

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

REAL TIME SCHEDULING AND ACTIVITY CONTROL IN ONE-OF-A-KIND PRODUCTION



Relatori

Ch.ma Prof.sa Giulia Bruno

Ch.mo Prof. Franco Lombardi

Candidato

Mattia Orlando

Anno accademico 2019 - 2020

This work is subject to the Creative Commons Licence

All Rights Reserved

ABSTRACT

REAL TIME SCHEDULING AND ACTIVITY CONTROL IN ONE-OF-A-KIND PRODUCTION

I tradizionali approcci di pianificazione della produzione riguardano la creazione di programmi prima dell'inizio delle attività. Spesso, però, durante lo svolgimento di quest'ultime possono sopraggiungere delle problematiche come l'assenza delle risorse, la nascita di un guasto nella macchina, un intervento manutentivo improvviso ecc. In tali scenari, il manager deve reagire tempestivamente ripianificando le attività sulla base degli imprevisti sopraggiunti e del livello di prestazioni richiesto. Il mancato raggiungimento di tali obiettivi può causare uno scarso utilizzo delle risorse, una riduzione della qualità del prodotto e un ritardo nelle consegne. L'innovazione della pianificazione in tempo reale consiste nell'aggiornamento in itinere dei piani di produzione tenendo in considerazione gli imprevisti sopraggiunti e il livello di performance richiesto. Dunque, questo studio si rivolge all'implementazione di un sistema MES (Manufacturing Execution System) per la pianificazione in tempo reale delle attività tramite l'analisi dei dati raccolti sul processo produttivo. Il sistema è stato implementato in un'azienda italiana che produce componenti in lamiera per prototipi e piccole serie nel settore automobilistico, caratterizzata da una produzione ad alta complessità e ad alto mix di prodotti. In particolare, sono state raccolte informazioni sui prodotti, sulle macchine, sulla tipologia e sulla durata delle attività produttive per ottimizzare la funzione di pianificazione del sistema. L'efficacia di quest'ultima è stata poi comprovata da un confronto con la pianificazione effettuata dall'impresa stessa al termine del 2019. Infine, sono state modificate le categorie di classificazione dei tempi di fermo macchina per la raccolta dei dati in tempo reale e, conseguenzialmente, l'aggiornamento in itinere dei piani di produzione.

INDICE CONTENUTI

	Page
ABSTRACT	II
INDICE CONTENUTI	III
INDICE FIGURE	V
INDICE TABELLE	VI
INDICE ALLEGATI	VI
INTRODUZIONE	7
LA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE	9
1.1 INDUSTRIE 4.0 – GERMANIA	10
1.1.1 <i>Obiettivo tecnologico</i>	<i>10</i>
1.1.2 <i>Organizzazioni partecipanti</i>	<i>10</i>
1.1.3 <i>Governance</i>	<i>11</i>
1.2 ADVANCED MANUFACTURING PARTNERSHIP (AMP) – USA	11
1.2.1 <i>Obiettivo tecnologico</i>	<i>11</i>
1.2.2 <i>Organizzazioni partecipanti</i>	<i>11</i>
1.2.3 <i>Governance</i>	<i>11</i>
1.3 INDUSTRIA 4.0	11
1.3.1 <i>Internet of Things (IOT)</i>	<i>13</i>
1.3.2 <i>Big Data & Analytics</i>	<i>14</i>
1.4 COME SFRUTTARE AL MEGLIO LE TECNOLOGIE ABILITANTI PER MIGLIORARE LE PERFORMANCE PRODUTTIVE?	16
ONE-OF-A-KIND PRODUCTION	18
SISTEMA M.E.S.	20
3.1 MRP LIMITI E FUNZIONALITÀ	20
3.2 STANDARD ANSI/ISA-95	22
3.2.1 <i>Parte 1: Modelli e terminologia</i>	<i>23</i>
3.2.2 <i>Parte 3: modelli di attività di gestione delle operazioni produttive</i>	<i>27</i>
OCTAVIC PET SYSTEM	34
4.1 IL SOFTWARE	34
4.2 PECULIARITÀ	34
4.3 INDICATORI DI PERFORMANCE	37
4.3.1 <i>OEE: Overall Equipment Effectiveness</i>	<i>37</i>
4.3.2 <i>Manutenzione</i>	<i>39</i>
L'AZIENDA CAMPIONE	42
5.1 EURODIES: PANORAMICA SULL'IMPRESA E SUL SETTORE IN CUI OPERA	42
5.2 GESTIONE DELLA COMMESSA	43
5.2.1 <i>Ricezione disegno CAD</i>	<i>44</i>

5.2.2	<i>Definizione ciclo e disegno stampi</i>	44
5.2.3	<i>Simulazione del processo di stampaggio</i>	45
5.2.4	<i>Progettazione dei percorsi utensile Reparto CAM</i>	45
5.2.5	<i>Produzione degli stampi</i>	45
5.2.6	<i>Costruzione struttura per il taglio laser 3D</i>	46
5.2.7	<i>Messa a punto</i>	47
5.2.8	<i>Produzione dopo la messa a punto</i>	48
5.2.9	<i>Taglio laser</i>	48
5.2.10	<i>Collaudo</i>	48
5.2.11	<i>Spedizione</i>	48
5.2.12	<i>Processo Produttivo – Flow chart</i>	49
GENERALITÀ SULLA FRESATURA MECCANICA		50
6.1	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO.....	50
6.2	LA FRESATRICE.....	50
6.2.1	<i>Mandrino orizzontale</i>	50
6.2.2	<i>Mandrino verticale</i>	51
6.2.3	<i>I centri di lavoro per la fresatura</i>	51
6.3	LA FRESA	51
6.4	I PARAMETRI DELLA FRESATURA MECCANICA.....	51
6.5	POTENZA E COPPIA	52
ANALISI DEI DATI D'INPUT NEL SISTEMA MES		53
7.1	FASI DEL PROCESSO PRODUTTIVO COINVOLTE.....	53
7.2	REPARTO AZIENDALE D'INTERESSE	53
7.3	CICLO PRODUTTIVO DELLE ATTREZZATURE	54
7.4	VARIABILI DI MODIFICA DEL CICLO PRODUTTIVO	55
7.5	EFFETTI DI MODIFICA DELLE VARIBILI	55
7.5.1	<i>Preferenze d'allocazione delle attività alle macchine</i>	57
MODIFICHE AL SOFTWARE OCTAVIC		59
8.1	INTERFACCIA CARICAMENTO ORDINI.....	59
8.2	MODIFICA DOWNTIMES.....	60
FASE DI TESTING		63
9.1	INDICATORI.....	64
9.2	DATI INPUT DELLE PIANIFICAZIONI	64
9.3	RISULTATI	66
CONCLUSIONI		68
ALLEGATI		69
BIBLIOGRAFIA		72

