termine del set-up, l'operatore dichiara la quantità dei pezzi OK e NOK. La quantità dei pezzi OK non può essere settata di default a 1 in quanto comprende anche i pezzi rilavorati. (Fig.13. Diagramma inter-funzionale: Attrezzaggio)

4.2.2.1.2 Macchine in abbinamento

Le attività di set-up possono essere svolte in parallelo o in sequenza sulle differenti macchine abbinata, e la dichiarazione viene eseguita su ogni macchina. Di conseguenza, il modello dichiarativo è il medesimo del caso generale, sopra descritto, per ogni singola macchina. L'unica differenza è che l'attività di lavorazione, e quindi l'OdP di produzione (OdP.P.), non può aprirsi fintantoché tutte le macchine dell'abbinamento, o soltanto quelle per cui si è determinata una diversa condizione di abbinamento, non abbiano terminato il set-up. Potrebbe essere opportuno eseguire in parallelo le attività di preparazione e smontaggio con n operatori sulle n macchine e successivamente assegnare un unico operatore per eseguire soltanto l'attività di lavorazione del primo pezzo sulle n macchine, in parallelo.

4.2.2.1.3 Cella

Le attività di set-up su ogni singola macchina in sequenza possono essere solo parzialmente parallelizzate. La lavorazione del primo pezzo sulla seconda macchina può iniziare soltanto dopo che il benestare del primo pezzo sulla prima macchina è stato rilasciato, e così via, in cascata. La dichiarazione viene fatta su ogni singola macchina e quindi il modello dichiarativo segue il caso generale. Anche qui l'attività di lavorazione e quindi l'OdP.P non può aprirsi fintantoché tutte le macchine non sono state attrezzate. Alcune delle macchine della cella saranno quindi pronte ma in attesa dell'ultima macchina da attrezzare. Un modo fondamentale per ridurre il tempo di set-up della cella è quello di tenere sotto controllo l'intervallo di tempo intercorrente tra il Rilascio del benestare del primo pezzo di una macchina e la lavorazione del primo pezzo sulla macchina successiva. Anche in questo caso, potrebbe essere opportuno eseguire in parallelo le attività di preparazione e smontaggio con n operatori sulle n macchine e successivamente assegnare un unico operatore per eseguire soltanto l'attività di lavorazione del primo pezzo sulle n macchine, in parallelo.

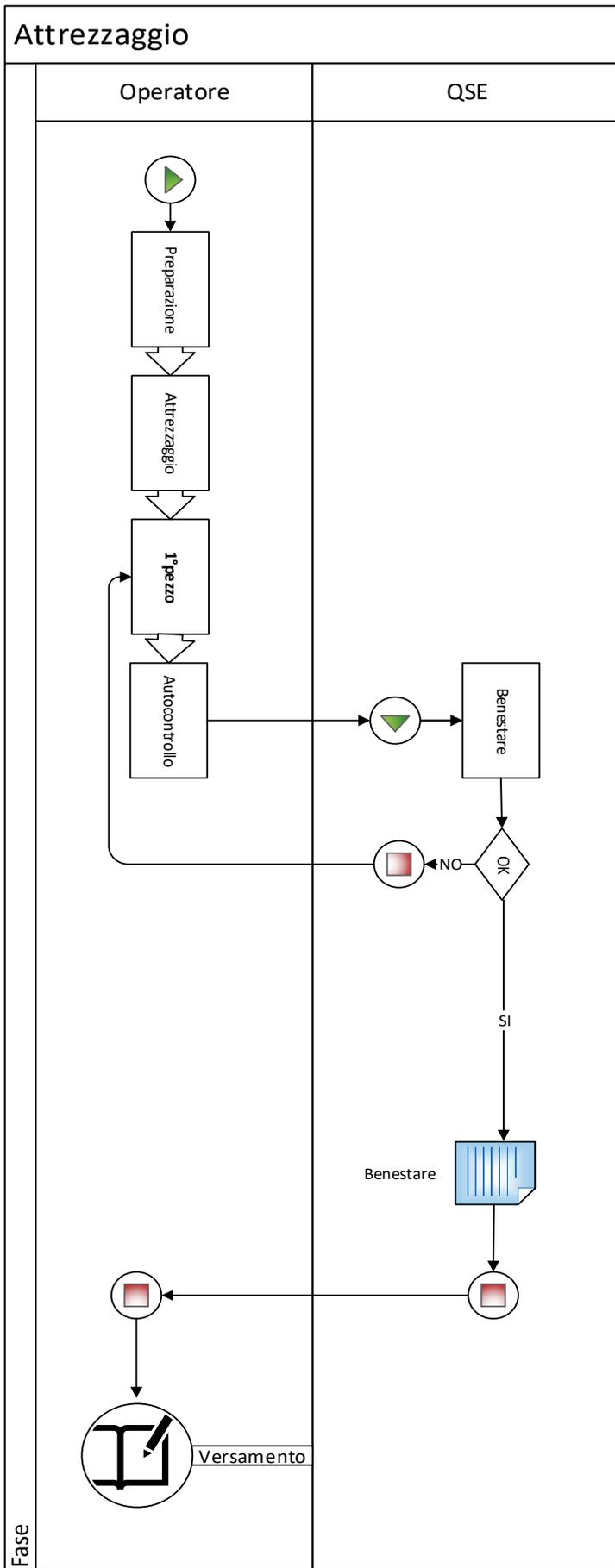


Fig. 13
 Diagramma inter-funzionale: Attrezzaggio

4.2.1.2 Lavorazione

Macchine singola

L'attività di lavorazione inizia con l'assegnazione di un operaio su di una macchina attrezzata, dopo la schedulazione giornaliera degli Ordini di lavoro di produzione, resi visibili al reparto. La sequenza delle attività di lavorazione, descritte nel paragrafo 1.2.1.1.3 del Cap.1, sono schematizzate nei seguenti macro-blocchi:

- Preparazione della postazione di lavoro
- Lavorazione
- Autocontrollo

Tali attività possono essere interrotte da attività di manutenzione della macchina, in caso di guasto. (Fig. n, Diagramma inter-funzionale: Produzione)

L'attività di manutenzione sarà gestita su di un altro applicativo, Info EAM, che trasferirà al MES l'istante di inizio e fine dell'intervento manutentivo sulla macchina stessa, nel caso si voglia tenere sotto controllo l'intervallo di attesa della macchina, a valle e a monte dell'intervento stesso. Tale tempo sarebbe importante da controllare se si volesse ridurre il tempo di indisponibilità della macchina, migliorandone l'OEE. Per lo stesso scopo, gli ulteriori tempi da monitorare sono:

- Intervallo tra la chiusura del ticket e la ripresa della lavorazione. In caso di qualsiasi problema al riavvio della lavorazione (esempio: mancanza materiale), l'operaio dovrebbe comunque riavviare la lavorazione e sospendere con la relativa causale.
- Intervallo di tempo in cui la macchina lavora con prestazioni più basse. È utile conoscere tale tempo in quanto in questo modo si riesce a risalire alla causa di una produttività più bassa, riscontrabile nel calcolo dell'OEE. Tale peggioramento sarebbe infatti solo temporaneo. Il capoturno potrebbe registrare il tempo ciclo per la produzione del primo pezzo al riavvio della produzione e dichiararlo insieme alla causale di "Low Performance". Al termine del primo pezzo, il capo turno e il tecnico della manutenzione potrebbero decidere di portare il pezzo al laboratorio della Qualità. In quest'ultimo caso, il capoturno riavvia la produzione e la sospende nuovamente, dichiarando una causale di attesa Benestare.
- Intervallo in cui si ha il guasto della macchina e il capo turno apre il ticket di manutenzione. In questo intervallo di tempo l'operaio ha sospeso la lavorazione sulla macchina per breakdown, in modo da mandare una notifica al capoturno o al tecnologo di reparto. Se la macchina non può essere riparata immediatamente, il capoturno apre un ticket di manutenzione sul MES e la macchina viene registrata come "In attesa di manutenzione". Tale azione ha lo scopo di sollecitare il manutentore in un primo sopralluogo sulla macchina, in modo da decidere se è necessario un intervento manutentivo lungo, oppure la macchina è riparabile in tempi brevi. Supponendo che suddetta decisione viene registrata dal manutentore sul suo applicativo, si riesce a determinare anche l'intervallo di tempo tra l'apertura del ticket e la prima analisi del guasto. Se la macchina è riparabile in tempi brevi, infatti, la tempestività del primo intervento riduce il tempo di fermo della macchina. Se la macchina ha bisogno di un intervento manutentivo lungo, l'operaio viene riassegnato, evitando una perdita di produttività della risorsa-uomo, e l'ordine di lavoro può ricominciare in C/L o su di una macchina alternativa, aumentando i costi di produzione ma evitando

o almeno riducendo un futuro ritardo della consegna al cliente. L'obiettivo dell'azienda è garantire al mercato flessibilità.

In ogni caso, l'integrazione tra Info EAM e MES è funzionale alla raccolta dati dalla macchina necessaria a determinare uno storico su cui determinare un programma di Manutenzione Preventiva. Intervenire sulla macchina prima che il guasto si verifichi permette una riduzione dei fermi e migliora l'OEE.

La registrazione della difettosità e della causale del pezzo NOK avviene nel momento del versamento da parte dell'operaio.

Entro la fine dell'Ordine di lavoro di produzione, un operatore qualificherà il pezzo come da rilavorare o da sospendere, in attesa dell'analisi del difetto da parte della Qualità, che deciderà se scartare definitivamente il pezzo, accettarlo in deroga, o se sottoporlo al Re-work. In quest'ultimo caso si creerà un Odl.P con un extra-ciclo collegato all'Odl.P padre dei pezzi "re-workati". Il numero dei pezzi reworkati totali per Odl è quindi noto, ma non si riesce a risalire al legame "pezzo rework"-macchina. Le ore spese dall'operatore nella rilavorazione rientrano nel totale delle sue ore lavorate, assegnate al suo centro di costo anagrafico, e quindi alla produzione. Le ore spese nel re-work, definito dalla Qualità, sono associate come detto ad un Odl differente dall'Ordine principale, ma ad esso collegato, e sono da attribuire a quest'ultima e non alla produzione.

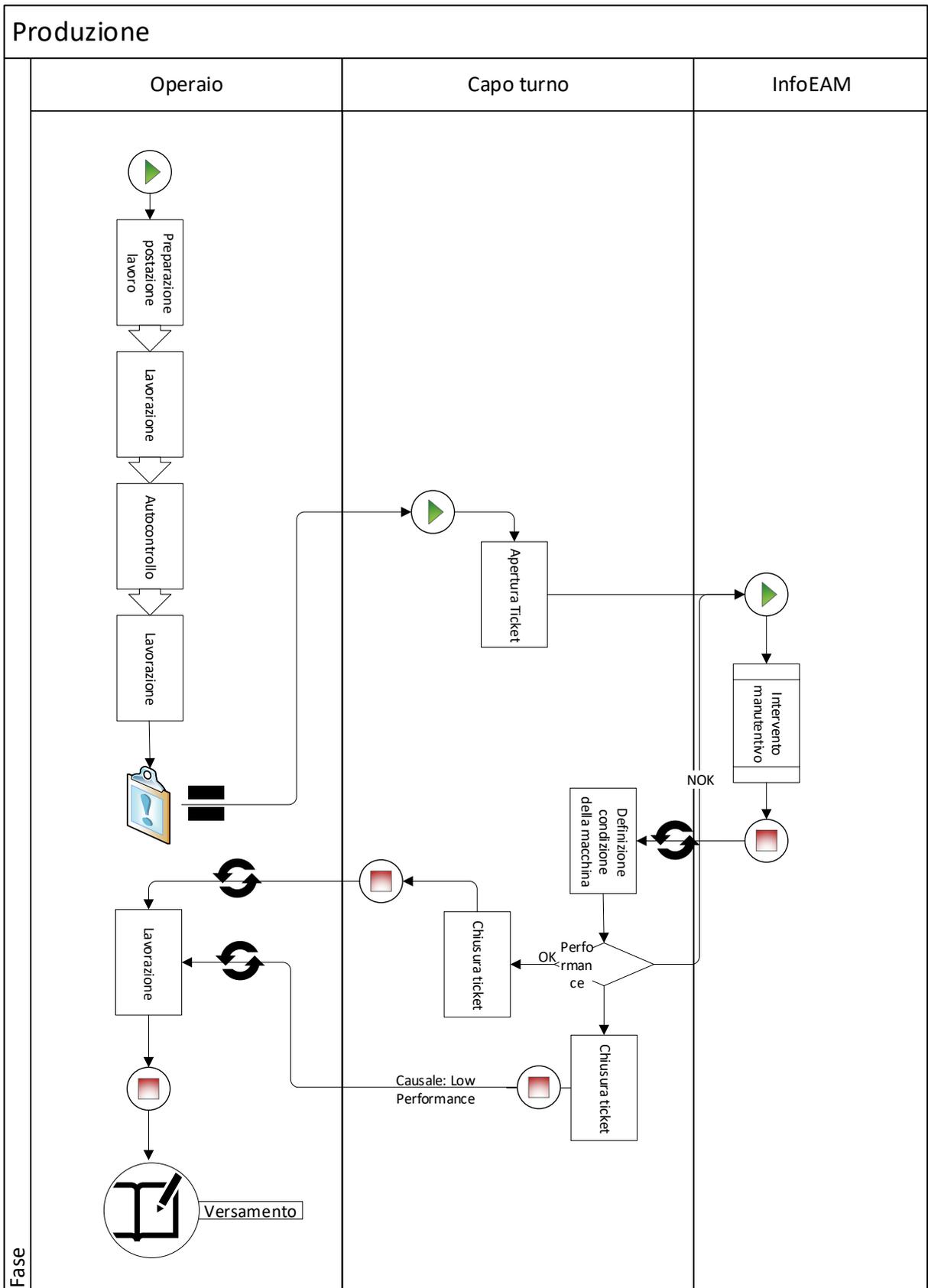


Figura.14. Diagramma inter-funzionale: Lavorazione meccanica



Figura.15 Lavorazione meccanica: Modello dichiarativo

La sospensione della lavorazione richiede sempre la dichiarazione della relativa causale e delle quantità OK e NOK fino a quel momento prodotte. Le causali di sospensione rappresentano infatti le perdite di lavorazione relative alla macchina e ad un ordine di produzione e sono funzionali al monitoraggio della sua prestazione. L'inizio e la ripresa della lavorazione devono sempre specificare la condizione in cui l'operaio lavora (a macchina singola, in abbinamento, a cella), necessario per il calcolo del cottimo individuale. La registrazione dell'evento fine di un'attività è funzionale alla dichiarazione delle quantità avanzate, disponibili per la successiva fase/operazione, per il singolo ordine di lavoro, suddivise in OK e NOK, a prescindere dalla chiusura effettiva dell'OdP, suggerita nel momento opportuno all'operaio dal sistema. (In EMEAR, non è stata inserita una causale di sospensione per cambio turno; di conseguenza, l'operaio dichiara la fine della sua attività lavorativa ma non la fine dell'OdP). In particolare, la quantità dei pezzi OK rappresenta le unità avanzate in produzione, la quantità dei pezzi NOK, con la dichiarazione delle relative difettosità e causali di difettosità, è fondamentale in un'ottica di controllo della Process Capability e di monitoraggio della prestazione della macchina. Data la loro importanza, in un'ottica di tempestività di registrazione sul sistema di tali informazioni, si prevede la stampa del cartellino rosso, oggi cartaceo in produzione, direttamente da sistema. Infatti, l'operaio può effettuare il versamento delle Q.tà OK e Q.tà NOK nell'omonimo evento di Versamento. Tale registrazione non rappresenta un avanzamento di produzione e può essere effettuato ad ogni pezzo NOK e/o ad ogni completamento di un contenitore, fino alla chiusura dell'OdP relativo. Al completamento di un contenitore si dovrebbero poter associare anche i lotti di rintracciabilità relativi dei componenti figli di un prodotto finito, come si vedrà in seguito per il cluster dell'assemblaggio senza host sulla linea di produzione.