INDICE FIGURE

Figure	Page
FIGURA 1 "LE QUATTRO RIVOLUZIONI INDUSTRIALI" (MISE)	9
FIGURA 2 "LE TECNOLOGIE ABILITANTI" (MISE)	12
FIGURA 3 "BENEFICI ATTESI" (MISE).....	13
FIGURA 4 TIPOLOGIE DI PRODUZIONE, CLASSIFICAZIONE BASATA SULLA DATA D'ARRIVO DELL'ORDINE. WORTMANN (1997)	18
FIGURA 5 SCHEMATIZZAZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE DAI SISTEMI DI GESTIONE DI UN'IMPRESA E DELLE INFORMAZIONI CHE SI SCAMBIANO.....	21
FIGURA 6 LIVELLI DELLA GERARCHIA FUNZIONALE CON LE ATTIVITÀ COINVOLTE PER OGNI LIVELLO. È STATO DISPOSTO IN ROSSO IL MES TRA IL SISTEMA DI CONTROLLO E IL SISTEMA DI BUSINESS IN QUANTO COSTITUISCE L'INTERFACCIA DI COMUNICAZIONE TRA LE DUE REALTÀ.....	24
FIGURA 7 QUESTO SCHEMA MOSTRA LE AREE DI RESPONSABILITÀ DEL LIVELLO 4 E LE AREE DI RESPONSABILITÀ DEL LIVELLO 3 E/O LIVELLI INFERIORI. SI PRECISA CHE UN'IMPRESA PUÒ CONTENERE UNO O PIÙ SITI, UN SITO A SUA VOLTA PUÒ CONTENERE UNA O PIÙ AREE E COSÌ VIA PER I SUCCESSIVI LIVELLI GERARCHICI.....	25
FIGURA 8 SEMPLICE ESEMPIO DI UN MODELLO A FLUSSO DI DATI IN CUI LE INFORMAZIONI PROVENIENTI DA UN UTENTE ESTERNO VENGONO INVIATE (INPUT) AL SISTEMA CHE LE ELABORA E LE MANDA (OUTPUT) AD UN ALTRO UTENTE.	26
FIGURA 9 QUESTO SCHEMA MOSTRA IL RUOLO DI INTERMEDIARIO SVOLTO DAL MES NEL DIALOGO TRA IL SISTEMA GESTIONALE DELL'IMPRESA E IL PROCESSO PRODUTTIVO E VICEVERSA. IL MES DUNQUE GARANTISCE LO SCAMBIO DI INFORMAZIONI E DI DATI DI PRODUZIONE IN TEMPO REALE TRA LA PARTE GESTIONALE E LA PARTE PRODUTTIVA DELL'IMPRESA.....	27
FIGURA 10 ILLUSTRAZIONE DEL MODELLO PER LA GESTIONE DELLE OPERAZIONI DI PRODUZIONE	28
FIGURA 11 GRAFICA INTERFACCIA OPERATORE	35
FIGURA 12 GRAFICA TEMPI DI INATTIVITÀ MACCHINA.....	35
FIGURA 13 VISUALIZZAZIONE GRAFICA DELLA QUANTITÀ DI PEZZI PRODOTTI E DEGLI SCARTI.....	36
FIGURA 14 VISUALIZZAZIONE GRAFICA ANALISI CAMBIO PRODOTTO.....	36
FIGURA 15 VISUALIZZAZIONE GRAFICA DELLA PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE. NELLA PRIMA FIGURA ABBIAMO LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA PER LINEA PRODUTTIVA, NELLA SECONDA PER PRODOTTO.....	37
FIGURA 16 OPERAZIONE D'IMBUTITURA. NELLA FIGURA SONO ILLUSTRATE LE ATTREZZATURE UTILIZZATE E TUTTE LE FASI DEL PROCESSO.....	44
FIGURA 17 ESEMPIO DI STAMPO IN GHISA, SOLLEVATO DAL CARROPONTE	46
FIGURA 18 STRUTTURA PER IL TAGLIO LASER (PALLET).....	46
FIGURA 19 ESEMPIO DI ROTTURA PER SCARSO SCORRIMENTO DEL FOGLIO DI LAMIERA DURANTE IL PROCESSO DI FORMATURA SOTTO PRESSA.....	47
FIGURA 20 ESEMPIO DI PEZZO IMBUTITO CHE PRESENTA GRINZE.....	48
FIGURA 21 ESEMPIO FRESA A 5 ASSI.....	50
FIGURA 22 (DA SX VERSO DX) CENTRO DI LAVORAZIONE VERTICALE CON UN QUINTO ASSE A; CENTRO DI LAVORAZIONE VERTICALE CON UN QUINTO ASSE B; CENTRO DI LAVORAZIONE ASSIALE A 5 ASSI;.....	51
FIGURA 23 TABELLA CON LE 11 CLASSI E I CORRISPETTIVI RANGE TEMPORALI PER LE ATTIVITÀ DI FRESATURA (IN ORE). INOLTRE, SONO PRESENTI LE PERCENTUALI DEL TEMPO DI CICLO ASSOCIATE AD OGNI MACRO-ATTIVITÀ E LE RISPETTIVE DURATE PREVISTE IN MINUTI.....	56
FIGURA 24 PROCESSO D'INDIVIDUAZIONE DELLE QUATTRO POSSIBILI VARIANTI DI CICLO. ESEMPIO PER UNA SOLA CLASSE	56

FIGURA 25 DIGRAMMA DI FLUSSO ATTRAVERSO IL QUALE SI METTE IN EVIDENZA COME SONO STATE DEFINITE LE REGOLE DI ALLOCAZIONE MACRO-ATTIVITÀ/MACCHINA.....	58
FIGURA 26 MONITOR ASSOCIATI ALLE MACCHINE.....	59
FIGURA 27 INTERFACCIA CARICAMENTO ORDINI. NEL CIRCOLO ROSSO È EVIDENZIATA LA MODALITÀ "CREA GERARCHIA", NEL CIRCOLO VERDE IL CAMPO D'INSERIMENTO DELL'ULTIMA MACRO-ATTIVITÀ DEL CICLO.....	59
FIGURA 28 PROCESSO DI CARICAMENTO ORDINE (FA RIFERIMENTO ALLE 4 VARIANTI DI CICLO, VALUTATE PRECEDENTEMENTE).....	60
FIGURA 29 CATEGORIE DOWTIMES DI DEFAULT NEL SISTEMA.....	61
FIGURA 30 NUOVE CATEGORIE DOWTIMES NEL SISTEMA.....	62
FIGURA 31 MODULO.....	63
FIGURA 32 RISULTATI- GRAFICO A TORTA.....	67

INDICE TABELLE

Tabelle	Pagina
TABELLA 1 DATI MACCHINE REPARTO "FRESATRICI GRANDI"	54
TABELLA 2 TABELLA CON I DATI DI INPUT.....	65
TABELLA 3 VALORE DEGLI INDICATORI PER OGNI ATTREZZATURA IN PRODUZIONE	66

INDICE ALLEGATI

Allegati	Pagina
ALLEGATO1 PLANIMETRIA REPARTO "FRESATRICI GRANDI"	69
ALLEGATO 2 PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ FATTA DA EURODIES. BASATA SU DATI STORICI.	70
ALLEGATO 3 PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ FATTA DAL SISTEMA MES OCTAVIC. BASATA SU DATI STORICI.	71

INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi fa parte di un ben più ampio progetto del Politecnico di Torino supportato da IoT4Industry e finanziato dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea. L'obiettivo del progetto consiste nell'implementazione del software PET¹ dell'Octavic PTS Company (<https://octavic.dk/>) nel reparto di produzione attrezzature di Eurodies (<http://www.eurodies.com/>) per ottenere una pianificazione in tempo reale delle attività, ovvero durante l'esecuzione delle stesse.

Eurodies è una PMI² italiana che produce componenti in lamiera per veicoli prototipali. L'impresa ingloba al suo interno parte dell'indotto. Infatti, oltre alla produzione dei componenti in lamiera commissionati, si occupa di progettare e produrre le attrezzature necessarie.

Spesso in produzione nascono imprevisti che possono scombussolare i piani definiti prima dell'inizio delle attività. Per evitare d'incorrere in ritardi di consegna, spreco di risorse, riduzione delle performance e della qualità del prodotto è fondamentale aggiornare la pianificazione in itinere, tenendo in considerazione la natura degli imprevisti sopraggiunti. Si assolve a tale esigenza utilizzando un software di pianificazione in tempo reale.

In questo elaborato vengono di seguito descritte:

- (i) l'analisi dei dati del processo produttivo, input del software MES³;
- (ii) l'implementazione del software per una corretta pianificazione delle attività produttive;
- (iii) un confronto tra la pianificazione svolta dall'azienda e quella svolta dal sistema MES;
- (iv) l'implementazione del software per una corretta categorizzazione dei tempi di fermo macchina dovuti a guasti macchina, assenza di risorse, attività manutentive necessarie ma non preventivate ecc., per garantire l'utilizzo dello strumento di pianificazione anche in tempo reale (cioè contemporaneamente al processo produttivo).