Le cosiddette economie sono dichiarate, indipendentemente da uno degli eventi sopra citati. Queste sono, infatti, perdite legate all'uomo e non alla macchina o all'ordine di produzione e si richiede di specificarne la causale e il tempo speso, necessario per la quadratura delle ore lavorate dall'operaio/operatore.

Gli eventi dichiarati per determinare lo stato di un OdP, vengono utilizzati per tracciare anche lo stato dell'attività dell'operaio durante il suo turno. (Inizio/Sospensione/Ripresa/Fine) Nella modalità sincrona il tempo effettivo speso nella lavorazione è calcolato in automatico da sistema, al contrario della modalità asincrona, in cui tale tempo deve essere dichiarato dall'operaio

4.2.2.2.1 *Macchine in abbinamento*

Nella condizione di macchine in abbinamento, un unico operaio lavora in parallelo su n macchine, che svolgono n operazioni di n ordini di lavoro diversi o uguali. L'abbinamento delle macchine è reso possibile qualora il tempo ciclo delle macchine in questione è lungo. Tale condizione permette una maggiore produttività della risorsa-uomo. La dichiarazione dell'operaio si svolge in maniera identica al caso precedente per ogni singola macchina abbinata, specificando il tipo di abbinamento. Quest'ultima informazione permette di prendere in considerazione come tempo ciclo, per il calcolo del cottimo individuale, il tempo relativo a quel tipo di abbinamento, dato l'articolo, l'operazione e la targa macchina. Tale dato è gestito a livello di ERP e trasmesso al MES per il calcolo del cottimo individuale. Esso esprime il tempo medio necessario per produrre un pezzo in quel determinato tipo di abbinamento (Fig.n_ macchine in abbinamento, par. 1.2.1.1.4 del Cap.1). Infatti, il prodotto tra tale tempo e il numero di pezzi prodotti su ogni singola macchina (=somma dei pezzi OK e NOK dichiarati dall'operaio su ogni macchina abbinata) ti restituisce le ore spese dall'operaio nella lavorazione, durante il suo turno. L'operaio dichiara la quantità dei pezzi prodotti per ogni singola macchina e non effettua un'unica dichiarazione dei pezzi totali prodotti in abbinamento in quanto si deve registrare anche l'avanzamento di ogni singolo Ordine di produzione, diverso da macchina a macchina. Al termine delle dichiarazioni dell'operaio per ogni singola macchina, egli registra l'eventuale tempo speso in economia.

In caso di guasto di una macchina abbinata, l'operaio sospende la lavorazione su tutte le macchine in abbinamento con le opportune causali (la macchina guasta deve riportare la causale di breakdown), versando la quantità dei pezzi OK e NOK fino a quel momento prodotti. Il sistema manda una notifica al capoturno o al tecnologo di reparto per un'analisi del guasto. Se la macchina viene riparata, l'operaio riavvia la lavorazione su tutte le macchine con lo stesso codice di abbinamento, in caso contrario il capo turno apre un ticket di manutenzione. Nel caso di intervento manutentivo lungo, l'operaio riprende la lavorazione sulle macchine non guaste con un codice di abbinamento differente. Ogni cambio codice prevede un riattrezzaggio della macchina con la relativa richiesta di Benestare. In questo modo, il sistema conosce le quantità lavorate su ogni macchina e il tempo speso dall'operaio per ogni codice di abbinamento dichiarato.

4.2.2.2.2. *Cella*

Si è detto che l'assegnazione di un operaio ad una cella prevede un differente schema dichiarativo, non legato alla singola macchina ma alla sequenza di macchine necessarie alla produzione di una specifica fase (intesa come n operazioni) dell'articolo.

L'organizzazione del layout dell'impianto secondo una logica cellulare rappresenta una soluzione intermedia tra un'organizzazione flow-oriented (linee produttive) ed una job-shop-oriented (reparti produttivi). Un'organizzazione per linee produttive fa' in modo che ogni linea possa eseguire un unico ciclo di lavoro, riducendo il numero dei set-up, il tempo di attraversamento del prodotto finito e la giacenza WIP. Tale tipo di organizzazione è idonea qualora l'azienda produca una bassa gamma di prodotti con alti volumi. È tipica degli impianti di montaggio. La meccanizzazione è molto alta e ciò comporta ripetitività delle mansioni ed eventuale alienazione del lavoratore. Un'organizzazione per reparti produttivi fa sì che le macchine siano raggruppate per cluster tecnologici. In questo modo dalla combinazione dei vari reparti si riescono ad eseguire diversi tipi di cicli di lavorazione, garantendo flessibilità nella produzione. Allo stesso tempo,

aumenta la movimentazione del materiale all'interno dello stabilimento da un reparto all'altro e sono necessari buffer inter-operazionali. Il tempo di attraversamento del singolo prodotto è più lungo. Come detto precedentemente, un'organizzazione del tipo cellulare prevede di raggruppare insieme quelle macchine che in sequenza, e quindi come una linea produttiva, permettano di eseguire una determinata fase (intesa come n operazioni) di un ciclo di lavoro, possibilmente comune alla produzione di quel numero di articoli che costituiscono l'80% della produzione totale dello stabilimento. In questo modo, la flessibilità di produzione è mantenuta dalla possibilità di combinare in maniera differente le varie fasi che le celle adempiono, come in un'organizzazione per reparti. È importante sottolineare come il raggruppamento in celle può essere di tipo statico o di tipo dinamico, in caso di guasto di una delle macchine.

Nell'ottica della definizione del modello dichiarativo, come anticipato precedentemente, rappresentando la cella una serie di operazioni di un ciclo di lavoro, si decide di effettuare l'avanzamento produttivo a fronte di questo unico oggetto. Di conseguenza, l'idea è quella per cui l'operaio registra l'inizio della lavorazione sulla prima macchina della sequenza, dichiarando l'opportuno N. ABBINAMENTO, funzionale per il calcolo del cottimo individuale, aprendo contemporaneamente le successive macchine e quindi le operazioni relative con lo stesso OdP.P. Allo stesso modo si desidera chiudere la lavorazione sulla cella, registrando la Fine sull'ultima operazione. Attraverso l'Utility della cucitura delle bolle, si possono legare insieme due o più bolle di lavoro, identificando una bolla principale. Le attività di dichiarazione svolte sulla bolla principale, sono ripetute sulle bolle ad essa legata ma non il viceversa. Inoltre, la bolla principale deve essere quella per cui si avrà la dichiarazione dell'avanzamento in produzione e quindi corrispondere al minimo a quella relativa all'ultima operazione della sequenza. Di conseguenza, dichiarando l'inizio sulla bolla relativa alla prima operazione della cella, le altre operazioni non vengono aperte, a meno che tale bolla non sia scelta come bolla madre; ma allo stesso tempo tale bolla non è relativa all'operazione in cui si vuole l'avanzamento in produzione, da trasferire all'ERP. Si può pensare che l'operatore, prima dell'inizio della lavorazione sulla cella, cucì insieme le bolle in questione impostando la prima bolla come bolla madre. Le bolle da cucire insieme possono essere suggerite da sistema oppure l'operatore deve inserirle una per volta, manualmente. Al termine della lavorazione, l'operaio deve scucire le bolle precedentemente legate e creare un'altra cucitura, dichiarando la bolla relativa all'ultima operazione come bolla madre. In questo modo al termine della lavorazione, l'operaio può dichiarare la Fine dell'attività e le quantità OK e NOK, da avanzare in produzione, soltanto sull'ultima macchina. Non è richiesto di suddividere la Q.tà dichiarata tra le bolle cucite insieme. In caso di sospensione e cambio dell'automatismo, il sistema conosce le quantità e l'intervallo di tempo in cui l'operaio ha lavorato sulle macchine, in modalità di cella, e le quantità e l'intervallo di tempo in cui lo stesso ha lavorato con un altro abbinamento.

Infine, si può pensare di inserire la possibilità di gestire due bolle principali a fronte di un'unica cucitura, in modo da semplificare le operazioni dichiarative. La cucitura delle bolle può essere ricavata in relazione all'indicazione del ciclo di LX, attraverso un automatismo.

A livello di integrazione con l'ERP, LX deve passare al MES l'informazione relativa all'/alle operazione/i principale/i.

In caso di guasto di una delle macchine della cella, l'operaio Sospende la lavorazione della cella con l'opportuna causale, dichiarando le quantità OK e NOK lavorate, notificando suddetta condizione al capoturno. Se il guasto si risolve immediatamente, la lavorazione viene Ripresa, dichiarando l'opportuno N.

ABBINAMENTO; in caso contrario, il capoturno apre il ticket di manutenzione dichiarando la macchina guasta, richiedendo l'intervento tempestivo del manutentore. Se il guasto è riparabile in tempi brevi, il manutentore registra la fine dell'attività manutentiva sulla macchina, l'operaio e/o il capoturno registra la Ripresa della lavorazione della cella riavviando l'attività su tutte le macchine; in caso contrario, l'operaio e/o il capoturno dopo la ripresa, registra la Fine della lavorazione, versando le Q.tà OK e le Q.tà NOK sulla bolla relativa all'ultima operazione/macchina. A questo punto, l'operaio, se universale, può essere assegnato per continuare lo stesso OdP.P sulle stesse macchine con un differente N.ABBINAMENTO, con una preliminare scucitura delle bolle e un riattrezzaggio delle macchine in questione; in caso contrario viene riassegnato ad un'altra lavorazione. Un'alternativa è riassegnare l'operaio ad un'altra lavorazione ed effettuare il completamento dell'OdP.P in C/L, creando un extra-ciclo. Il Versamento deve essere effettuato per singola macchina, essendo funzionale alla registrazione dei pezzi OK e NOK, durante l'attività di lavorazione stessa.

4.2.1.3 Movimentazione del materiale

Introduzione

L'attività di lavorazione viene oggi supportata da due applicativi funzionali al rifornimento del materiale a bordo macchina e alla gestione del WIP secondo la logica FIFO. L'Utilizzo della logica FIFO dovrebbe permettere di prelevare per prima il materiale relativo agli ordini di acquisto meno recenti, legati agli ordini clienti più imminenti. Le stesse funzionalità sono state introdotte nel MES per la movimentazione del materiale.

Si è detto nel par. 1.2.1.1.3 Fabbricazione del Cap.1 che ogni postazione, intesa come macchina singola o cella, ha una locazione IN ed una locazione OUT per il posizionamento rispettivamente del contenitore dei pezzi da lavorare e dei pezzi lavorati. Ogni contenitore riporta una Targa con la durata di vita di una singola operazione o di n operazioni in sequenza in caso di configurazione a cella ed è funzionale alla tracciabilità del materiale all'interno dello stabilimento.

I magazzini logici che il MES deve gestire sono relativi alle entità fisiche di:

- Piazzali di arrivo e preparazione della merce da spedire;
- Reparti dello stabilimento;
- Stabilimento dei conto-lavoristi;
- Magazzino dei pezzi NOK definiti come sospesi.

Oggi le locazioni sono gestite attraverso un codice parlante diverso in base al tipo di locazione, riportante il C.d.C relativo al magazzino, la campata (o la tipologia di magazzino), la colonna (o targa macchina), ed il piano. Le ubicazioni possibili sono:

- Piazzale di entrata e di uscita
- Magazzino di stoccaggio di reparto
- Bordo macchina
- Magazzino dei Sospesi

La stampa della Targa, relativa ad una determinata colata e quindi ad un rispettivo lotto di rintracciabilità per una certa quantità di materiale, si ha per la prima volta dal tornitore, fornitore esterno. La merce arriva in stabilimento con una Bolla di entrata, riportante le targhe di ogni contenitore in arrivo. Il carrellista esterno deve registrare, tramite lettura del barcode, le suddette targhe sul magazzino logico relativo al piazzale di arrivo merce, gestito nel MES.

4.2.2.3.1 Chiamata a Bordo Macchina

Tale funzionalità può essere inserita tra le Utility del Menù principale dell'applicazione ed è richiamabile sia dall'operatore che dall'operaio attraverso un tasto rapido.

Il tipo di programmazione utilizzata è una programmazione ad oggetti, (o nel caso del modello dichiarativo, ad eventi). In questi tipi di programmazione si definiscono delle funzioni/oggetti/procedure (parti di codice sorgente), il più possibile indipendenti e svincolati l'uno dall'altro e attivabili tramite un trigger. Un trigger è l'evento che innesca un flusso di processo e può essere inviato/scatenato da altri oggetti/procedure/funzioni o dalle azioni dell'utente sul sistema o da sistemi differenti. Nell'ambito di un'organizzazione aziendale, un sistema informatico di questo tipo mette in comunicazione funzioni differenti, partecipanti ad uno stesso processo aziendale, gestito non più a livello di singola funzione ma trasversalmente su tutte. Infine, in questo modo, si riesce a mettere in comunicazione due o più persone/enti/applicazioni; in quest'ultimo caso, senza l'interazione dell'uomo.

Tale applicazione ti permette di gestire le richieste in maniera tale da mettere in contatto il Richiedente con l'erogatore della richiesta stessa.

Le richieste che si possono gestire sono:

- Richiesta del Benestare
- Richiesta del materiale
- Stampa della targa

Poiché la richiesta Benestare, come detto precedentemente, viene effettuata principalmente nel momento del set-up, si è inserita la possibilità di richiamare tale applicazione direttamente dichiarando la causale di sospensione Set-up relativa. In questo modo il sistema conosce l'operatore e la bolla da cui si è effettuata la richiesta.

Per quanto riguarda la richiesta del materiale, ad ogni ordine di lavoro è legato un ciclo di lavoro, la distinta-base dell'articolo, l'anagrafica dell'articolo, l'anagrafica delle attrezzature e le giacenze. Tali informazioni master vengono trasferite dall'ERP al MES. Di conseguenza, effettuata la chiamata a bordo macchina, il sistema conosce già il lotto di materiale da proporre in IN al carrellista (l'operazione di tornitura è interna al ciclo di lavoro), e l'operaio e/o l'operatore deve solo confermare i dati (articolo e fase) legati alla richiesta, impostando un tempo preferibile di consegna in relazione all'urgenza. Il lotto e di conseguenza la targa corrispondente viene proposta dal sistema al carrellista secondo una logica FIFO, in relazione ad una determinata colata. Attraverso tale funzionalità, l'operatore in fase di set-up può effettuare la richiesta delle attrezzature, utensili, e calibri da utilizzare. In relazione alla bolla, il sistema gli propone il toolkit idoneo. Infatti, a livello di ERP, nella distinta base dell'articolo, legato all'Ordine di Lavoro, è inserito il toolkit necessario per singola operazione. Tale toolkit, operazione per operazione, è esploso nella propria distinta-base, che specifica anche il tipo di utensileria (A=Attrezzatura, C=Calibro, U=Utensile) e la frequenza di controllo per i calibri. Per quanto riguarda gli utensili primari, il sistema deve proporre la lista di utensili che l'operatore può scegliere per un dato OdP e fase (bolla), specificando per ogni utensile la quantità massima di pezzi che si possono ancora lavorare. In generale, si può definire un criterio di scelta dell'utensile in relazione alla quantità dell'Ordine di produzione da avanzare, e questo comporta gestire un Ordine di produzione pari alla quantità avanzata. In ogni caso, l'operatore può scegliere fino a quattro utensili e

specificare nell'evento di inizio del set-up quale matricola è relativa all'utensile montato e quale invece è localizzato a bordo macchina. In questo modo al termine del set-up, una data matricola utensile è legata all'attività di lavorazione successiva, come accade anche oggi sul sistema attuale. I versamenti sulle q.tà OK e NOK effettuati dall'operaio nell'intervallo di tempo in cui tale matricola risulta montata sulla macchina vengono attribuiti alla matricola stessa e trasferiti a livello di ERP, in cui si ha il conteggio dei pezzi lavorati dal singolo utensile e il calcolo della sua vita residua. Tali informazioni saranno trasferite tramite una tabella di frontiera custom che al minimo deve contenere le seguenti informazioni:

- matricola utensile;
- dalla quantità (prodotta);
- alla quantità (prodotta).

La richiesta dell'utensile viene effettuata anche dall'operaio in caso di cambio utensile. In tal caso, l'operaio Sospende la lavorazione sulla macchina, introducendo l'opportuna causale di set-up per cambio utensile, e se necessario richiede il Benestare del primo pezzo. Per tale richiesta bisogna dichiarare la targa macchina. Il cambio utensile può avvenire perché lo richiede la lavorazione ad una frequenza specifica (es. 10min) o perché l'utensile si è usurato. Il tempo necessario per eseguire il cambio utensile è indistinguibile dal tempo totale relativo all'attività di set-up sulla macchina.

Le altre richieste eseguibili sono la richiesta del contenitore in OUT e la richiesta di una serie di prodotti e contenitori ausiliari. Nel primo caso, l'attività di conferma dei dati della richiesta, effettuata dall'operaio e/o dall'operatore, può procedere con la richiesta di stampa della targa con l'ID progressivo corretto; inoltre è richiesto all'operaio di indicare la targa del contenitore in OUT, pieno a bordo macchina, funzionale per registrare la disponibilità di materiale per la fase successiva. Il contenitore può però essere prelevato anche se non è pieno, in caso fosse richiesto dalla fase a valle. Nel momento di conferma della stampa della Targa, l'operaio ha la possibilità di flaggare l'opzione di stampa congiunta di un certo numero di Targhe, identiche per informazioni chiave, ma in formato più piccolo. Quest'ultima funzionalità è importante per il cluster dell'assemblaggio.

4.2.2.3.2 Gestione del FIFO-WIP

Tale funzionalità è complementare a quella della Chiamata a Bordo ed è fondamentale nella gestione dei movimenti dei materiali all'interno dello stabilimento o dallo stabilimento ai piazzali di arrivo e preparazione della merce da spedire. I movimenti di entrata e di uscita dal WIP sono inviati ad LX e sono trasferimenti che determinano giacenza, mentre i movimenti all'interno del WIP non vengono trasferiti ad LX. La tracciabilità del materiale WIP si ha sul gestionale attraverso le dichiarazioni degli operai di avanzamento in produzione reparto per reparto. (Magazzino logico) Le dichiarazioni del carrellista riguardano la scelta della richiesta e la sua evasione. Il sistema deve concedere al suddetto utente di filtrare e ordinare le richieste in relazione alle urgenze definite dall'operaio/operatore, alle priorità dell'Odp, alla macchina. Ogni conferma di evasione di una richiesta aggiorna la locazione ultima del materiale oggetto della richiesta stessa o il suo consumo (Es. Olio ecc.). In sintesi, il carrellista, una volta identificatosi con il badge, sceglie l'attività che vuole evadere:

- Richiesta pezzi in IN e Prelievo Contenitore vuoto in IN
- Richiesta contenitore in OUT e Prelievo contenitore pieno in OUT
- Richiesta utensile

- Altre richieste. (Termoformati, cassoni melme, cassoni trucioli, Oli e cisterne, altro)

Si può pensare di gestire per ognuna attività, gli eventi di:

- Inizio
- Fine

4.2.2.3.3 Richiesta pezzi in IN e prelievo contenitore vuoto

Il carrellista deve scegliere da una lista la Richiesta che vuole evadere, filtrando per macchina e/o bolla e/o urgenza.

Dichiarando l'inizio, il sistema deve proporre la targa da prelevare e la locazione, secondo la logica FIFO.

La targa può trovarsi in un magazzino inter-operazionale o di stoccaggio, oppure a bordo macchina dell'operazione precedente. Il carrellista conferma la targa prelevata oppure ne registra un'altra.

Sulla postazione a bordo macchina, dichiara la Fine della Richiesta e la locazione della Targa viene aggiornata con quella della locazione di bordo macchina corrispondente, attraverso lettura del barcode della postazione a bordo macchina e della targa stessa. Infine, il carrellista Inattiva la targa del contenitore vuoto in IN, selezionando l'opportuna attività. L'utente dichiara l'inizio dell'attività, registrando la targa da inattivare e con la dichiarazione di Fine conferma la registrazione precedente.

4.2.2.3.4 Richiesta contenitore vuoto in OUT e Prelievo contenitore pieno

Il carrellista deve scegliere da una lista la Richiesta che vuole evadere, filtrando per macchina e/o bolla e/o urgenza.

Con la dichiarazione dell'inizio inserisce la nuova Targa, attivandola. Il sistema potrebbe notificare se per quella macchina sono state fatte Altre richieste, in relazione a termoformati, così da evadere anche quest'ultime. Il carrellista con la dichiarazione di Fine evade la richiesta. Oggi la giacenza dei contenitori e dei termoformati non è gestita, ma si pensa di introdurla; in tal caso, la fine potrebbe aggiornare il totale del quantitativo di contenitori presente in stabilimento.

Infine, il carrellista preleva il contenitore pieno a bordo macchina dei pezzi lavorati, se richiesto. Dichiara l'inizio dell'attività e inserisce la Targa (lettura barcode), la Q.tà presente nel contenitore, la tipologia di termoformato. Il campo Q.tà deve avere un vincolo sulla Q.tà max da inserire. In base alla quantità dichiarata nel contenitore, si può pensare di impegnare a livello di ERP, il numero corrispondente di termoformati. A questo punto il sistema gli propone l'ubicazione che può ancora sostenere il peso del contenitore, dati i contenitori già presenti.

Infatti, si richiede che il MES memorizzi il peso dei contenitori presenti per ogni data ubicazione, calcolato come:

$$\sum_i (\text{peso unitario Articolo} \times q.\text{tà dichiarata nel contenitore}_i) + \text{peso standard del contenitore}_i$$

Il carrellista, verificata la corrispondenza tra il peso del contenitore e il peso residuo dell'ubicazione, conferma l'ubicazione proposta, ma non aggiorna le giacenze. Successivamente, il carrellista dichiara la Fine, con il lettore barcode lega la Targa all'ubicazione, ed il MES aggiorna le giacenze; in caso contrario, il sistema gli propone una nuova locazione.

4.2.2 Assemblaggio

Per il cluster dell'assemblaggio, come detto precedentemente, si lancia un Ordine di lavoro mensile. Non viene gestito un magazzino WIP ma si caricano e si scaricano i magazzini generali, rispettivamente dei componenti e dei prodotti finiti, attraverso la funzionalità di back-flush. Il gruppo assemblato, arrivato al collaudo, riporta un Serial Number se risulta conforme, altrimenti rimane contraddistinto soltanto dall'Assembly Number. Il carico/scarico del magazzino si ha attraverso la lettura del Serial Number dei pezzi conformi. Si pensa anche qui di introdurre un magazzino dei sospesi per i NOK a cui legare i relativi Assembly Number. I dati sui lotti di rintracciabilità dei componenti del gruppo assemblato sono memorizzati sull'host e da questo ricavati, operazione per operazione, dove presente. In caso contrario, su LX si versa la quantità OK e il Serial Number (a cui sono associati tutti gli Assembly Number e i lotti di rintracciabilità dei componenti) e si effettua il carico/scarico dei magazzini per backflush. I componenti da assemblare sono marcati pezzo per pezzo. Dal punto di vista del modello dichiarativo, la linea è gestita come una black-box e la modalità di dichiarazione sarà del tipo Asincrono; vale a dire ad ogni fine turno. Il capolinea assegna alla linea l'ordine di lavoro da assemblare. Gli operai effettuano il log-in e il log-out su ogni stazione della linea, tramite host dove presente o soltanto sulla linea, tramite MES. Se degli operai lavorano alla preparazione della linea, registreranno entro fine turno, il tempo speso come economia. Gli operai assegnati al montaggio sulla linea entro fine turno registrano sul Mes la linea, l'ordine di assemblaggio (legato al part-number) e l'operazione su cui hanno lavorato e la quantità completata per operazione. L'addetto al collaudo versa entro fine turno i part-number collaudati e OK su LX. In sintesi, nel cluster dell'assemblaggio, il MES è funzionale al calcolo del cottimo individuale. L'avanzamento dell'Ordine di lavoro viene eseguito direttamente su LX. Ottenere l'istante di log-in e di log-out per ogni stazione di un operaio e la relativa quantità prodotta permette di avere un calcolo dell'efficienza puntuale. Con il concetto di black-box, è difficile calcolare l'efficienza del singolo lavoratore direttamente dai dati memorizzati sul sistema. Infatti, è difficile determinare la quantità prodotta dal singolo, essendo questa diversa da quella dell'output della linea. Un operaio può infatti spostarsi da una postazione all'altra, durante l'assemblaggio sulla linea. La rotazione sulla linea è funzionale alla cosiddetta JOB-Rotation, utile a ridurre l'alienazione del lavoratore. Se si valutasse non il singolo ma la squadra, invece, il tempo effettivo di lavorazione della squadra è calcolabile direttamente dal sistema (inizio-fine), e in base all'output della linea si misurerebbe l'efficienza della squadra, ma non il singolo.

In una funzione di produzione di squadra, l'output prodotto è maggiore dell'output che si sarebbe ottenuto dalla somma degli output, ottenibili separatamente; allo stesso tempo la produttività della squadra dipende dal contributo che ciascun lavoratore apporta. Il contributo del singolo è inscindibile dal contributo dei restanti lavoratori; vale a dire che:

$$\text{se } Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n): Q > Q(X_1) + Q(X_2) + \dots + Q(X_n) \Rightarrow \frac{dQ}{dX_1 dX_2} \neq 0$$

mentre $\frac{dQ}{dX_1}$ non è calcolabile. Di conseguenza sorge il problema della remunerazione del singolo e del free-riding. La soluzione è di assumere un controllore, che verifichi gli input di ciascuno e distribuisca di conseguenza l'output. La figura del controllore, se non può essere direttamente il proprietario d'impresa, che percependo il profitto residuo ha il massimo interesse a svolgere tale compito, può essere svolto da un sistema informatico, che raccoglie i dati relativi agli input produttivi di ciascuno. In aggiunta, un modo per allineare gli incentivi dei singoli, è di legare la remunerazione all'output, garantendo un salario minimo che

copri l'utilità di riserva di ciascuno. In questo modo si può indurre ogni partecipante del team a controllare le prestazioni dei rimanenti lavoratori della squadra.

In caso di cambio del lotto di rintracciabilità di alcuni dei componenti sulle linee di assemblaggio, si è previsto che l'operaio Sospendi, versando le quantità lavorate, e successivamente Riapra dichiarando i nuovi lotti di rintracciabilità. Tale modello dichiarativo è utilizzabile in caso di registrazione sincrona; ma nel caso di registrazione asincrona, come prevista per il cluster dell'assemblaggio, il sistema potrebbe richiedere i lotti di rintracciabilità automaticamente all'operaio che effettua la prima dichiarazione su un determinato Ordine di assemblaggio, in modo da avere il record dei lotti iniziali. Nel momento del cambio lotto, l'operaio dovrebbe avere la possibilità di flaggare un campo che ti permetta di inserire i nuovi lotti dei componenti. In questo modo, il MES può trasferire all'ERP sia i lotti di rintracciabilità utilizzati fino all'assemblaggio di una certa quantità dell'Ordine di lavoro rilasciato e sia i nuovi relativi alle quantità successive. Si potrebbe pensare di legare il primo gruppo di lotti ad un certo numero di targhe in relazione ai progressivi delle Targhe e alle quantità standard che un contenitore contiene; e legare il secondo gruppo alle targhe successive.

4.2.3 Trattamento termico

In un'ottica di controllo dell'avanzamento in produzione dell'Ordine di Lavoro dell'X.3, l'idea è quella di modellare il ciclo considerando per il trattamento termico tante operazioni quanti sono i "gate di controllo" necessari per la gestione dell'avanzamento. Occorre, quindi, individuare i "gate di controllo" da aggiungere nel ciclo del X.3, su cui monitorare l'avanzamento dell'Odl tramite il Mes, in modo da renderli visibile a tutti gli stabilimenti. Le informazioni rilevanti, soprattutto nella seconda fase con l'implementazione dello schedatore, sono quelle relative alle code prima del trattamento termico ed ai pezzi in uscita alla fine del processo. Lo stabilimento di Cervere utilizza un software customizzato, ProGest, in cui è gestito il ciclo del trattamento termico dettagliato. Il MES sarà utilizzato per integrare le informazioni di avanzamento da ProGest relative ai "gate di controllo" mappati sul ciclo di trattamento termico. ProGest può gestire l'Ordine di Lavoro e collegarlo alle "cariche". Ad ogni Odl possono essere collegate più cariche, composte di più fogli di lavoro, cioè le Targhe. Nell'individuazione dei Gate di avanzamento bisogna evidenziare che all'interno dello stabilimento si trattano due tipologie di prodotti:

- Grezzi;
- Prodotti finiti.