La trattazione consta dei seguenti capitoli:

- (i) il primo capitolo è un'introduzione al fenomeno Industria 4.0: la nascita e la diffusione in Germania, USA ed Italia. Al suo interno sono elencate tutte le tecnologie abilitanti definite dal MiSE⁴, ponendo particolare attenzione alla descrizione di quelle coinvolte nel progetto.
- (ii) Il secondo capitolo tratta il concetto di produzione unica nel suo genere (OKP⁵).

¹ Production Efficiency Tracker

² Piccola Media Impresa

³ Manufacturing Execution System

⁴ Ministero dello Sviluppo Economico

⁵ One-Of-A-Kind Production

- (iii) Il terzo capitolo è una panoramica sui sistemi di gestione della produzione, dal MRP⁶ alla nascita del MES. Al suo interno sono descritte le caratteristiche dei sistemi MES ed è sintetizzata la normativa utilizzata per progettarli.
- (iv) Il quarto capitolo è una descrizione delle peculiarità del sistema MES utilizzato, ovvero il Production Efficiency Tracker dell'Octavic PTS Company. Inoltre, descrive il significato degli indicatori forniti dal software.
- (v) Il quinto capitolo introduce l'azienda campione, Eurodies Italia srl, e il settore di mercato in cui essa opera. Inoltre, descrive in modo accurato le attività coinvolte nella gestione di una commessa.
- (vi) Il sesto capitolo fornisce generalità sulla lavorazione meccanica coinvolta nella produzione delle attrezzature, ovvero la fresatura, e sulle macchine utilizzate.
- (vii) Il settimo capitolo descrive il reparto aziendale d'interesse, l'analisi dei dati d'input da inserire nel sistema e la strategia utilizzata per limitarne la varietà.
- (viii) L'ottavo capitolo tratta le modifiche effettuate al sistema MES affinché quest'ultimo possa ricevere i dati input per pianificare opportunamente le attività produttive e categorizzare i tempi di fermo macchina (essenziali per aggiornare i piani di produzione in tempo reale).
- (ix) Il nono capitolo descrive il confronto effettuato tra la pianificazione svolta dal direttore di produzione di Eurodies e quella ideata dal sistema MES. Il periodo preso in considerazione va dalla 48^a settimana del 2019 alla 2^a del 2020. Il confronto è stato effettuato tramite tre indicatori valutati per ogni attrezzatura in produzione in ambo le pianificazioni: tempo d'attesa; tempo di produzione e margine rispetto la consegna.
- (x) Le conclusioni illustrano gli sviluppi futuri del progetto.

⁶ Management Requirements Planning

CAPITOLO 1

LA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

In poco più di duecento anni l'industria è cambiata radicalmente.

La prima rivoluzione, sviluppatasi in Inghilterra alla fine del XVIII secolo, ha visto l'introduzione di macchinari che sfruttavano la forza del vapore e l'utilizzo del carbone. La seconda, avvenuta agli inizi del XX secolo, ha visto la diffusione dell'energia elettrica e l'avvento dei concetti di standardizzazione e specializzazione del lavoro, i quali hanno portato alla produzione di massa (esempio Ford modello T).

Infine, la terza, iniziata nei primi anni '70 del secolo scorso, ha visto l'introduzione dei primi dispositivi elettronici programmabili (PLC⁷) a supporto dell'automazione dei mezzi di produzione e, di pari passo, l'avvento dei computer nella gestione delle fabbriche e nella progettazione di prodotto.

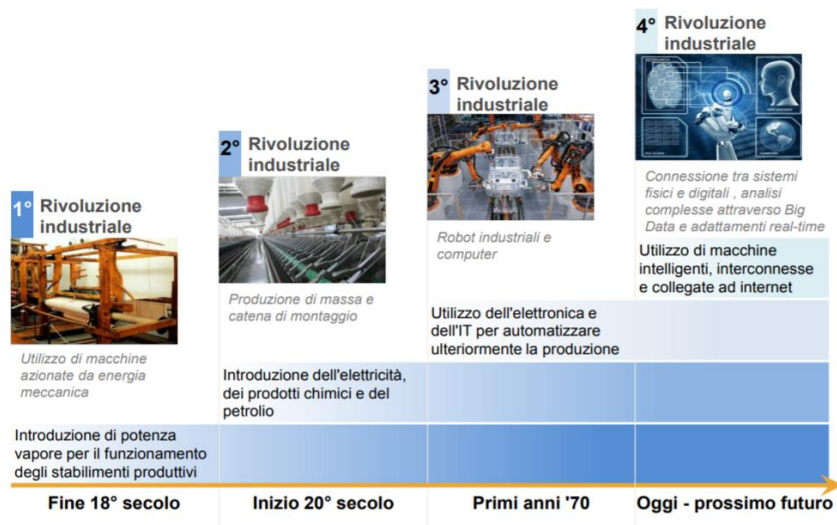


Figura 1 "le quattro rivoluzioni industriali" (MISE)

Oggi è in corso la quarta rivoluzione industriale (industria 4.0).

Il termine "Industrie 4.0" è stato usato per la prima volta nel 2011 dalla Accademia Tedesca di Scienze e Ingegneria (Acatech). Esso individua un'iniziativa adottata dal governo tedesco nel novembre 2011 come parte del più ampio High-Tech Strategy 2020 Action Plan con l'obiettivo di implementare una strategia di digitalizzazione della manifattura nazionale.

Per questo motivo la Germania ha guadagnato il posto di guida all'innovazione in Europa, seguita dalla Francia e dall'Italia.

Gli obiettivi dell'Industria 4.0 sono quelli di promuovere la personalizzazione dei prodotti, rendere automatico e flessibile il processo produttivo, tracciare semilavorati e prodotti, facilitare la comunicazione tra reparti produttivi, applicare l'interazione uomo-macchina

⁷ Programmable Logic Controller, unità di elaborazione in grado di pilotare degli attuatori a fronte di variazioni acquisite attraverso sensori ad esso connessi.

(HMI⁸), ottimizzare la produzione tramite sistemi IoT e fornire nuovi modelli di business integrati tra le imprese coinvolte nella value chain⁹ (S.I. Shafiq 2016, 2015).

Ad ogni modo, le politiche di sviluppo cambiano nel dominio mondiale. Si riporta di seguito il confronto tra il modello tedesco e quello americano a cura dell'osservatorio industria 4.0 del politecnico di Milano (Miragliotta 2016).

Tale analisi sarà eseguita su tre livelli: obiettivo tecnologico; organizzazioni partecipanti; governance.

1.1 Industrie 4.0 – Germania

1.1.1 Obiettivo tecnologico

Al centro di Industrie 4.0 vi è il concetto di Cyber Physical System (CPS), ottenuto tramite la sensorizzazione (Internet of Things) dell'impianto (e del suo contesto operativo) e la costruzione di un "modello virtuale" che consenta di monitorarlo e simularne il comportamento da solo o in un sistema complesso.

Ad esempio, una vettura con i suoi numerosi sensori, con un modello Software della sua dinamica e con un programma elettronico di correzione della stabilità di marcia, è un esempio di un CPS.

Ugualmente presenti nel programma Industrie 4.0, ma meno enfatizzate, sono le tecnologie che consentono una integrazione informativa tra le imprese della value chain.

1.1.2 Organizzazioni partecipanti

Sfruttando la forza del proprio ecosistema di ricerca ed industriale, il programma tedesco coinvolge le aziende fornitrici di automazione (Siemens, Bosch, Festo, etc., a loro volta grandi aziende manifatturiere), le aziende ICT¹⁰, i grandi nomi dell'industria automobilistica e di processo, nonché i centri di ricerca nazionali (Acatech, Fraunhofer Institute, etc.), senza dimenticare le principali associazioni industriali e sindacali del paese, attraverso una piattaforma di condivisione dei risultati.

⁸ Human-Machine Interface, per interfaccia uomo-macchina si intende la funzione o il componente di un determinato dispositivo o di un'applicazione software che consente all'uomo di operare e interagire con le macchine. Alcune interfacce uomo-macchina che incontriamo normalmente nella nostra vita quotidiana sono ad esempio i touchscreen e le tastiere.

⁹ La catena del valore è un modello che permette di descrivere la struttura di una organizzazione come un insieme limitato di processi. Questo modello è stato teorizzato da Michael Porter nel 1985 nel suo best seller *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*.

¹⁰ Information and Communications Technology, tecnologie dell'informazione e della comunicazione sono l'insieme dei metodi e delle tecniche utilizzate nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni (tecnologie digitali comprese).

1.1.3 Governance

Industrie 4.0 prevede un forte coordinamento centrale, affidato ad uno Steering Committee, responsabile di definire le strategie ed indirizzare i singoli gruppi di lavoro.

Lo Steering Committee è poi supportato da uno Scientific Advisory Committee, con figure di spicco provenienti dal mondo accademico, manifatturiero e da un Governing Board, che supervisiona la definizione della strategia e le attività pubbliche.

1.2 Advanced Manufacturing Partnership (AMP) – USA

1.2.1 Obiettivo tecnologico

Il programma americano è invece rivolto alla creazione di una “Smart Manufacturing Platform”: una piattaforma che consente l’integrazione tra i dati e i processi manifatturieri sia interni al singolo impianto produttivo che esterni, così da far interagire tutte imprese coinvolte nella value chain.

L’enfasi è quindi posta sull’integrazione tra sistemi, lasciando in secondo piano le tecnologie che operano sul processo produttivo.

1.2.2 Organizzazioni partecipanti

Anche gli Stati Uniti vantano un ecosistema industriale d’eccellenza, sia in termini di imprese fornitrici di tecnologia (GE, Rockwell Automation, Moog), ICT (Cisco, HP, Intel, IBM), sia in termini di aziende manifatturiere (P&G, Caterpillar, GM, etc.) e di centri di ricerca. Nel caso americano l’attenzione è rivolta alle grandi imprese ICT per la creazione della SMP, la piattaforma aperta ed interoperabile tra le industrie coinvolte nella value chain.

1.2.3 Governance

Rispetto al caso tedesco, l’approccio statunitense vede una presenza molto meno forte del governo centrale. Quindi, nel 2013 l’AMP ha creato diversi Manufacturing Innovation Institutes (MIIs) che, basati su partnership pubblico-private, lavorano su specifici temi di sviluppo. Il modus operandi americano lascia maggiore spazio anche ad iniziative satellitari, come la Smart Manufacturing Leadership Coalition¹¹ (SMLC).

1.3 Industria 4.0

In tale scenario mondiale d’innovazione, le politiche italiane 4.0 sono tardate ad arrivare. Solo nel settembre 2016 il Governo italiano ha presentato l’atteso “Piano Nazionale per

¹¹ Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC), organizzazione privata no profit per favorire la collaborazione tra aziende, enti di ricerca, università e organizzazioni di produttori nella ricerca e nello sviluppo di standard, piattaforme e infrastrutture per l’adozione dello Smart Manufacturing.

l'Industria 4.0", fortemente voluto dal Ministro dello Sviluppo Economico Carlo Calenda. Il Piano nazionale prevede misure concrete e strumenti di agevolazione fiscale che puntano a mobilitare miliardi di euro per investimenti privati in tecnologie abilitanti 4.0, fornendo, così, alle imprese italiane i mezzi per competere in questa corsa alla digitalizzazione e all'innovazione.

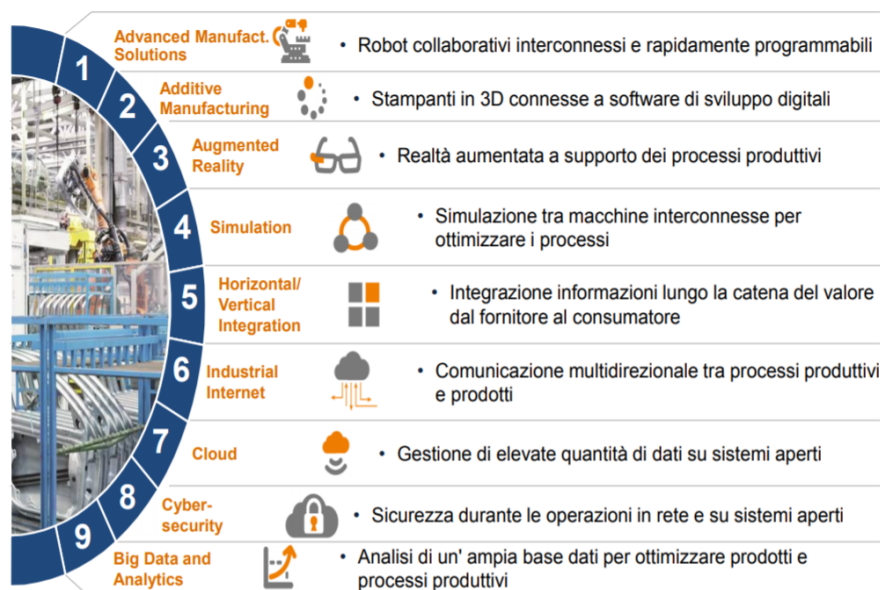


Figura 2 "le tecnologie abilitanti" (MISE)

Il piano mette in evidenza le tecnologie abilitanti in 9 categorie (vedi Figura 2):

1. Advanced manufacturing solution: Robot collaborativi interconnessi e rapidamente programmabili;
2. Additive manufacturing: Stampanti in 3D connesse a software di sviluppo digitali;
3. Augmented reality: Realtà aumentata a supporto dei processi produttivi;
4. Simulation: Simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi;
5. Horizontal/Vertical integration: Integrazione informazioni lungo la catena del valore dal fornitore al consumatore;
6. Industrial Internet of Things: Comunicazione multidirezionale tra processi produttivi e prodotti;
7. Cloud: Gestione di elevate quantità di dati su sistemi aperti;
8. Cybersecurity: Sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti;
9. Big Data & Analytics: Analisi di un'ampia base dati per ottimizzare prodotti e processi produttivi;

Le tecnologie sopracitate sono volte al raggiungimento di risultati in termini di flessibilità, velocità, produttività, qualità e competitività (vedi Figura 3).



Figura 3 "benefici attesi" (MISE)

La trattazione continua descrivendo alcune tra le tecnologie abilitati, ovvero quelle coinvolte nella raccolta ed analisi dei dati sui processi produttivi.

1.3.1 Internet of Things (IOT)

Per esprimere tale concetto si cita in sintesi l'articolo intitolato "IoT (Internet of Things): cos'è, come funziona ed esempi" redatto da Digital4 (<https://www.digital4.biz/>) in collaborazione con l'Osservatorio industria 4.0 del politecnico di Milano (Bellini 2020).

Internet of Things (IoT) è un neologismo utilizzato in telecomunicazioni, coniato per definire oggetti reali connessi ad internet.

Il significato si esprime facilmente con degli esempi: IoT è un frigorifero che ordina il latte quando "si accorge" che è finito; IoT è una casa che accende i riscaldamenti appena ti sente arrivare.

Il termine IoT ("Internet of Things", o letteralmente "internet delle cose") viene utilizzato la prima volta da Kevin Ashton, ricercatore presso il MIT, Massachusetts Institute of Technology, dove è stato trovato lo standard per RFID¹² e altri sensori.

Con Internet delle cose si indicano un insieme di tecnologie che permettono di collegare a Internet qualunque tipo di apparato. Lo scopo di questo tipo di soluzioni è sostanzialmente quello di monitorare, controllare e trasferire informazioni per svolgere, successivamente, azioni di natura gestionale.

¹² Radio-frequency identification, si intende una tecnologia per l'identificazione e/o memorizzazione automatica di informazioni inerenti a oggetti basata sulla capacità di memorizzazione di dati da parte di particolari etichette elettroniche, chiamate tag (o anche transponder o chiavi elettroniche e di prossimità), e sulla capacità di queste di rispondere all'interrogazione a distanza da parte di appositi apparati fissi o portatili, chiamati reader.

Tale concetto è perfettamente riassunto in un video di pochi secondi a cura della comunità europea (<https://www.youtube.com/watch?v=kq8wcjQYW90&feature=youtu.be>).

L'evoluzione di internet ha comportato la sua estensione ad oggetti, i quali ora possono interagire con la rete, trasferire dati ed informazioni.