I grezzi sono gli stampati da sottoporre al trattamento di Ricottura Isoterma; mentre i prodotti finiti sono gli ingranaggi o altri articoli già lavorati da sottoporre ad un processo di indurimento/tempra (cementazione, tempra in acqua/olio, ...). Ogni trattamento viene eseguito da una linea dedicata:

- linea F: trattamento di cementazione per i prodotti finiti
- linea G: trattamento di ricottura isoterma dei Grezzi
- linea I: trattamento di tempra ad Induzione

Per la linea G ed I, con un ciclo meno variabile, i gate sono stati inseriti nei rispettivi cicli a livello delle due operazioni di collaudo e di finitura del pezzo.

Per la linea F, esistono varie alternative di ciclo a cui sottoporre i vari articoli. Quindi i gate sono stati individuati in funzione delle diverse tipologie di ciclo di trattamento. Le differenti tipologie compongono i seguenti trattamenti:

- Indurimento:
 - Cementazione e tempra in forno continuo, considerati come un'unica operazione. (A)
 - Cementazione e tempra in forni a camera, considerati come due operazioni differenti. In particolare, si utilizzano alternativamente, in base al codice articolo, tre tipologie di tempra diverse: (B)
 - tempra syncro
 - tempra in pressa
 - tempra su spina
- Rinvenimento e lavaggio (C)
- Collaudo in laboratorio (E)
- Finitura (D)

Il blocco A e B sono alternativi ed il blocco E può essere sistematico per alcuni articoli oppure a campione per altri codici.

In ogni caso nel ciclo di LX, legato all'Odl e comprensivo delle operazioni meccaniche e di trattamento termico, come per il caso della linea G ed I, saranno inserite soltanto due operazioni, corrispondenti a uno o più blocchi di operazioni nel ciclo di ProGest, relativi alla linea F.

In particolare, la prima operazione corrisponderà al:

- blocco A (o B)
- blocco C
- blocco E (Eventualmente)

La seconda operazione corrisponderà, invece, al blocco D, e come detto, il gate sarà posto in quella operazione che risulta ultima nel ciclo tra quelle presenti del blocco stesso. Il modello dichiarativo utilizzato sarà del tipo Asincrono.

4.3 Monitoraggio della produzione e Reporting

4.3.1 Introduzione

Attraverso il modello dichiarativo definito, si vuole effettuare il monitoraggio della produzione su tre livelli:

- Uomo
- Macchina
- Contenitore

Il sistema permette di monitorare tutte le risorse presenti rispetto alla “Gerarchia delle risorse”, di seguito rappresentato:

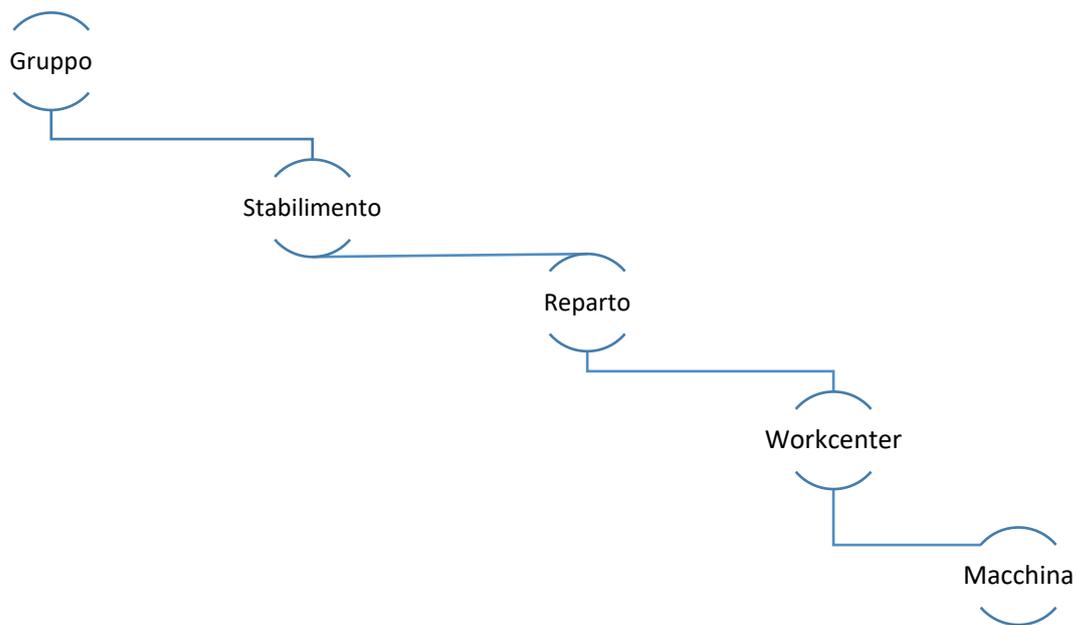


Figura.16. La gerarchia delle risorse

Si considerano anche i cosiddetti Gruppi di efficienza, definiti stabilimento per stabilimento con aggregazioni parziali o di Workcenter, o di reparti, per corrispondere a delle aree fisiche ben definite o a dei sistemi di produzione cellulare (celle e/o linee: le celle quindi sono costituite da macchine appartenenti a diversi workcenter ma dello stesso reparto). A livello di gruppo di efficienza è infatti gestito il turno sulla base del personale assegnatogli, e di conseguenza si può utilizzare come prima chiave per il monitoraggio dell'efficienza del personale.

Il workcenter è invece l'insieme delle macchine alternative che possono essere utilizzate per eseguire una data operazione; mentre il reparto è l'insieme dei workcenter comuni per tecnologia. Per questo motivo, l'avanzamento produttivo (WIP) è monitorato per reparto.

Gli Stakeholder interessati si suddividono in due livelli:

- 1°livello. Management
 - Responsabili di produzione
 - Direttori di stabilimento
 - Direttori delle Operations
 - Responsabili T&M e dell'Ufficio Tecnico
- 2°livello. Gestione e controllo della produzione

- T&M
- Controllo Qualità
- Programmatori
- Capi Reparto
- Capi turno

Il primo livello è interessato principalmente all'utilizzo di Report riportanti KPI aggregati, indicativi della produttività delle risorse e del tempo di attraversamento, in modo da definire gli scostamenti dai target mensili e intraprendere le giuste azioni correttive per gestire il comportamento più idoneo all'interno dell'azienda. Il secondo livello si occupa invece di gestire le attività in produzione e quindi monitorarle in maniera tale da raggiungere i target assegnati.

4.3.2 Reporting

A livello più alto, l'obiettivo generale che l'indicatore e/o il set di indicatori deve adempiere è quello di verificare che la mission dell'impresa sia conseguita; vale a dire garantire flessibilità per il cliente nel rispetto delle date di consegne, al minimo costo di produzione possibile. A tale riguardo è importante prestare attenzione, innanzitutto, a tali dimensioni:

- L'efficienza produttiva, relativa alla:
 - Macchina
 - Uomo
- La saturazione dell'impianto, in ottica di garantire sempre capacità disponibile per acquisire nuovi ordini, limitando l'incidenza delle attività non produttive.
- La riduzione tempo ciclo.

Efficiency KPI

**Direct-worker
Incidency**

$$\frac{\text{Ore tempo ciclo}}{\text{Ore presenza diretti}}$$

**Plant
efficiency**

$$\frac{\text{Ore tempo ciclo}}{\text{Ore presenza dir} + \text{ind} + \text{aus.}}$$

**Plant
Total
Efficiency**

$$\frac{\text{Ore tempo ciclo} + \text{tempo ciclo Prototipia}}{\text{Ore presenza dir} + \text{ind} + \text{aus.} + \text{Rework} + \text{Training} + \text{Ore prot.} + \text{Rest. ore}}$$

Calcolo giornaliero, mensile e il cumulato durante l'anno

**OEE di stabilimento
Incidenza del Set-up
Incidenza dell'Abbinamento**

HTC Red.% KPI

$$\frac{\sum \text{tempo a consuntivo}}{\sum \text{tempo ciclo} * \text{pezzi prodotti}}$$

Tab.6. Modello di reporting

Il tempo a consuntivo può essere ottenuto dal sistema in una modalità di registrazione ad eventi.

4.3.3. Gestione della Produzione

CAPO-TURNO
CAPO-REPARTO

Verifica assegnazione uomo-macchina-Odp

Verifica Stato della macchina:

- Disponibile
- Manutenzione
- Set-up
- In Attesa

Verifica N.ABBINAMENTO (Real-time)

Notifica condizione di PRE-Allarme:

- Attesa Operatore
- Attesa Benestare
- Attesa Manutenzione/Breakdown
- Attesa Materiale
- ...

Notifica pezzi NOK per macchina (Real-time)

Chiusura forzata

- Lavorazione
- Set-up

PROGRAMMAZIONE

Lancio Odp e Gestione delle code

UFFICIO TEMPI&METODI

Correzione spostamento ore tra reparti o su commessa

Controllo esecuzione, completezza e coerenza delle dichiarazioni

- Verifica Economie
- Verifica N.abbinamento sulle macchine

Inserimento dichiarazioni mancanti

Controllo andamento rendimento giornaliero risorse/
gruppo risorse

OEE= A*P*Q

$$A = \frac{\text{Runtime}}{\text{tempo pianificato}}$$

$$P = \frac{t_{c\text{effettivo}} * (\text{PEZZI OK} + \text{NOK})}{\text{Runtime}}$$

$$Q = \frac{t_{c\text{effettivo}} * \text{PEZZI OK}}{t_{c\text{effettivo}} * (\text{PEZZI OK} + \text{NOK})}$$

$$\text{Rendimento uomo} = \frac{t_{c\text{effettivo}} * (\text{PEZZI OK} + \text{NOK})}{\text{Ore presenza} - \text{Economie} - \text{Sospensioni}}$$

LEGENDA

tempo pianificato= tempo totale-pause pianificate

run-time=tempo pianificato-fermate e i tempi di set-up

il tempo ciclo effettivo è il tempo della macchina per la produzione di un pezzo, in condizione singola (o di abbinamento), calcolato dal sistema dopo la lavorazione di un pezzo.

Nel caso del calcolo del rendimento uomo, per la condizione di abbinamento, come tempo ciclo si può considerare il tempo medio di produrre un pezzo sulle n macchine abbinatae.

Tab.7 Ruoli aziendali e attività

L'attesa dell'operatore, notificata mentre sulla macchina è aperto un ordine di attrezzaggio, permette di monitorare sia l'intervallo tra la richiesta benestare e la sua presa in carico, e sia l'intervallo tra la chiusura

del benessere e la ripresa del set-up. Lo stesso segnale, ricevuto mentre sulla macchina è aperto un ordine di produzione permette il monitoraggio sia dell'intervallo tra l'apertura del ticket e la diagnosi del tecnologo che quello tra la chiusura del ticket e la ripresa della lavorazione. L'attesa materiale notifica un ritardo nelle consegne, qualora sia stata effettuata una richiesta pezzi, oppure evidenzia la presenza di anomalie nel flusso produttivo, che si ricorda essere di tipo PULL. La notifica dei pezzi NO OK invece è una condizione di pre-allarme di malfunzionamento della macchina

5. I MOTIVI DEL CAMBIAMENTO

5.1 Introduzione

Con il termine Supply Chain Management si indica quell'attività di integrare le varie entità di business, coinvolte in differenti processi e servizi atti a creare valore per il consumatore finale, in modo tale da sincronizzare i flussi di materiale, informativi e finanziari tra le diverse unità.

Un Advanced Planning System (APS) è definito come un Sistema di Pianificazione Avanzato della Supply Chain, che si spinge oltre la semplice pianificazione dei requirements dei materiali, definiti dall'MRP, necessari per la produzione del prodotto finito per il cliente finale. Un sistema di pianificazione avanzato si distingue dal modulo dell'MRP II, in quanto è completamente eseguito dal computer e non richiede la revisione del piano da parte di un pianificatore "umano".

L'MRP II e l'ERP, permettono di sincronizzare il piano delle vendite, il piano della produzione, il piano dell'approvvigionamento dei materiali e il piano della capacità delle risorse, integrando processi di controllo sugli acquisti, l'inventario, il WIP e le vendite. Se uno dei suddetti piani non è fattibile, un pianificatore può intervenire, comportando la modifica del piano di livello superiore. Sistemi di questo tipo utilizzano metodi euristici di ottimizzazione oppure metodi di programmazione lineare, in cui definita una funzione obiettivo e dei vincoli, il sistema trova un numero di soluzioni fattibili in cui determinare una soluzione ottima. Per questi sistemi, la funzione obiettivo viene settata una sola volta e lo stesso vale per i vincoli. Con un Advanced Planning System, definita una funzione obiettivo, la natura della domanda e i vincoli della Supply Chain, ogni volta che si rende necessaria una ri-pianificazione, il sistema determina i nuovi valori dei vincoli e genera un nuovo piano ottimo, tra tutti quelli fattibili. I componenti principali da definire per questo tipo di sistemi sono:

- il modello della Supply Chain
- il piano della domanda
- lo stato della Supply Chain

Il modello della Supply Chain definisce il modello specifico che si vuole ottimizzare.

In particolare, si distinguono tre gruppi in relazione all'orizzonte temporale che si prende in considerazione nell'ottimizzazione.

Il primo gruppo è quello definito come Long-term Supply Chain Planning, in cui si prende in considerazione un orizzonte temporale di più anni. L'obiettivo è quello di definire la collocazione geografica dei vari partner della SC.

Il secondo gruppo è definito come Medium-term Supply Chain Planning e prende in considerazione un orizzonte temporali di uno o più mesi, prendendo in considerazione la domanda di un articolo. L'obiettivo è quello di definire il piano di produzione per ogni articolo, definendo anche lo stabilimento in cui questo deve essere assegnato.

Il terzo gruppo è relativo alla programmazione e allo scheduling di dettaglio sulle varie macchine, all'interno di ogni stabilimento. L'obiettivo è determinare la capacità e la sequenza ottima delle attività di produzione. Lo stato della Supply Chain è definito dai vincoli che sono stati scelti per identificarlo e viene aggiornato dai dati di inventario, approvvigionamento del materiale, acquisti, WIP, provenienti dall'ERP.

Il terzo gruppo di questi tipi di modelli ha un problema relativo all'aggiornamento dei dati da utilizzare nei vincoli che schematizzano il suo stato e sui cui si effettua l'ottimizzazione. Infatti, tale gruppo è strettamente legato allo shop-floor, mentre l'ERP ha poche informazioni per schematizzare lo stato real-time della fabbrica. In tale contesto entra in gioco il MES, come tecnologia abilitante un sistema di pianificazione avanzato, quale appunto il CRP e il Factory Scheduling.

Il MES, infatti, utilizza una programmazione guidata dagli eventi, cosicché ogni qualvolta un evento viene registrato, lo stato della fabbrica viene aggiornato e in caso di anomalie un nuovo piano di ottimizzazione può essere generato.