L'oggetto interagisce con il mondo circostante, reperisce e trasferisce informazioni tra rete internet e il mondo reale. In questo modo è stata data una "identità elettronica" a tutto ciò che ci circonda, attraverso, ad esempio, RFID (Identificazione a radio frequenza) ed altre tecnologie (come il più noto il QR code).

I dispositivi IoT sono dispositivi in grado di effettuare data collection in modo sempre più preciso e mirato in funzione degli specifici ambiti di applicazione. Il sensore rileva i dati della "cosa" e li "mette in rete".

La diffusione dell'Internet of Things ha comportato l'evoluzione dei dispositivi connessi riassumibile nelle seguenti fasi:

1. Dispositivi – connessi in rete – in grado di rilevare dati e in grado di comunicare i dati
2. Dispositivi – connessi in rete – in grado di rilevare più tipologie di dati e di trasferire questi dati
3. Dispositivi – connessi in rete – in grado di effettuare un primissimo livello di elaborazione (selezione) dei dati a livello locale per trasferire solo i dati che corrispondono a determinati requisiti
4. Dispositivi – connessi in rete – in grado di raccogliere dati, effettuare un primo livello di selezione e di effettuare azioni in funzione di indicazioni ricevute
5. Dispositivi – connessi in rete – in grado di rilevare dati, di selezionarli, di trasmettere solo quelli necessari ai progetti nel quale sono coinvolti, di effettuare azioni sulla base delle indicazioni ricevute e di effettuare azioni in funzione di una capacità elaborativa locale.

Per poter funzionare, l'IoT ha bisogno di raccogliere, archiviare e processare una grossa mole di dati in tempo reale. Per questo c'è bisogno in suo supporto di sistemi integrati tra big data, database e dati IoT.

Lo Smart Manufacturing è stato uno dei precursori del mondo IoT.

Grazie all'Internet of Things il digitale diventa uno strumento che permette il miglioramento di prodotti e processi e consente lo sviluppo e l'attuazione di nuovi modelli di business.

1.3.2 Big Data & Analytics

Un'altra tecnologia abilitante è quella dei Big Data & Analytics. Per spiegare questo concetto si cita in sintesi l'articolo intitolato "Big Data: cosa sono e come le aziende competono con le Big Data analytics" redatto da Digital4 (<https://www.digital4.biz/>) in collaborazione con l'Osservatorio industria 4.0 del politecnico di Milano (Zanotti 2020).

I big data sono una quantità crescente di informazioni che la digitalizzazione del business sta generando e facendo circolare dentro e fuori alle aziende.

Ad esempio, i Big Data vengono dai sensori integrati in migliaia di oggetti che, collegati alla Rete, oggi chiamiamo Internet of Things.

Secondo McKinsey Global Institute, nel 2011 i sensori integrati in rete ed utilizzati nel settore automobilistico, industriale, nei servizi pubblici o nella vendita al dettaglio sono già più di 30 milioni e il numero lievita ogni anno del 30% (McKinsey 2011).

Nel 2001, Doug Laney (vicepresidente del Gartner Chief Data Officer Research and Advisory Team) descrisse sinteticamente i Big Data con 3V: Volume, Velocità e Varietà; di recente, però, sono stati arricchiti di altre 2V: Veridicità e Variabilità.

I Big Data non sono un trend, ma una necessità gestionale per qualsiasi tipo di organizzazione. I data set crescenti, che occupano i database aziendali, sono le chiavi della competitività, dell'innovazione e della crescita del business:

- aiutando a capire le reazioni dei mercati e la percezione che questi hanno dei brand;
- identificando i fattori chiave che muovono le persone ad acquistare un certo servizio o un determinato prodotto;
- segmentando la popolazione per personalizzare quanto più possibile le strategie d'azione;
- abilitando nuove sperimentazioni consentite dalla disponibilità di dati inediti;
- guadagnando in predittività, grazie a uno storico di informazioni talmente ad ampio raggio e puntuale da consentire simulazioni molto più che verosimili;
- abilitando nuovi modelli di business;

L'analisi dei big data (Analytics) consente agli analisti, ai ricercatori e agli utenti di business di prendere decisioni in modo più accurato e veloce.

Tra queste si stanno diffondendo con grande velocità le tecniche di analisi dati provenienti da fonti in streaming (soprattutto in ambito IOT), quali la Real-Time Advertising, la Fraud Detection (rilevamento delle frodi), la Predictive Maintenance (manutenzione preventiva) ed il New Product Development.

Oltre alla Real-Time Analysis, ci sono altre tecniche che sulla base dei dati raccolti aiutano il management a rispondere alle domande: “Cosa è accaduto?” e “cosa accadrà?”.

In risposta alla prima domanda c'è la Descriptive & Diagnostic Analytics. La Descriptive Analysis si concentra sul passato e permette di individuare cosa è accaduto. La Diagnostic Analysis individua, invece, le relazioni del tipo causa-effetto degli eventi passati.

In risposta alla seconda domanda c'è la Predictive & Prescriptive Analytics. La Predictive Analysis utilizza i dati storici raccolti e, attraverso tecniche statistiche e/o di machine learning¹³, costruisce modelli per svolgere previsioni.

La Prescriptive Analysis valuta le possibili azioni e come esse possano influenzare il risultato.

¹³ machine learning, l'apprendimento automatico è una branca dell'intelligenza artificiale che raccoglie metodi sviluppati negli ultimi decenni del XX secolo in varie comunità scientifiche per migliorare la performance di un algoritmo nell'identificare pattern nei dati.

In Italia il mercato dei Big Data Analytics raggiunge un valore complessivo di 1,393 miliardi di euro, in crescita del 26% rispetto all'anno precedente (Fonte: Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence – Politecnico di Milano).

Nel 2018, il 45% della spesa in Analytics è dedicata ai software (database e strumenti per acquisire, elaborare, visualizzare e analizzare i dati), il 34% ai servizi (personalizzazione dei software, integrazione con i sistemi informativi aziendali, consulenza di riprogettazione dei processi) e il 21% alle risorse infrastrutturali (capacità di calcolo, server e storage da impiegare nella creazione di servizi di Analytics).

1.4 Come sfruttare al meglio le tecnologie abilitanti per migliorare le performance produttive?

Per rispondere a tale domanda si fa riferimento all'articolo intitolato: “Tecnologie per l'Industry 4.0: come migliorare l'efficienza produttiva” redatto da Close-Up Engineering Magazine (<https://managementcue.it/>) (Ingrande 2020) .

Nella speranza di non rimanere indietro ai propri competitor e di seguire il trend innovativo, molte aziende sono tentate ad acquistare gli strumenti per la raccolta dei dati (IOT; Big Data) senza prima aver definito un obiettivo.

Il punto di partenza è definire la finalità, come voler impattare sull'OEE¹⁴ o su altri indicatori (MTTR¹⁵, MTBF¹⁶)

Lo step successivo riguarda l'analisi del processo produttivo per distinguere le informazioni rilevanti. Non bisogna cadere nella tentazione di raccogliere il maggior numero di dati possibili. La scelta dei dati da immagazzinare deve ricadere sulle informazioni necessarie per prevenire i guasti macchina, individuare anomalie nel processo produttivo ed eseguire analisi causa-effetto.

Distinte e raccolte tali informazioni, si procede nell'individuazione dei requisiti delle applicazioni e dei modelli analitici che si vogliono utilizzare.

Per esempio, per mantenere al massimo l'efficienza dei macchinari di produzione vi è la necessità di capire le variabili di funzionamento. Tra queste vanno distinte le variabili da monitorare in real-time (Real-Time Analytics) e quelle che possono essere analizzate inseguito tramite i modelli di Diagnostic & Prescriptive Analytics.

Ovviamente le informazioni da raccogliere non riguardano solamente lo stato delle macchine, ma anche l'andamento della produzione (quantità prodotte/scarti/tipologie).