5.1.1 CRP

Il CRP o Capacity Requirement Planning è uno tra i metodi di programmazione della produzione che permette di verificare la fattibilità del piano di produzione (MPS) di ogni articolo che l'impresa produce e del piano di approvvigionamento dei materiali (MRP), in termini di capacità del singolo impianto. Esso si distingue dal RCCP (Rough Cut Capacity Planning) in quanto il secondo prende in considerazione soltanto gli ordini di produzione pianificati e successivamente quelli confermati dell'end-item, ma non considera gli ordini in esecuzione o comunque quelli rimasti incompleti. Il Rough Cut Capacity Planning prende in considerazione il piano di produzione dell'MPS e determina una prima fattibilità del piano di produzione principale. La sua pianificazione si basa sulla distinta base dell'articolo, dal quale ricava il n° di componenti, prodotti in-house, necessari a produrre il singolo prodotto finito, e dalla cosiddetta lista delle risorse. La lista delle risorse specifica per ogni componente:

- il tipo di attività produttiva da svolgere,
- il work-center in cui questa viene eseguita,
- il tempo ciclo necessario a produrre il singolo pezzo del componente o del prodotto finito.

Dall'unione delle due informazioni, derivanti dalla Bill of Materials e dalla lista delle risorse, si riesce ad associare ad ogni work-center, il tempo ciclo corrispettivo, relativo a produrre i componenti propedeutici alla lavorazione di una singola unità di prodotto finito o a lavorare l'end-item stesso. In altre parole, si ottiene un'associazione work-center-tempo ciclo, dove il tempo ciclo si riferisce al tempo necessario alla produzione di una singola unità di prodotto finito, sia se il work-center deve lavorare componenti con

rapporto n:1 con l'end-item, e sia se lo stesso deve lavorare l'articolo padre o componenti con rapporto 1:1. In questo modo, moltiplicando la quantità pianificata di produzione dell'end-item nei vari bucket temporali e il tempo ciclo necessario alla produzione di una singola unità di prodotto finito in ogni work-center, si riesce ad ottenere la capacità richiesta per soddisfare il piano di produzione in ognuna di queste unità di gestione. Il work-center è, infatti, l'unità di computazione di livello base di un ERP, utilizzata sia come unità produttiva che come unità contabile. Ad esso si possono riferire una o più macchine, attrezzature e staff. Al contrario il CRP entra in gioco dopo l'esecuzione dell'MRP e quindi prende in considerazione sia gli ordini di produzione rilasciati e di conseguenza lo stock in magazzino di un determinato articolo e sia gli ordini schedulati ma non completati. In particolare, il CRP prende in considerazione per ogni semilavorato e per l'end-item i seguenti tempi:

- il tempo di inizio o di fine della lavorazione;
- il tempo di esecuzione unitario (comprensivo del tempo di preparazione e di lavorazione) di ogni operazione a cui è sottoposto;
- il tempo di coda all'entrata del work-center specifico per un determinato step di lavorazione;
- il tempo di movimentazione verso il work-center successivo.

Il tempo di inizio o di fine e le quantità da produrre di ogni semilavorato e dell'end-item sono un input dell'MRP.

Se il time-bucket di riferimento è il giorno, allora anche gli ulteriori tempi devono essere utilizzati con la stessa unità di misura. La conversione dipende dal calendario aziendale e in particolare dalla tipologia dei turni applicati. Se un giorno è costituito da tre turni di 8 ore, allora il tempo di produzione di un determinato semilavorato in un work-center sarà pari ad un giorno se:

$$\frac{\text{tempo di esecuzione}}{24} \leq 1$$

In caso contrario, il tempo di produzione sarà posto pari a due o più giorni. Lo stesso vale per tutti gli altri tempi.

A partire dal tempo di inizio (o dal tempo in cui il materiale deve essere presente in magazzino) si esegue una schedulazione di tipo forward (o backward) sulla base dei tempi precedentemente citati, individuando per ogni work-center coinvolto nella produzione del semilavorato o del prodotto finito le date di inizio e di fine dell'operazione che eseguono. In questo modo si riesce a collocare nel tempo il carico di lavoro necessario per quel determinato articolo o semilavorato per ogni work-center.

A titolo di esempio consideriamo che per la produzione del prodotto X (end-item), si hanno a disposizione le seguenti informazioni:

Time-Bucket			
	1	2	3
X	20	10	5

Tab.8 Output MRP

Operazione	10	20
Work-center	W10	W20
Man number	1	2
Equipment n°	1	2
Batch	100	100
Set-up time	3,5	2
Run time	0,5	0,2
Queue time	8	8
Move time	8	8
Single run time for equipment	0,04	0,044

Tab.9 Ciclo tecnico del prodotto X

Il Single Run-time For Equipment è il tempo ciclo dell'operazione, vale a dire il tempo necessario alla produzione di una singola unità di prodotto e comprende sia il tempo di preparazione che il tempo di lavorazione vero e proprio. Esso viene calcolato nel modo seguente:

$$\text{Single Runtime for equipment} = (\text{Set - up time} + \text{Run - time}) \times \text{Equipment n°} / \text{Batch}$$

Partendo dal primo time-bucket, si prendono in considerazione i seguenti tempi:

Workcenter- operazione	Tempo di esecuzione	Tempo di coda	Tempo di movimentazione
W10-10	0,8 (1 day)	1 day	1 day
W20-20	0,88 (1 day)	1 day	1 day

Tab.10 Input CRP per il prodotto X

Considerando una schedulazione di tipo backward, la data di completamento dell'ultima operazione necessaria a produrre il prodotto X (operazione 20) corrisponde all'inizio del giorno 0. Di conseguenza, la data di inizio dell'operazione 20 corrisponde all'inizio del giorno -1; mentre la data di completamento dell'operazione 10 corrisponde alla fine del giorno -4 e la data di inizio all'inizio dello stesso giorno.

	-4	-3	-2	-1	0	1
W10	0,8					
W20				0,88		

Tab.11 Output parziale CRP per il prodotto X

Ripetendo tale operazione per ogni time bucket e per ogni semilavorato del prodotto X e di altri articoli, che uno stabilimento produce, si ottiene la capacità necessaria nei vari intervalli di tempo, a livello di work-center, affinché un determinato piano di produzione sia fattibile. Se per una risorsa, la capacità supera la

soglia massima allora si può intervenire a modificare la programmazione degli ordini sui work-center critici e di conseguenza su quelli ad essi vincolati per un dato articolo, effettuando una serie di simulazioni. Affinché gli output del CRP siano puntuali è importante avere informazioni real-time sullo stato avanzamento degli ordini di produzione schedulati per l'arrivo in un dato periodo, o di quelli rimasti incompleti; nonché dei tempi di coda e di movimentazione il più vicino possibile alla realtà.

5.1.2 Factory Scheduling

Il Factory Scheduling è il sistema di schedulazione degli ordini di produzione resi visibili in fabbrica. Esso permette di trovare la sequenza ottima dei vari ordini di produzione sulle macchine, impostando vincoli sulla disponibilità del materiale, sulla disponibilità delle macchine e delle risorse umane. I primi in relazione all'effettiva disponibilità in magazzino del materiale suddetto, le ultime due in relazione ad un calendario aziendale ed altre particolarità.

I criteri di ottimizzazione si distinguono in metodi statici e metodi dinamici.

Definiamo un job, l'insieme delle operazioni da svolgere per la produzione di un determinato articolo. Nell'applicazione dei metodi statici di schedulazione si devono prendere in considerazione le seguenti ipotesi:

1. La stessa risorsa non può lavorare più di un job per volta.
2. Le precedenze delle operazioni devono essere rispettate.
3. I materiali devono essere tutti disponibili all'inizio della schedulazione.
4. I tempi ciclo sono deterministici.
5. Le risorse non sono soggette a break-down o è possibile determinare almeno una macchina alternativa.
6. Non si può interrompere la lavorazione di un job.
7. I tempi ciclo dei singoli job non dipendono da attività di set-up.
8. Non vi è cancellazione di un job.
9. I lotti sono indivisibili.
10. È possibile avere WIP, ma è importante ridurre i tempi di attesa in modo da ridurlo.

In questo modo i risultati attesi e reali della schedulazione coincidono.

L'azienda schedula gli ordini di attrezzaggio indipendentemente dagli ordini di produzione in modo da validare l'ipotesi (7). In particolare, il job di attrezzaggio su di una macchina abilita le bolle di produzione (la bolla corrisponde ad un'unica operazione di un ordine di produzione) di un determinato articolo, ordinate secondo logica FIFO. I job di attrezzaggio sono sequenziati su singola macchina anche nel caso della cella, a differenza dei job di produzione, schedulati soltanto all'ingresso della cella. In questo modo, l'OdP di attrezzaggio su di una data macchina della cella (p.e la prima) può iniziare mentre termina l'OdP di produzione di un determinato articolo sulle ultime macchine della cella stessa. Il contrario non è possibile. Tale tecnica di mascheramento delle attività improduttive, quali il set-up, durante il tempo di lavorazione della cella rientra nella cosiddetta filosofia SMED. Il numero di bolle di produzione per una data operazione

di un ordine di produzione per un determinato articolo, atte a soddisfare esattamente la quantità richiesta dal cliente nel mese corrente, è gestito tramite il MES e la sua integrazione con l'ERP. Questo significa gestire un lotto economico di produzione dinamico, in relazione alla quantità richiesta dal cliente effettivamente nel mese e non in relazione alla quantità prevista annualmente. In altre parole, il lotto economico dell'AS-IS può essere visto come la somma di un numero di lotti di dimensione pari all'unità di avanzamento del processo e suddetto numero viene determinato mese per mese, in maniera puntuale. Di conseguenza a parità del n° di set-up e relativi costi, si ha una riduzione del lotto minimo di produzione (EPQ), che comporta una riduzione (di entità pari alla metà della riduzione dell'EPQ) del costo di stoccaggio. Il costo di stoccaggio dipende dai metri quadri occupati in magazzino fisicamente, da un tasso di interesse, che esprime il costo opportunità dell'immobilizzo di quel determinato bene e dalla giacenza media.

Il MES permette di:

- determinare i tempi cicli effettivi delle macchine dell'impianto, validando l'ipotesi (4);
- monitorare lo stato della macchina attraverso l'utilizzo di particolari sensori da cui raccogliere i dati, in modo da intervenire prima che la macchina si guasti effettivamente;

I parametri da tenere in considerazione in una schedulazione statica sono i seguenti:

- Release Date;
- Due Date;
- Il peso;
- Il tempo di processamento, che dipende dal tempo effettivo della singola macchina calcolato da sistema e dalle quantità da lavorare;
- Start Time (Tempo di inizio dell'attività sulla macchina).

Le prime due date sono rispettivamente la data in cui viene effettuato il dispatching e la data di consegna gestita dall'ERP, mentre le ultime due informazioni sono raccolte e/o definite tramite il MES.

In base a tali parametri, si determinano differenti misure di prestazione, sulla base delle quali si può valutare un piano di schedulazione. Questi sono i seguenti:

- Istante di completamento dell'ultima operazione di un Job, a partire dallo Start Time (C_j).
- Il ritardo di un job, valutato come la differenza tra il tempo di completamento e la due date (L_j).
- Il ritardo di un piano di schedulazione, corrispondente al ritardo maggiore tra i job in ritardo (L_{max}).
- L'anticipo di un piano di schedulazione, corrispondente all'anticipo maggiore tra gli Odi in anticipo (E_{max}).
- Il Flow Time, calcolato come la differenza tra il tempo di completamento e la data di rilascio del job.
- Il massimo tempo di completamento, istante in cui termina l'ultima operazione dell'ultimo job (C_{max} o Makespan).
- Idleness, coincidente con la differenza tra il Makespan e la somma dei tempi di processamento dei vari job su una data macchina.

In relazione a tali misure di prestazione si può decidere di ottimizzare una tra le seguenti funzioni obiettivo:

- Min (C_{max});
- Min (L_{max});
- Max (E_{max});
- Min $\sum_j C_j$;

Con l'algoritmo di Campbell si può trovare una soluzione di ottimo locale al problema di Min (C_{max}) e quindi l'istante di completamento dell'ultima operazione dell'ultimo OdP su una sequenza di m macchine (anche le celle di produzione sono schematizzate come singola macchina sul sistema). Minimizzare C_{max} , significa minimizzare anche il tempo di attesa della macchina, inteso come il tempo in cui la macchina funziona ma non processa nessun ordine di produzione. Infatti:

$$I_i = C_{max} - \sum_j p_{ji}$$

Le seguenti considerazioni possono essere effettuate fintantoché non si deve interrompere un'operazione a causa del fatto che un altro ordine acquisisce una maggiore priorità. In questo caso, si può applicare una schedulazione dinamica. Questa prende in considerazione sia il costo per anticipare un ordine di produzione che il vantaggio nel farlo, definendo quella che viene detta priorità del job. La priorità di un job è definita come la differenza tra il vantaggio di anticipare un job e il suo costo, rapportato con il suo tempo di processamento. Il vantaggio di anticipare un job dipende da:

- Peso del job
- Tempo di processamento
- Funzione d'urgenza.

Sulla base di suddetta funzione si hanno varie regole di ottimizzazione.

Il costo invece è funzione di un tasso di interesse, che stima il costo opportunità della risorsa stessa, e il suo costo unitario.

In questo ambito la regola dello Slack Lest Time e la Regola di Covert determinano una regola di priorità non solo per i job in ritardo ma anche per quelli in anticipo, diminuendo o aumentando il rapporto tra il peso e il tempo di processamento del job. I job vengono ordinati in maniera decrescente del peso suddetto, e in maniera crescente del tempo di processamento. Il peso potrebbe esprimere l'importanza del cliente.

Nell'ambito dell'Industry 4.0, i dati raccolti dal MES circa lo stato dello Shop Floor, rappresentato dalla disponibilità della macchina, dal Working In process dei vari ordini, dal cambio di priorità degli ordini a causa dell'arrivo imprevisto di altri differenti, permettono metodi di schedulazione e ri-schedulazioni in real-time, basati su simulazioni. Come si è precedentemente citato, tali schedulazioni permettono una riduzione dei tempi di attesa della macchina, riducendo il WIP, e fungono da supporto per l'implementazione delle tecniche SMED.

5.1.3 Il MES e la Lean Manufacturing

La Lean Manufacturing si basa sul principio di eliminare gli sprechi in modo da evitare tutte quelle attività che non apportano valore aggiunto al prodotto o al servizio. I sette sprechi individuati nell'ambito del miglioramento del processo produttivo sono i seguenti:

- Produzione in eccesso;
- Movimentazione;
- Attese;
- Attività di conto lavoro;
- Inventario;
- Trasporto;
- Difetti.

La produzione in eccesso si può ridurre determinando un piano di produzione in linea con gli ordini del cliente, confermando l'approvvigionamento del materiale mese per mese, in relazione al lead time di attraversamento e sincronizzandolo con il flusso produttivo.

Il trasporto può essere schedato in relazione alle date di consegna, determinando il tragitto ottimo in base alla posizione geografica dei destinatari.

Tali attività non rientrano strettamente nell'ambito in cui il MES può dare un supporto; al contrario delle rimanenti voci, dove tale strumento può essere utilizzato come uno strumento di raccolta dati. La raccolta dati permette infatti di intraprendere un processo di monitoraggio e di miglioramento continuo delle attività dello Shop Floor.

Per quanto riguarda la movimentazione, un sistema strutturato di comunicazione, integrato al MES, può mettere in contatto, in maniera real-time due persone o due dispositivi o una macchina ed un dispositivo, eliminando l'attività fisica dell'operatore di chiamata pezzo/utensili/attrezzature.