Riuscire ad ottenere tali informazioni in tempo reale, incrociandole con le informazioni sullo stato delle macchine e i piani di produzione, permette un incremento della flessibilità del sistema produttivo. In tale caso l'investimento può essere effettuato in un sistema che permetta la ripianificazione automatica della produzione, ovvero un MES capace di monitorare l'intero processo produttivo permettendo di reagire velocemente agli imprevisti.

¹⁴ Overall Equipment Effectiveness

¹⁵ Mean Time To Repair

¹⁶ Mean Time Between Failures

In tale ambito di ricerca si pone il lavoro di tesi. Quest'ultimo, infatti, consiste nell'applicazione di un sistema M.E.S. per ottenere una pianificazione in tempo reale di una produzione O.K.P. e nello svolgimento di test preliminari che dimostrano l'efficienza della pianificazione M.E.S. già in fase progettuale.

CAPITOLO 2

ONE-OF-A-KIND PRODUCTION

Tradizionalmente i sistemi produttivi sono classificati in funzione della grandezza del lotto in:

- (i) produzione di massa;
- (ii) produzione in lotti;
- (iii) produzione unica nel suo genere (OKP).

Con il passare degli anni tale metodo di classificazione è stato considerato insufficiente. Ad oggi, l'informazione che permette di categorizzare in modo univoco i sistemi produttivi è il punto di disaccoppiamento tra l'arrivo dell'ordine e l'inizio delle attività necessarie alla realizzazione del prodotto finito.

Si mostrano diverse alternative nella figura seguente tratta da Wortmann (1997).

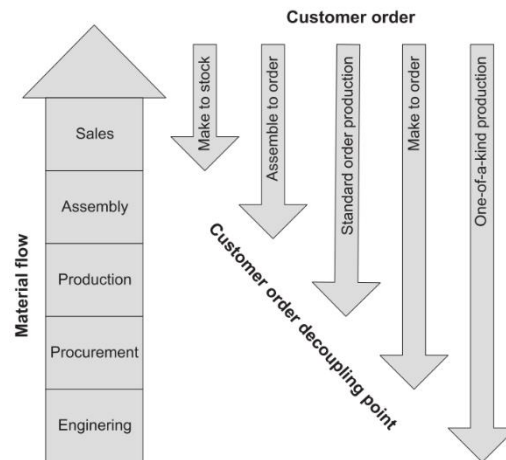


Figura 4 tipologie di produzione, classificazione basata sulla data d'arrivo dell'ordine. Wortmann (1997)

Nelle imprese OKP l'ordine viene rilasciato dal cliente prima della fase d'ingegnerizzazione del prodotto.

Wortmann negli anni '90 prevede che la produzione OKP sarebbe stata il futuro dell'industria europea, utilizzando per la prima volta termini come "ingegneria" e "produzione orientate al cliente". (Wortmann 1991).

Un'impresa OKP è un'azienda capace di realizzare un prodotto con elevato livello di personalizzazione (Wortmann 1997). Ogni articolo è infatti progettato e realizzato in base alle richieste del cliente. Tuttavia, un'azienda OKP presenta grandi incertezze nel controllo della produzione e della catena di distribuzione (Luo 2011).

Le aziende OKP utilizzano sistemi di produzione flessibili (FMS) per produrre lotti unici in modo efficiente (P.R. Dean 2009).

Secondo Matta (2005) i sistemi di produzione flessibili sono adatti alla produzione di un qualsiasi prodotto all'interno di una famiglia, solitamente in lotti di piccole e medie dimensioni. È possibile ottenere sistemi di produzione flessibili mediante l'uso di sistemi informativi, apparecchiature di produzione controllate da computer (ad es. Apparecchiature CNC) e sistemi di movimentazione dei materiali (ad es. Veicoli a guida automatica e trasportatori riconfigurabili).

Come accennato, la problematica principale della produzione OKP è sicuramente la programmazione ed il controllo della produzione (Tu 2000b).

I tradizionali approcci di pianificazione della produzione implicano la creazione di programmi prima dell'inizio del processo produttivo, senza tener conto di eventuali imprevisti che possono sopraggiungere successivamente (Suwa 2012). Gli imprevisti come l'assenza dell'operatore, la nascita di guasti e l'assenza di materiale (Snyman 2017), costringono il dirigente a modificare la pianificazione rapidamente, cercando di mantenere inalterata l'efficienza e la qualità produttiva senza causare ritardi di consegna. A causa dell'elevata personalizzazione, nella produzione OKP il ciclo produttivo cambia di pezzo in pezzo e la durata delle attività che lo compongono non è sempre la stessa (Tu 2000a). Oltre agli imprevisti precedentemente citati, in tali aziende può capitare d'incorrere in modifiche progettuali richieste dal cliente anche durante la fase produttiva. Dunque, è evidente la complessità di programmazione della produzione secondo gli standard qualitativi richiesti e nel rispetto delle date di consegna.

CAPITOLO 3

SISTEMA M.E.S.

Nell'ultimo ventennio le attività di raccolta ed analisi dei dati relativi al processo produttivo hanno acquistato maggior credito nell'industria manifatturiera. Infatti, è stato scoperto il contributo fondamentale che offrono nell'ottimizzazione le risorse e nella riduzione dei costi di produzione. Per sopperire a tale esigenza sono stati sviluppati sistemi informatici di gestione del processo produttivo come i MES.

L'acronimo (Manufacturing Execution System) individua una categoria di software industriali abili a gestire e monitorare i processi produttivi aziendali, partendo dal rilascio dell'ordine fino all'inserimento del pezzo finito in magazzino.

Secondo Helo (2014) i M.E.S. sono prodotti software in grado di gestire i materiali, la manodopera e le macchine di produzione, tracciare e rintracciare semilavorati ed ordini, gestire l'inventario, ottimizzare le attività di produzione dal lancio dell'ordine alla realizzazione del prodotto finito.

Il Manufacturing Execution System si occupa di monitorare e comunicare i dati che caratterizzano sia le attività produttive sia quelle di supporto come manutenzione, inventario e qualità prodotti.

Grazie a questo strumento è possibile raccogliere in tempo reale informazioni sull'intero processo produttivo. In tale modo è più semplice e veloce individuare eventuali criticità e proporre tempestivamente interventi migliorativi.

La trattazione continua citando Laganà (2019) per descrivere il sistema di gestione che ha portato allo sviluppo del sistema MES e sintetizzare la normativa di riferimento (standard ANSI/ISA-95) per la progettazione di quest'ultimo.

3.1 MRP limiti e funzionalità

I primi sistemi di gestione della produzione sono stati gli MRP (Management Requirements Planning), i quali permettono di prendere in carico gli ordini, pianificare l'approvvigionamento delle materie prime e degli strumenti necessari per le lavorazioni.

Le informazioni relative allo stato d'avanzamento della produzione possono essere aggiornate solo manualmente nel sistema, il che comporta rilevanti problemi di comunicazione con l'ERP¹⁷ aziendale.

In tale prerogativa risiede il principale limite degli MRP, cioè l'incapacità di creare piani di produzione attendibili.

Tra le cause principali di questo limite ci sono:

- l'impossibilità di trasmettere informazioni in tempo reale fra le aree di lavoro;

¹⁷ L'Enterprise Resource Planning, è un software che le organizzazioni utilizzano per gestire le attività commerciali quotidiane, come ad esempio contabilità, procurement, project management, gestione del rischio e operazioni per la supply chain.

- Il presupposto che le risorse siano infinite e che per un determinato prodotto il tempo di produzione sia sempre lo stesso.

Il MES svolge un ruolo di collegamento tra il livello decisionale dell'impresa (gestito tramite il sistema ERP) e il livello operativo (costituito dalle attività di produzione), riuscendo a superare i limiti di un sistema MRP.