La richiesta che sarà resa visibile immediatamente può essere evasa in relazione al percorso che l'autista deve intraprendere, sulla base della posizione della macchina nello stabilimento e all'operazione dell'ordine di produzione che sta lavorando. Ciò riduce i tempi di movimentazione.

In relazione alle attese, il MES registra i tempi intercorrenti tra due eventi desiderati.

L'attività di attrezzaggio, schematizzata in quattro macro-blocchi, come citato nel paragrafo 4.2.2.1.1, può essere monitorata nella sua esecuzione per ognuno di questi blocchi, recependo l'informazione circa il tempo di esecuzione. Tali informazioni sono necessarie nell'ottica di descrizione del processo, analisi e definizione delle proposte di miglioramento. A titolo di esempio si può pensare di monitorare il tempo di preparazione della macchina, che comprende le seguenti micro-task:

1. Stampa della documentazione;
2. Ricerca e prelievo dell'attrezzatura da montare;
3. Recupero del materiale necessario per la lavorazione.

Il tempo necessario per la stampa della documentazione può essere notevolmente ridotto attraverso l'integrazione del MES con sistemi software PLM (Product Life Cycle Management). Tali sistemi rappresentano per il MES una fonte di informazioni video, testo e/o pdf riguardanti l'articolo da montare e come montarlo, richiamabili tramite determinate chiave di reperimento che impediscono gli errori. Il

reperimento delle informazioni viene quindi facilitato e si riduce la probabilità che il benessere per l'esecuzione del primo pezzo abbia esito negativo. Ciò comporta una riduzione dei tempi di set-up, indipendentemente dalla presenza o meno dello schedatore, implementato soltanto nella seconda fase del progetto. Si nota inoltre che i software PLM permettono di:

- gestire la storia della documentazione relativo alla progettazione e revisione di un particolare utensile, velocizzando i tempi di approvazione e il Time-to-Market di un nuovo prodotto;
- ridurre i tempi per intraprendere azioni di miglioramento nel processo di industrializzazione di un articolo, con l'integrazione ai sistemi CAD.

Tali attività vengono svolte mentre la macchina lavora, ma ottimizzarle determina un maggiore rendimento della risorsa-uomo nel suo turno. La micro-task (3) può essere ridotta inviando automaticamente la richiesta pezzo nel momento in cui la bolla di attrezzaggio viene aperta sulla macchina, definendo un tempo di urgenza della richiesta in base a trend storici, relativi ai tempi di esecuzione delle attività precedenti all'esecuzione del primo pezzo. In realtà lo stesso automatismo può essere implementato anche nell'attività di lavorazione, imponendo una regola di gestione. Si può pensare di inviare in automatico la richiesta nel momento in cui sono stati lavorati un certo n° di pezzi, dato il tempo ciclo della macchina e la quantità nel contenitore specifico in IN.

L'inventario può essere reso puntuale attraverso la gestione di uno o due postazioni a bordo macchina, in cui localizzare i contenitori dei pezzi da lavorare in IN e dei pezzi lavorati in OUT. Il MES è il responsabile dei dati da trasferire al gestionale e quindi a tag RFID per la tracciabilità dei contenitori e la quantità dei pezzi che questi contengono. Le rettifiche inventariali si riducono notevolmente e si ha completa visione del WIP. I tag RFID permettono anche di memorizzare informazioni sulla qualità del pezzo, dati di cui è responsabile il MES nella dichiarazione delle quantità NOK e della rispettiva causale, contribuendo ad un maggiore WIP CONTROL e supportando i processi di qualità dell'azienda. In realtà, tramite specifici sensori che determinano la posizione di un utensile primario si può determinare immediatamente la causa di un pezzo difettoso e permettere di implementare azioni correttive sulla macchina, oppure in ottica di continuo miglioramento definire una differente metodologia di fissazione del pezzo. Ciò riduce notevolmente i costi di rilavorazione.

Si mette inoltre in evidenza che l'associazione tag RFID-contenitore-bolla di lavorazione permette di avere a disposizione informazioni puntuali circa lo stato avanzamento di un ordine di produzione, ottenendo una programmazione a capacità finita, puntuale.

L'integrazione tra il MES ed i software di manutenzione odierni permettono di determinare piani di manutenzione predittiva, intervenendo prima che un guasto si verifichi. Si possono effettuare analisi sull'affidabilità delle macchine dato il loro ciclo di vita, risparmiando costi di investimento in nuovi macchinari.

In generale, la riduzione dei tempi di set-up, di attese per mancanza materiale o per mancanza dell'operaio determinano un aumento della disponibilità della macchina portando ad una riduzione delle attività di conto lavoro a causa della saturazione degli impianti. In questo modo si riducono le attività extra-produttive e gli impianti produttivi vengono utilizzati in maniera più efficiente. I costi dell'energia e della manutenzione degli impianti vengono ripartiti su una maggior volume di produzione. Il costo dell'energia in particolare, pur essendo un costo diretto del prodotto (in quanto è immediatamente riconducibile ad esso) è però un costo fisso, in quanto la macchina rimane in funzione durante la giornata lavorativa anche se non processa nessun ordine di produzione.

5.2 ANALISI DELL'INVESTIMENTO

5.2.1 I costi sostenuti

Voce di costo	Descrizione	Tipologia	C/O
Software MES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoraggio della produzione ▪ KPI standard ▪ Strumento di comunicazione tra sistemi Scada ed ERP 	Una componente variabile in relazione al n° di utenti per stabilimento e una componente fissa	CAPEX
Software Sentinel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema di monitoraggio delle prestazioni delle macchine ▪ Sistema di allarme ▪ Permette la creazione di ordine di manutenzione tempestivi se integrato con sistemi MES. 	Variabile in relazione al n° di server-client implementati	CAPEX
Ammortamenti Licenze Software MES e SENTINEL	Accantonamenti annuali	Fisso	OPEX
Costi di implementazione del progetto MES:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analisi Funzionale ▪ Definizione delle interfacce ▪ Integrazione con ERP e parametrizzazione ETL ▪ Costruzione del modello del sistema ▪ Installazione e Testing ▪ Training 	Variabile per FTE impiegate	Trattato come OPEX
Costi Hardware-Client	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Device integrativi 	Variabile	CAPEX
Software Factory Scheduling	Software di schedulazione dei job di fabbrica	Una componente variabile in relazione al n° di utenze per stabilimento e una componente fissa	CAPEX
Software CRP	Software di programmazione degli Ordini di produzione a capacità finita	Una componente variabile in relazione al n° di utenze (Impianti) per Region e una componente fissa	CAPEX
Ammortamenti Licenze Software CRP e FS	Annuali (Riducono l'utile ante-imposte e quindi e tasse)	Fissa	OPEX

Costi pianificati di implementazione del CRP e FS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costruzione del modello del sistema ▪ Installazione e Testing ▪ Training 	Variabile per FTE impiegate	Trattato come OPEX
Ammortamenti device integrati	Accantonamenti annuali	Fissa (% Device)	OPEX
Servizi Manutenzione Software MES	Annuali	Fissa (% software)	OPEX
Servizi Manutenzione Software CRP e FS	Annuali	Fissa (% software)	OPEX

Tab.12 Voci di costo

Con l'utilizzo di un metodo SaaS, le voci di costo Capex sarebbero rientrate in un'unica voce di costo di tipo Opex, comprensiva di abbonamento a software e servizi di manutenzione e gestione, pagate annualmente. L'azienda ha esternalizzato solo in parte l'attività di Application Maintenance. La quantificazione delle voci di costo è riportata negli allegati.

5.2.2. I benefici

Nella valutazione dei benefici di un sistema MES bisogna considerare dapprima quei benefici derivanti da un risparmio di tempo e di carta. Infatti, il primo spreco che un sistema di Manufacturing Execution System elimina è quello relativo al consumo di materiali di base (carta, adesivi, ecc..) necessari allo svolgimento delle task più elementari che si eseguono in produzione, come la stampa della documentazione idonea al settaggio di una data macchina, oppure quello relativo al consumo di tempo nella ricerca della documentazione o più in generale nella determinazione degli indicatori di performance della macchina (o delle risorse produttive), turno per turno, e del suo (loro) monitoraggio. In altre parole, un sistema di questo tipo rende più efficiente l'esecuzione delle attività operative, quotidiane, legate allo Shop Floor. Per la valutazione di tali benefici, il punto di partenza è stato l'elenco di tutte le attività che il personale della produzione svolge, in maniera abituale o saltuaria, con il corrispondente tempo di impiego (senza il sistema) e strumento utilizzato. Per ogni attività si è valutata la possibilità di determinare una proposta di miglioramento, permettendo quindi di quantificare il risparmio di tempo e di carta sulla base di poche variabili, quali:

- Bolle di lavorazione al mese
- Bolle di set-up al mese
- Il n° del personale diretto alla produzione e il loro costo orario
- Il n° dei capi-turni e dei capi-reparti e il loro costo orario
- Il n° delle macchine
- La frequenza delle attività di monitoraggio e il costo orario del personale
- Il n° dei turni e dei giorni al mese lavorativi.

Tali benefici vengono chiamati Soft Benefit e sono rilevanti per la giustificazione dell'investimento di un sistema di questo tipo (Segue Allegato). Infatti, questi ti permettono di recuperare l'investimento in un range temporale in media che va dai 6 ai 24 mesi dal go-live.

Al contrario, si definiscono Hard Benefit quei benefici derivanti dall'integrazione del MES con altri sistemi di pianificazione, manutenzione, e con l'ERP stesso; oppure attraverso il suo utilizzo come supporto a metodi aziendali di miglioramento continuo delle attività di fabbrica.

5.2.3 Valutazione dei benefici

Motivazione	Valutazione del beneficio	% di miglioramento
Riduzione del lead-time di trattamento del blank	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento dell'indice di rotazione del magazzino delle materie prime ▪ Riduzione dei costi di: <ul style="list-style-type: none"> ○ Occupazione m2 ○ Personale addetto alla movimentazione ○ Assicurazione sulla merce stoccata ○ Tasso di interesse 	<p>6 gg in meno Non vi è rischio di rottura di stock</p>
Riduzione del lead-time di lavorazione del prodotto tornito	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento dell'indice di rotazione del WIP ▪ Riduzione dei costi di: <ul style="list-style-type: none"> ○ Occupazione m2 ○ Personale addetto alla movimentazione ○ Assicurazione sulla merce stoccata ○ Tasso di interesse 	<p>6 gg in meno Non vi è rischio di rottura di stock</p>
Riduzione del lead-time di spedizione e imballaggio (Gestione ordini di imballo)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento dell'indice di rotazione del Prodotto finito ▪ Riduzione dei costi di: <ul style="list-style-type: none"> ○ Occupazione m2 ○ Assicurazione sulla merce stoccata ○ Tasso di interesse 	<p>1 gg in meno Miglioramento Customer Service</p>
Riduzione dei tempi di set-up	<p>Maggiore efficienza del personale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Riduzione di costo legato ad attività improduttive 	<p>2-10% Risultati di settore</p>
Riduzione dei tempi di set-up	<p>Miglioramento della disponibilità della macchina</p> <p>Riduzione di:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo del C/L ▪ Incidenza oraria dell'energia 	<p>5-20% Risultati di settore</p>
Intervento tempestivo sulla macchina alla creazione di un ordine di manutenzione	<p>Riduzione delle attività di rilavorazione dei pezzi</p> <p>Riduzione di costi di:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manodopera ▪ Energia 	<p>3-8% Risultati per produzioni discrete (dalla letteratura)</p>

Tab.13 Voci di risparmio di costi operativi

5.2.4 Gli out-put di riferimento

Nella valutazione dei risultati di tale analisi, si è deciso di valutare tre possibili scenari degli 81 possibili, ottenuti dalla combinazione dei tre valori delle quattro differenti variabili, utilizzati come parametri per la valutazione dei tre risparmi dei costi operativi, derivanti dall'implementazione MES-FS-CRP, e del tasso di sconto. In particolare, le prime tre variabili sono relative ad una migliore efficienza della risorsa-uomo e ad una maggiore disponibilità e performance della risorsa-macchina.

Si è così determinato per ogni scenario:

- NPV nel terzo periodo;
- NPV nel quarto periodo;
- Il delta risparmio dei costi operativi a partire dal 6° anno;
- Tasso interno di rendimento dei flussi di cassa di progetto reinvestiti (MIRR) al tasso di sconto ipotizzato, rappresentante il NPV in termini percentuali;
- Pay-Back;

Dopo di ch  si   effettuata un'analisi Monte Carlo, definendo per le stesse variabili una distribuzione di probabilit , in modo da prendere in considerazione il fattore rischio.

Il NPV a tre anni e il NPV del 4° periodo sono stati presi in considerazione in quanto relativi al fattore di obsolescenza del software. In particolare, il NPV del 4° periodo prende in considerazione il valore attuale netto dell'investimento considerata la completa implementazione sia del MES che del FS-CRP, che infatti avviene in due anni differenti.

Il MIRR   stato preso in considerazione invece dell'IRR in quanto prende in considerazione l'ipotesi che i flussi di cassa dell'investimento sono reinvestiti al costo opportunit  dell'investimento e non al tasso interno di rendimento del progetto stesso, essendo quest'ultima ipotesi pi  verosimile.

Il Pay-back mostra invece il periodo di ritorno dell'investimento senza considerare l'attualizzazione dei flussi di cassa.   importante in questa analisi in quanto mostra che l'investimento del MES si ripaga da solo, esclusivamente eliminando le inefficienze a livello di Shop Floor. Tutti gli ulteriori benefici, derivanti dall'utilizzo del MES con altre tecniche di miglioramento dei processi produttivi, decisioni aziendali (a livello organizzativo e strutturale) ed altri strumenti di pianificazione determinano dei risparmi dei costi operativi di lungo periodo dell'impresa, che determinano un aumento del valore dell'impresa stessa (Δ Valore).