I benefici che comporta l'utilizzo di un sistema MES sono i seguenti:

- l'integrazione tra il livello di business e quello operativo, il quale è possibile grazie allo scambio d'informazioni in tempo reale senza imprecisioni ed errori. La qualità delle informazioni trasmesse è essenziale ed incide sulle performance aziendali.
- L'elaborazione di piani di produzione (PDP) tramite l'analisi della capacità delle risorse (personale, materie prime, strumenti per la lavorazione) e tramite il controllo delle attività produttive.
- Il monitoraggio, che rende il sistema produttivo altamente flessibile e capace di reagire ai cambiamenti;

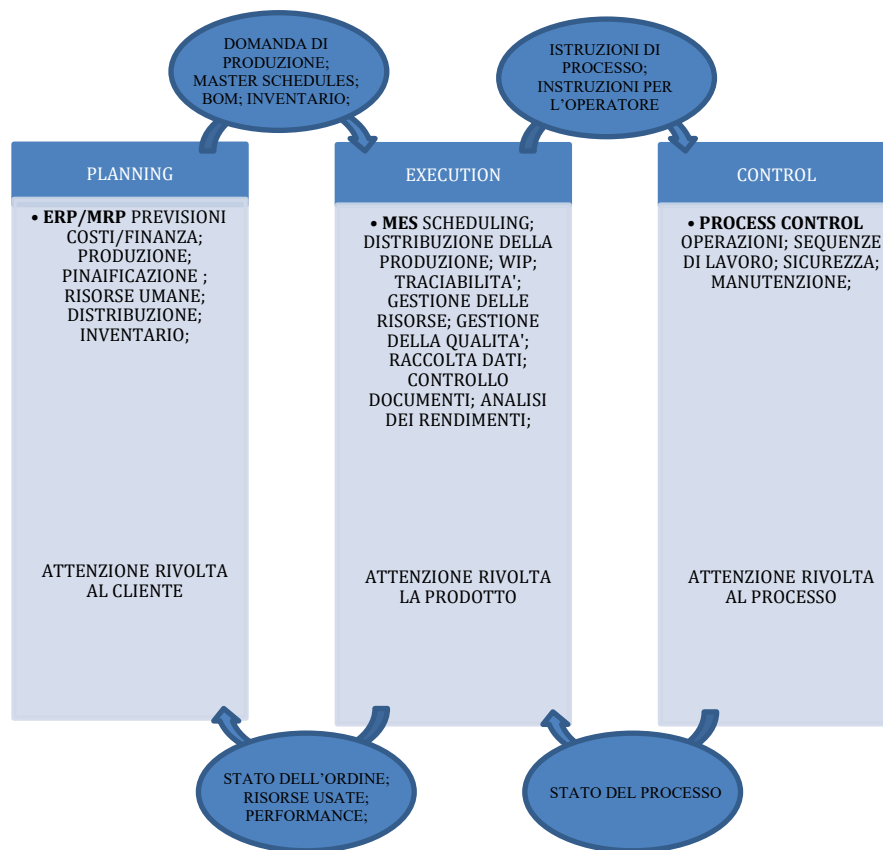


Figura 5 schematizzazione delle attività svolte dai sistemi di gestione di un'impresa e delle informazioni che si scambiano.

- Il miglioramento delle performance a breve termine (controllo qualità, aumento dell'efficienza macchina e/o operatori, riduzione dei tempi ciclo) tramite l'elaborazione dei KPI¹⁸ stabiliti dall'azienda.

Una visione più dettagliata dei processi che i software MES sono in grado di gestire ci proviene dal MESA¹⁹:

1. pianificazione delle risorse di produzione;
2. distribuzione della manodopera;
3. gestione degli ordini e dei piani di produzione (PDP);
4. raccolta manuale dei dati presi sul campo dagli operatori (da analizzare e confrontare con i risultati e le performance obiettivo);
5. controllo dei dati e il collegamento con la tecnologia (confronto dei dati con i parametri delle macchine);
6. monitoraggio degli avanzamenti di produzione: quantità, tempo, stato dell'ordine e rispetto delle scadenze.
7. controllo sulla qualità dei prodotti, sui versamenti a magazzino e sulle quantità a stock dei prodotti.
8. tracciabilità dei prodotti finiti ma anche dei semilavorati (WIP) che permette, in caso di difetti e non conformità, di risalire più facilmente alla causa origine del problema e intervenire prontamente solo sulla parte interessata.
9. analisi dei tempi di inattività, andando a distinguere le attività produttive (cambio macchina, creazione di prove e prototipi, training) da quelle improduttive a non valore aggiunto (riparazioni, attrezzaggio macchina, selezione dei componenti, fermi guasto, pulizia del posto di lavoro, recupero materiale, movimentazione e trasporti, attesa componenti e polveri).
10. analisi delle performance produttive, confrontando i dati della produzione effettiva con quelli previsti nel piano di produzione.

3.2 Standard ANSI/ISA-95

La progettazione dei sistemi MES deve rispettare lo Standard Internazionale ANSI/ISA – 95, nato nel 1995 dalla collaborazione tra l'International Society of Automation (ISA) e l'American National Standards Institute (ANSI). Tale normativa fornisce modelli e terminologie utili a facilitare la comunicazione tra i sistemi di gestione aziendali e i sistemi operativi e a favorire l'integrazione tra ERP e MES.

La definizione di MES secondo lo standard ANSI/ISA-95 è: insieme coordinato di hardware e software, che implementa le attività della gestione delle operazioni manifatturiere.

Lo standard può essere applicato a tutte le tipologie di industria e a diversi tipi di processi di produzione (continui o discreti).

L'ANSI/ISA – 95 consta di sei parti:

¹⁸ Key Performance Indicator

¹⁹ Manufacturing Enterprise Solutions Association

- Parte 1: Modelli e terminologia.

Questa sezione illustra la terminologia per identificare univocamente le funzioni aziendali (assegnandogli attività e responsabilità) e per i modelli di gestione del flusso d'informazioni tra esse.

- Parte 2: Attributi dei modelli.

Questa sezione approfondisce i modelli e le tabelle relative alla prima parte della normativa e specifica le informazioni scambiate tra i sistemi ERP e MES.

- Parte 3: Modelli per le attività di gestione delle operazioni di produzione.

Questa sezione illustra i modelli da utilizzare per la gestione della produzione, che favoriscono l'integrazione tra il sistema aziendale e quello di controllo. Descrive, inoltre, le funzioni di gestione implementate dal sistema MES (produzione, qualità, inventario, magazzino, laboratorio e manutenzione) e le rende confrontabili con quelle di altre imprese.

- Parte 4: Scambio di informazioni tra le attività di gestione della produzione. Questa parte descrive il flusso d'informazioni tra le attività di gestione della produzione definite nella Parte 3 dello standard.
- Parte 5: Transazioni da business a produzione.

Descrive gli scambi d'informazioni tra i sistemi aziendali e quelli di produzione. Questo flusso d'informazioni è fondamentale per la raccolta, il trasferimento e il recupero di dati che possano consentire una migliore integrazione e comunicazione tra i sistemi di gestione dell'impresa.

- Parte 6: Modello per un servizio di messaggistica.

Descrive un modello che consente lo scambio d'informazioni tra le applicazioni che eseguono attività commerciali e produttive (Parte 3).

La trattazione procede con un richiamo alla Parte 1 (Modelli e terminologia) e una descrizione della Parte 3 (Modelli di attività di gestione delle operazioni di produzione) poiché centrale nella progettazione del sistema MES.

3.2.1 Parte 1: Modelli e terminologia.

Questa sezione illustra la terminologia per identificare univocamente le funzioni aziendali (assegnandogli attività e responsabilità) e per i modelli di gestione del flusso d'informazioni tra esse. Inoltre, è evidenziato il limite tra i sistemi di business e i sistemi produttivi.

Le funzioni aziendali sono le attività che l'impresa svolge per creare valore ottenendo un prodotto che soddisfi le richieste del cliente.

Sono trattati, in particolare:

- Modelli gerarchici che caratterizzano, solitamente, l'organizzazione di un'impresa manifatturiera di piccole/medie dimensioni.
- Modelli a flusso di dati che descrivono le funzioni aziendali e il flusso di dati scambiati tra i sistemi di controllo e gli altri sistemi presenti all'interno dell'impresa.

3.2.1.1 Modelli gerarchici

Disponendo le funzioni aziendali in una struttura organizzativa gerarchica è possibile assegnargli inequivocabilmente le attività e le responsabilità.