5.2.4.1 Le ipotesi sul tasso di sconto

Il tasso di sconto dell'investimento rappresenta il costo opportunit  del capitale investito nel progetto. Per la determinazione del costo opportunit , si   cercato di costruire quella che poteva essere la migliore alternativa possibile d'investimento, agli occhi di un investitore/azionista di maggioranza dell'azienda stessa, che come noto ha un'alta propensione al rischio. Per determinare la migliore alternativa possibile, si   deciso di costruire un portfolio costituito in parte da titoli azionari e in parte da obbligazioni statali. In particolare, si   ricercato un indice di mercato che rappresentasse al meglio i titoli azionari migliori a livello globale dei paesi sviluppati e di quelli emergenti, in modo da scegliere di investire parte del capitale in una ETF che utilizzasse come metodologia di investimento esattamente lo stesso schema dell'indice in questione. Si   ripetuto lo stesso procedimento per la scelta di un ETF che invece replicasse l'indice delle

obbligazioni dei 7 migliori titoli di Stato a livello internazionale, in modo da poter diluire la rischiosità del portfolio. Si è deciso di determinare tre profili di rischio dell'investimento (basso, medio, alto), variando i pesi (w_i) nei due investimenti, così da ottenere sia un portfolio con una volatilità più vicina al titolo più rischioso (rendimento più alto) e sia uno con una volatilità più vicina al titolo meno rischioso (rendimento più basso). Si è scelto infine un portfolio con $w_1 = w_2 = 0,5$ per rappresentare una situazione di profilo medio di rischio. Tale scelta restituisce come rendimento il punto medio dell'intervallo $[r_{obbl}; r_{azion}]$. Tali rendimenti sono stati utilizzati come parametri nella determinazione dei tre scenari: Best case, Average case, Worst case. Al contrario, nella simulazione Monte Carlo, si è assegnata una distribuzione di probabilità triangolare a tale variabile, assegnando maggiore probabilità di accadimento al valore centrale e massimo dell'intervallo prescelto. Tale scelta si base semplicemente su considerazioni relative alle performance attuali (relative agli ultimi 3 anni) del mercato azionario e obbligazionario precedentemente citati, e che rappresentano d'altronde i costi opportunità più alti per l'investimento. L'orizzonte temporale preso in considerazione per l'investimento nel portfolio è di tre anni, in maniera tale che fosse confrontabile con il periodo di riferimento dell'investimento nel progetto e che fosse il più possibile rappresentativo della condizione attuale dei mercati, in modo da dare un'idea del costo opportunità ma non delle future condizioni del mercato stesso. I rendimenti presi in considerazione sono stati i rendimenti annualizzati su tre anni dei due ETF. Questi rappresentano infatti i rendimenti medi nel periodo di tempo preso in considerazione e non i rendimenti medi annui.

Rendimento cumulato a tre anni ETF su ACWI	0,2147	Rendimento annualizzato a tre anni ETF su ACWI	0,092941	Rendimento annuo	2015	2016	2017
Rendimento cumulato a tre anni ETF su G7 INDEX	-0,022	Rendimento annualizzato a tre anni ETF su G7 INDEX	0,020598	ETF su ACWI	0,074	0,1081	0,097
				ETF su Group-of-Seven Bond Index	0,0868	0,0492	-0,0677
Profilo di rischio	Alto	Medio	Basso				
Peso nel portfolio tit. ETF azionario	0,85	0,5	0,15				
Peso nel portfolio tit. ETF obbl.	0,15	0,5	0,85				
Rendimento port-folio	0,082089	0,056769165	0,031449				

Figura 17. Port-folio. Fonte dati input: (1) (2)

L'indice preso in considerazione per la scelta dell'ETF azionario è noto come MSCI All Country World Index (ACWI). Tale indice rappresenta la performance di società a grande e media capitalizzazione di 23 mercati sviluppati e 24 emergenti, in 11 settori differenti. In ogni mercato esso rappresenta l'85% del flottante libero. I pesi di ogni titolo sono calcolati in base alla capitalizzazione della società in relazione alla capitalizzazione totale del mercato di riferimento.

INDEX CHARACTERISTICS

MSCI ACWI	
Number of Constituents	2,791
Mkt. Cap (USD Millions)	
Index	46,846,423.99
Largest	1,109,543.25
Smallest	29.59
Average	16,784.82
Median	5,846.61

TOP 10 CONSTITUENTS

	Float Adj Mkt Cap (USD Billions)	Index Wt. (%)	Sector
APPLE	1,109.54	2.37	Info Tech
MICROSOFT CORP	834.79	1.78	Info Tech
AMAZON.COM	826.12	1.76	Cons Discr
FACEBOOK A	394.47	0.84	Info Tech
JPMORGAN CHASE & CO	384.20	0.82	Financials
ALPHABET C	374.82	0.80	Info Tech
JOHNSON & JOHNSON	370.59	0.79	Health Care
ALPHABET A	360.50	0.77	Info Tech
EXXON MOBIL CORP	359.96	0.77	Energy
BANK OF AMERICA CORP	283.77	0.61	Financials
Total	5,298.77	11.31	

Figura 18. MSCI All Country World Index: caratteristiche e principali componenti. Fonte: **

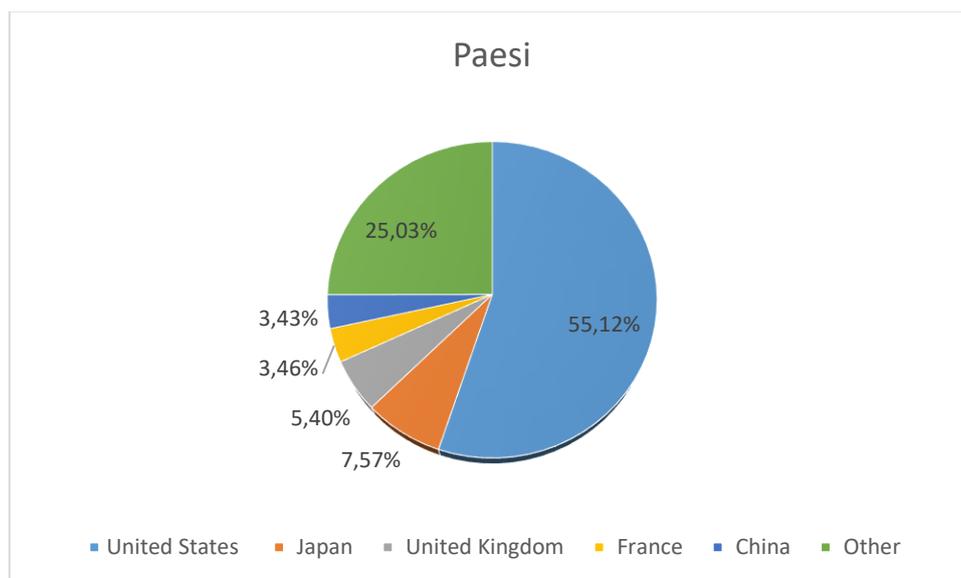


Figura 19. MSCI All Country World Index: peso di ciascun Paese. Adattato da fonte: **

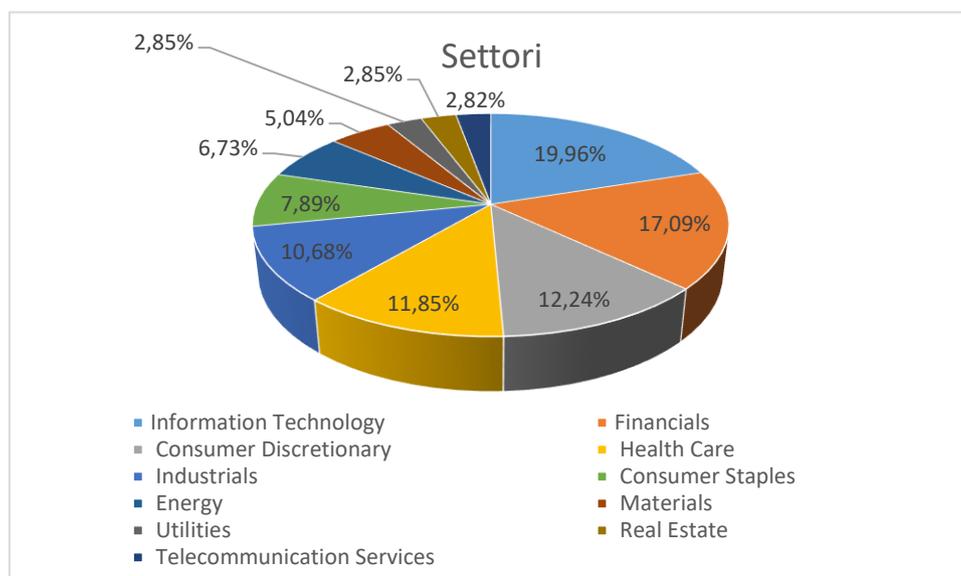


Figura 19. MSCI All Country World Index: peso di ciascun settore. Adattato da fonte: **

(**) <https://www.msci.com/documents/10199/8d97d244-4685-4200-a24c-3e2942e3adeb>

Il FTSE Group-of-Seven (G7) Government Bond Index replica la performance dei G7 Bonds, vale a dire i titoli di stato dei paesi del G7: Canada, Francia, Germania, Italia, Giappone, Regno Unito e Stati Uniti d'America. I G7 Bond possono essere acquistati come prodotto unico oppure come un bundle, tramite intermediari finanziari.

5.2.4.2 Scenari

Come detto nei paragrafi precedenti si sono determinati tre scenari in relazione ai tre possibili valori che le quattro variabili, scelte come parametri della simulazione, possono assumere. Ne segue la rappresentazione.

Parametri	Best case	Average case	Worst case
Costo del personale	23,92	14,33	4,79
Costo del C/L	881,89	647,28	311,27
Aumento margine PF	1407,95	1055,96	527,98
Costo opportunità	0,03	0,06	0,08

Tab.14. Rappresentazione di ogni scenario

Indicatori	Best-case	Average-case	Worst-case
NPV nel terzo periodo	1655,81	1221,04	687,95
NPV nel quarto periodo	3035,81	2134,92	1105,81
MIRR	0,50	0,44	0,29
Pay-Back	1	1	1

Tab.15. Sintesi dei risultati per ogni scenario

Come si nota dalle tabelle 14 e 15, supponendo un livello di rischio e quindi un costo opportunità del capitale alto, l'investimento risulta positivo.

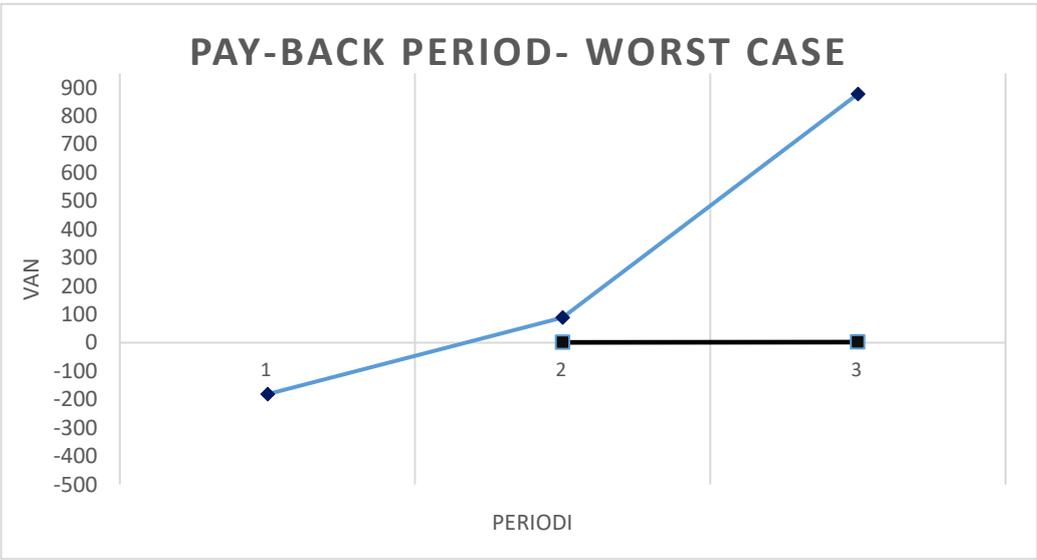
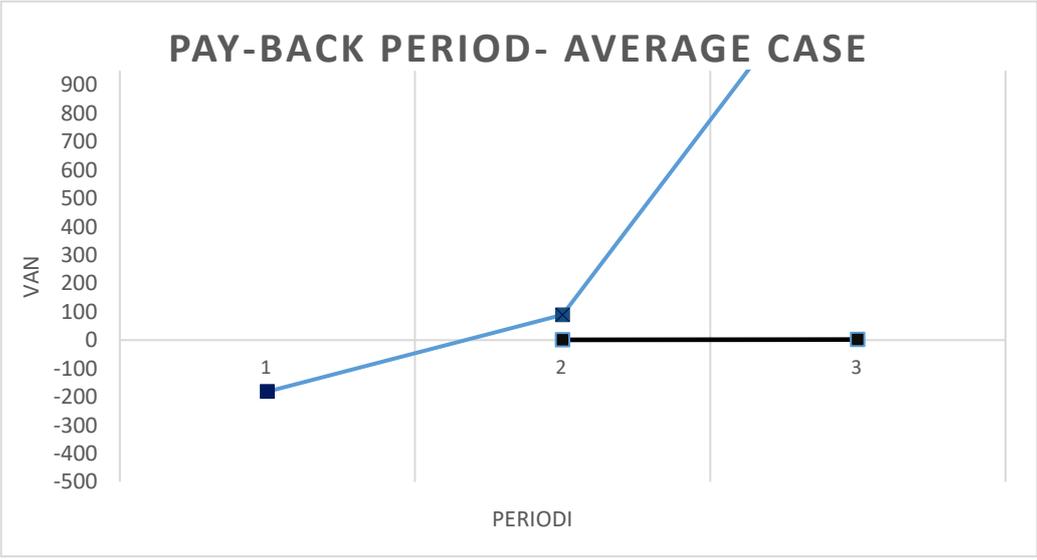
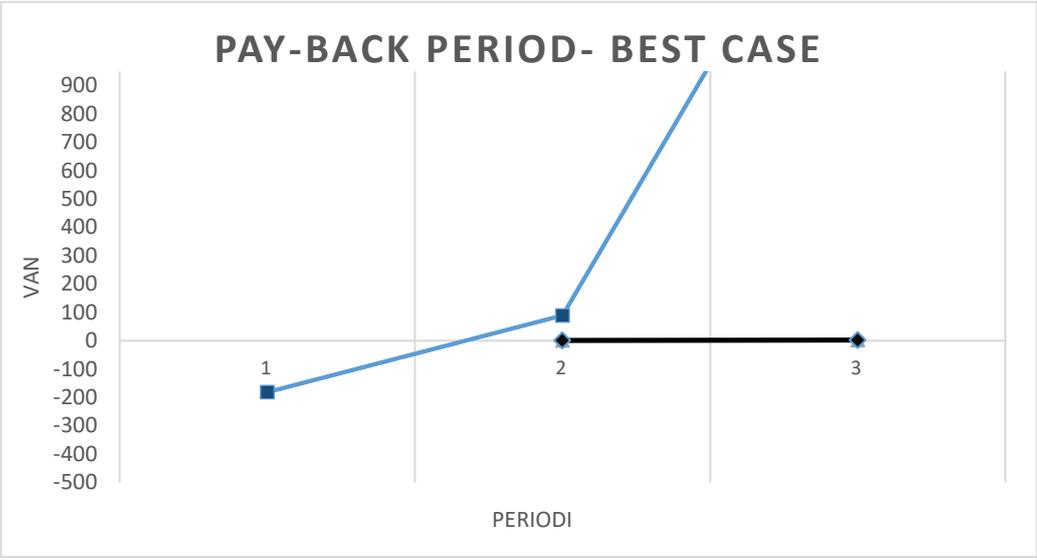
Da quanto detto nel paragrafo precedente, infatti, le prime tre variabili scelte come parametri in tale analisi, sono relative tutte a voci di risparmio di costi operativi, che come detto, non sono il fattore determinante nel recupero dell'investimento, rappresentato invece da quelli che si sono definiti nei paragrafi precedenti come Soft Benefit.

Nel peggiore dei casi il MIRR si attesta intorno al 29%; esso è stato valutato come:

$$(1 + MIRR)^n = (1 + r) = \frac{\sum \text{Flussi di cassa positivi futuri}}{\sum \text{Costo del progetto attuale}}$$

Dove il valore dei flussi di cassa futuri è stato calcolato considerando un tasso di re-investimento pari al costo del capitale ipotizzato. Poiché si è utilizzato un tasso di re-investimento pari al tasso di sconto utilizzato per il calcolo del NPV, il MIRR rappresenta semplicemente il NPV in termini percentuali.

Il pay-back period nei tre casi viene ben rappresentato dai seguenti tre grafici:



5.2.4.3 Analisi Monte Carlo

Nella valutazione dei flussi di cassa relativi agli ultimi tre benefici del paragrafo 5.2.3, si è utilizzata la variabile Gentiangular contenente per oggetto il risparmio di costo ottenuto considerando ciascuna percentuale di riduzione. In particolare, si è calcolato il risparmio di costo relativo al valore min, centrale e massimo del range riportato in tabella. Questi tre valori sono stati utilizzati come oggetto della funzione in questione, in modo che la probabilità di accadimento fosse maggiore per il valore min e per quello centrale. La stessa funzione di probabilità è stata utilizzata per i valori assunti dal tasso di sconto, assegnando una probabilità maggiore al valore centrale e al valore massimo, come descritto nel paragrafo 5.2.4.1.

Segue un esempio di out-put casuale.

	01/01/2018	01/01/2019	01/01/2020	01/01/2021	01/01/2022	01/01/2023	01/01/2024	01/01/2025
Risparmio di tempo e carta		310,94	621,88	310,94				
Costo di stoccaggio MP				2,55	5,24	9,4	13,43	13,43
Costo di stoccaggio WIP				3,74	7,68	13,78	19,68	19,68
Costo di stoccaggio PF				0,15	0,29	0,58	0,73	0,73
Costo del personale				15,08	15,08	15,08	15,08	15,08
Costo del C/L				783,15	783,15	783,15	783,15	783,15
Aumento del margine del PF				890,55	890,55	890,55	890,55	890,55
Totale ricavi		310,94	621,88	2006,16	1701,99	1712,54	1722,62	1722,62
Costi								
Flusso in uscita del progetto tot.		471,68	234,31					
Ammortamenti Hardware		14,44	22,96	22,96	22,96	22,96	8,52	
Servizi Software		21,46	36,13	36,13	36,13	36,13	36,13	
Ammortamenti Licenze d'uso		47,7	80,3	80,3	32,6			
Utile ante imposte		-29,04	388,57	1866,77	1610,3	1653,45	1677,97	1722,62
		0	128,23	616,03	531,4	545,64	553,73	568,46
Tasse		-9,58	128,23	616,03	531,4	545,64	553,73	568,46
		1	2	3	4	5	6	7
Flussi di cassa		-182,2	237,88	1354	1134,46	1130,77	1132,76	1118,03
Flussi di cassa cumulati		-182,2	55,68	1409,68	2544,14	3674,91	4807,67	5925,7
Flussi di cassa scontati		-173,52	215,76	1169,64	933,32	885,99	845,28	794,56
Flussi di cassa cumulati		-173,52	42,24	1211,88	2145,2	3031,19	3876,47	4671,03

Tra le variabili scelte come out-put vi è:

- NPV nel 4° periodo;
- NPV nel 3° periodo;
- Il delta risparmio dei costi operativi dell'impresa a partire dal sesto anno.

Per quanto riguarda i primi due out-put, la simulazione Montecarlo su 100000 iterazione non ha generato nessun accadimento in cui tali variabili avessero segno negativo. Infatti, come detto precedentemente l'investimento viene recuperato a cavallo del 2020.

A partire dal sesto anno, si determina un risparmio dei costi operativi dell'impresa costante nel tempo, dovuti a quelle voci di risparmio di costo che si sono precedentemente definiti come Hard Benefit. Queste voci determinano un miglioramento delle spese operative dell'azienda e quindi del suo EBIT.

Output Name	Scenario	Observations	Mean	Standard Deviation	0%	1%	5%	10%	25%	50%
Delta risparmio dal sesto anno	1	100000	1658,554	216,155	920,560	1154,130	1289,689	1369,090	1510,000	1665,855
Delta risparmio dal sesto anno scontato a t=0	1	100000	1194,145	172,419	620,106	810,627	911,203	969,589	1074,150	1193,738
MIRR	1	100000	0,330	0,030	0,210	0,255	0,277	0,289	0,310	0,332
NPV nel 3° periodo	1	100000	1152,623	128,312	717,250	859,099	937,130	982,500	1063,560	1154,970
NPV nel 4° periodo	1	100000	2029,107	250,159	1187,380	1458,930	1609,690	1697,858	1855,378	2033,215

In altre parole, mentre il NPV nel 3° e nel 4° periodo e il MIRR rappresentano la profittabilità dell'investimento, l'out-put nominato come "Delta risparmio dal sesto anno" rappresenta il beneficio di lungo periodo del progetto stesso. Il valore percentuale in relazione all'Ebit dell'azienda è il seguente:

$$\frac{\text{Risparmio}}{\text{Ebit}_0} = 5,77\%$$

La fonte utilizzata per tale calcolo è il bilancio consolidato della Oerlikon S.p.a dell'anno 2016.

Conclusioni

Un Manufacturing Execution System è un sistema di monitoraggio e gestione della produzione, che utilizza una programmazione guidata agli eventi. Tale sistema si basa sulla gestione di un ordine di produzione, mono-fase oppure costituito da più fasi. Ciò permette di monitorare l'unità di avanzamento in produzione, garantendo una migliore visibilità del WIP e riducendo i mismatch tra l'inventario fisico e contabile. Questi tipi di sistemi permettono di monitorare i tempi di attesa e di ridurre gli sprechi nella normale esecuzione delle attività di fabbrica, garantendo una migliore efficienza delle risorse. Nell'ambito dell'Industry 4.0, le potenzialità del MES vanno ben oltre quelle appena citate. Una perfetta integrazione del MES con il sistema gestionale e con moduli di schedulazione e di programmazione a capacità finita della produzione permette di ridurre i lead-time di produzione e rendere più veloce l'intera catena produttiva. In tale contesto, il MES raccoglie i tempi di coda, i tempi di set-up, e i tempi di effettiva lavorazione per le varie operazioni di ogni ciclo di lavoro, direttamente dallo Shop Floor, permettendo una schedulazione ed una programmazione della produzione puntuale e real-time. Ciò è reso possibile attraverso la comunicazione del MES con sistemi SCADA, PLC, etichette RFID, e altri particolari sensori, da cui raccogliere i dati relativi ai tempi, alle quantità per ogni articolo in produzione ma anche ai parametri di performance della macchina. Di conseguenza, rappresentando il punto di congiuntura tra il mondo della fabbrica e il mondo della pianificazione e dei sistemi ERP, l'implementazione di un sistema di questo tipo è una condizione necessaria, ma non sufficiente, affinché l'azienda raggiunga il suo obiettivo di garantire flessibilità alle esigenze del cliente, al minor costo possibile. Per questo motivo, nella valutazione degli impatti economici a lungo termine si sono considerati i costi di progetto relativi all'implementazione dell'intero sistema MES-Factory Scheduling-CRP, in modo da poter avere evidenza anche dei benefici di lungo periodo correlati.

L'analisi ha posto in evidenza che l'investimento relativo all'implementazione del MES ha un ritorno che dipende esclusivamente dall'eliminazione delle inefficienze di fabbrica, relative agli sprechi di materiale da supporto e alle attese, e viene recuperato in un range temporale che va dai 6 ai 24 mesi dal go-live. In particolare, i flussi di cassa generati permettono di ricoprire anche i costi pianificati per l'implementazione dei successivi moduli di schedulazione e programmazione della produzione. In questo modo, ipotizzando una curva di apprendimento lenta per l'intero sistema, si è messo in evidenza come a partire dal sesto periodo, l'impresa riesce ad ottenere un risparmio dei suoi costi operativi, in maniera perpetua.

Ringraziamenti

Al termine di questo progetto di tesi, mi preme ringraziare il professore Carlo Cambini per avermi seguito durante tutto il lavoro, per la sua disponibilità e professionalità. Nei suoi confronti, nutro una profonda stima.

Ringrazio Marco Garavelli e Marco Curto per avermi dato l'opportunità di assistere a tutte le fasi del progetto e per il tempo speso nell'indirizzare nel verso giusto tale lavoro. In tale contesto, non posso dimenticarmi di ringraziare Paolo Tommasini e Luigi Pannese, per il tempo dedicatomi e i preziosi consigli, e i key-users del progetto, le cui spiegazioni sono state fondamentali per la comprensione dei processi aziendali. Ringrazio Pierluigi Lucco, Paolo Costamagna e Raffaele Chiatto e tutti i colleghi dell'IT, con cui ho condiviso questa nuova esperienza. Spero di essere stata di aiuto nell'alleviare il carico di lavoro imminente. Un ultimo ringraziamento è rivolto a Paolo Campo, per i preziosi input, e a tutto il team Neos/Sedapta.

Grazie a mia madre e a mio zio Gerardo, per i loro preziosi consigli durante tutta questa nuova esperienza e per il mio lavoro di tesi.

Giunta al termine del mio percorso universitario, il ringraziamento più grande va a mio padre e a mia madre, per la loro instancabile presenza e per l'amore con cui mi hanno cresciuta. Loro mi hanno accompagnato in tutte le scelte della mia vita, senza mai offuscare i miei interessi. A loro devo la mia educazione ed istruzione.

Un grazie di cuore a mio fratello, Angelo, per il senso di protezione che ha nei miei confronti, e per il suo appoggio, che non mi fa mai mancare.

Un ringraziamento caloroso va a tutta la mia famiglia, sempre presente, ogni qual volta ne avessi bisogno.

Grazie a Fabiola, la mia migliore amica; con lei possono passare mesi senza sentirci ma ogni volta è come se non ci fossimo mai separate. Grazie a Diletta, amica insostituibile, per le lunghe telefonate; la sua ironia è la più simpatica delle "medicine". Lontane, ma vicine.

Grazie a Incoronata, amica e coinquilina, per le risate in spensieratezza e le lunghe chiacchierate serali, a Napoli. Loro mi sono mancate, a differenza dei film horror.

Un forte ringraziamento va a tutti i miei amici, con cui sono cresciuta e con cui ancora ci ritroviamo nei momenti di festa. Spero che questo non cambi mai.

Un ringraziamento caloroso va anche ad Elena e Letizia, che mi sono state accanto a casa, durante tutti questi mesi

Grazie a Daniela, coinquilina fantastica, dolce e premurosa, ha avuto un pensiero per me fin dal primo giorno, qui a Torino. Non potevo chiedere di meglio. Grazie a Carola, ottima amica ed eccellente cuoca, per i suoi pranzi e le uscite improvvisate. Grazie a lei non mi sono "sciupata". Grazie ad Erika, amica e confidente, per le lunghe passeggiate domenicali. Le attese, alle fermate dei pullman, sembravano più brevi con lei. Grazie a Fede, amica sincera e instancabile. Un ringraziamento affettuoso va ai ragazzi Dino, Marco, Stefano e Thomas, per aver allietato i weekend lontani da casa. Spero di aver lasciato altrettanto in voi.

Bibliografia

Bedolla Joel, Chiabert Paolo Sauza, D'Antonio Gianluca, 2017, *A Novel Methodology to Integrate Manufacturing Execution Systems with the Lean Manufacturing Approach*, in *Procedia Manufacturing* Volume 11, 2017, Pages 2243-2251.

Da Cruz Mauro A.A., Rodrigues Joel J.P.C., Sangaiah Kumar Arun, Al Muhtadi Jalal, Korotae Valery, 2018, *Performance evaluation of IoT middleware*, *Journal of network and computer application* 109 (2018), 53-65

Duggan Dominic, 2012, *Enterprise software Architecture and design, entities, services and resources*.

Frye, D. W., and T. R. Gullledge. 2007. "End-to-end Business Process Scenarios." *Industrial Management and Data Systems*

Hartmut Stadtler, 2004, *Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges*, in *European Journal of Operational Research* 163 (2005) 575–588. [DOI: 10.1016/j.ejor.2004.03.001]

Dr.Heiner Lasi *et all*, 2014; *Industry 4.0*, [DOI10.1007/s12599-014-0334-4]

Yang Wenyi, Luo Jian, Yang Junbin, Pan Jianhua, Wang Xiaoqiang, 2007, *A Study of the Method of Capacity Requirements Planning*, IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, November 18-20, 2007, Nanjing, China,

Yang Wenhe and Takakuwa Soemon, 2017, *Simulation-based dynamic shop floor scheduling for a flexible manufacturing system in the industry 4.0 environment*

Madderna Harry, Smarta Philip Andrew, Maulla Roger S. and Childeb Stephen, 2014, *End-to-end process management: implications for theory and practice*, *Production Planning & Control*, 2014 Vol. 25, No. 16, 1303–1321, <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2013.832821>

OIC 24, 2015, *Principi contabili*

Oeters David, June 2017, *Unlocking the mystery of ROI for mes*. Available at <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1624354/Newsletters/CIMx-July-ROI.pdf?t=1501604546955>

Accessed: 6/09/18

Pienaar A., 2004, *Advanced Planning*, in *SA Journal of Industrial Engineering*, Vol 15(1): pag 1-18, available at <http://sajie.journals.ac.za>

Swanton Bill and Smith Alison, 2005, *MES for long-term revenue and market benefits* AMR Research, USA

Jacobson Simon F, 2014, *Extend the Value of MES Beyond the Plant*, [ID:G00260891]. Available at <http://www.gartner.com/technology/reprints.do?id=11XCWJON&ct=140714&st=sq>

Zhao, ZY, Ball, MO and Kotake, M, 2005, *Optimization-based available-to-promise with multi-stage resource availability*. *Annals of Operations Research*, 135(1): 65–85.

Zhong Ray Et all, 2014, *A two level advanced production planning and scheduling model for RFID-enable ubiquitous manufacturing*, in *Science Direct*.

Available at <http://www.elsevier.com/locate/ani>

Luca Settineri, *Materiale didattico a.a 2015/16, Analisi dei sistemi di produzione industriale*, Agostino Villa, 2006, Clut Editrici.

Sitografia

(1) <https://www.justetf.com/it/etf-profile.html?isin=IE00B3F81K65&tab=returns>

(2) <https://www.justetf.com/it/etf-profile.html?tab=returns&isin=IE00BGHQ0G80>

(3) <https://www.justetf.com/it/how-to/msci-acwi-etfs.html>

(4) <https://www.msci.com/documents/1296102/1362201/MSCI-MIS-ACWI-May-2018.pdf/2eda5573-4e0c-56f9-b3ca-d6b3eb3552e7>

(5) <http://static.gest.unipd.it/labtesi/eb-didattica/EAI/montecarlo>