Si illustrano di seguito due modelli di gerarchia: funzionale e dell'equipaggiamento.

Gerarchia funzionale

Tale modello mette in evidenza le macro-funzioni aziendali, disponendone in una struttura gerarchica.

Al vertice dell'impresa c'è un team di specialisti che hanno il compito di gestire e controllare le attività comuni a più divisioni aziendali definendo una strategia univoca. Ogni divisione è responsabile della propria area d'affari.

Lo standard ANSI/ISA – 95 nel descrivere il modello a gerarchia funzionale fa riferimento a cinque livelli:

- Livello 4: Business Planning e Logistica, si occupa della programmazione dell'impianto (produzione, utilizzo e consumo del materiale, consegna e spedizione).
- Livello 3: Manufacturing Operations Management, si occupa di definire il flusso di lavoro e di controllare le attività finalizzate alla produzione (ottimizzazione del processo di produzione, gestione delle operazioni, tracciabilità);
- Livello 2: si occupa del monitoraggio e del controllo delle attività fisiche coinvolte nel processo di produzione;

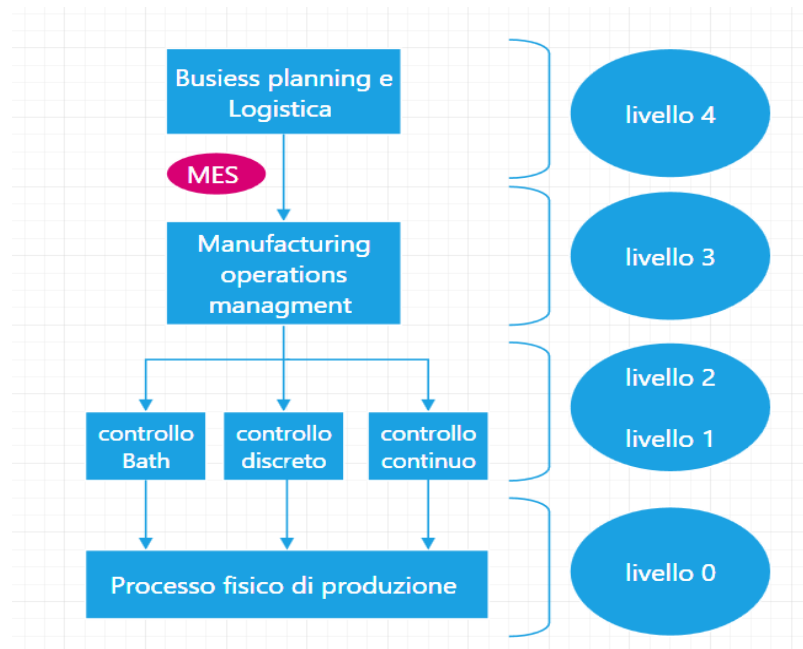


Figura 6 Livelli della gerarchia funzionale con le attività coinvolte per ogni livello. È stato disposto in rosso il MES tra il sistema di controllo e il sistema di Business in quanto costituisce l'interfaccia di comunicazione tra le due realtà.

- Livello 1: si occupa di stabilire le attività fisiche coinvolte nel processo di produzione;
- Livello 0: si occupa del processo fisico di produzione.

Lo standard ANSI/ISA – 95 descrive come gestire i processi manifatturieri, cioè delle attività appartenenti ai livelli 3, 2, 1 e 0 e le informazioni scambiate con il livello 4.

Questo schema mostra i livelli della gerarchia e la natura delle funzioni svolte in ognuno di essi.

Inoltre, viene evidenziata in rosso l'interfaccia d'interesse tra le funzioni di controllo e le funzioni di business aziendali (il sistema MES).

Gerarchia di equipaggiamento

Tale modello associa ad ogni livello l'asset fisico di riferimento e li dispone in una struttura gerarchica.

L'impresa è l'area responsabile della strategia aziendale e della programmazione della produzione: stabilisce quali prodotti lavorare, in quali siti e le modalità di lavorazione.

Un'impresa può essere costituita da uno o più siti. Un sito è una parte dell'impresa caratterizzata da una specifica area geografica e da una capacità produttiva che permette la lavorazione dei prodotti stabiliti dall'impresa.

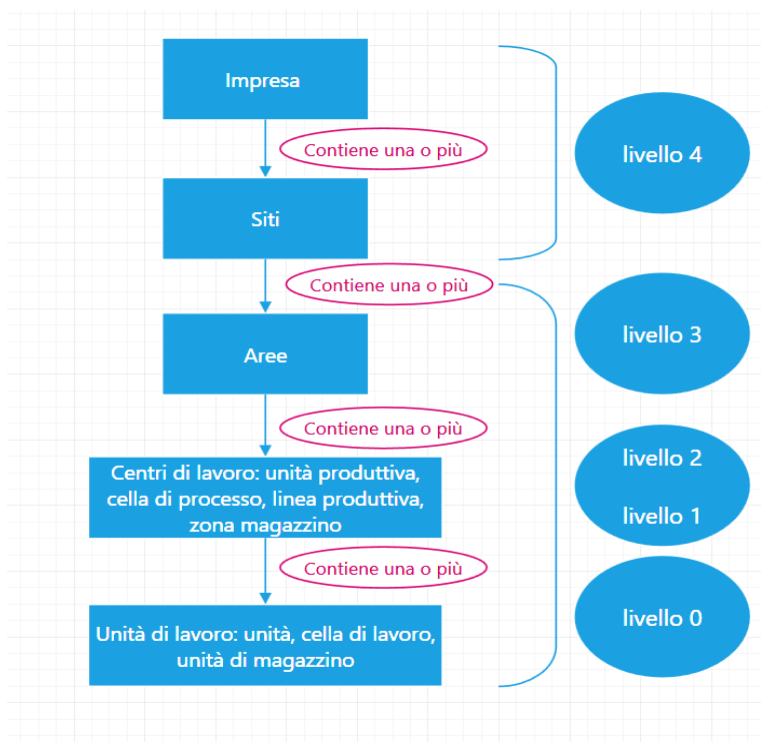


Figura 7 Questo schema mostra le aree di responsabilità del livello 4 e le aree di responsabilità del livello 3 e/o livelli inferiori. Si precisa che un'impresa può contenere uno o più siti, un sito a sua volta può contenere una o più aree e così via per i successivi livelli gerarchici.

Un sito può essere costituito da una o più aree. Un'area è costituita da uno o più centri di lavoro che rappresentano le funzioni produttive aziendali:

- Unità produttiva, area caratteristica di modelli di produzione continui (grandi quantità di prodotti o produzione di unità simili tra loro).
- Cella di processo, area caratteristica di modelli di produzione a lotti (batch, lotti distinti ma con unità analoghe all'interno di ciascun lotto).
- Linea produttiva, area caratteristica di modelli produttivi discreti (linee o isole di lavorazione, poche quantità o unità altamente personalizzate).
- Zona magazzino permette la ricezione, la conservazione, la ricerca e la spedizione dei prodotti in base alla sua capacità. La capacità del magazzino è un dato molto importante e deve essere tenuta in considerazione sia per la pianificazione delle attività di business e la logistica (Livello 4) sia per la gestione e il controllo delle attività produttive (Livello 3).

3.2.1.2 Modelli a flusso di dati (data flow diagram)

I Data Flow Diagram descrivono in modo intuitivo e schematico come vengono scambiate ed elaborate le informazioni all'interno di un sistema. Per tale fine è necessario conoscere la provenienza e l'affidabilità dei dati, il "luogo" d'immagazzinamento, la destinazione e le componenti del sistema coinvolte nell'elaborazione.

I componenti di questo modello sono:

- Le funzioni che si occupano dell'elaborazione delle informazioni e che trasformano i dati in ingresso in quelli in uscita.
- Il flusso di dati che rappresenta il percorso delle informazioni.
- Gli archivi nei quali sono conservati i dati e le informazioni necessarie da elaborare.
- Gli agenti esterni al sistema da cui possono provenire i dati o ai quali possono essere destinati.



Figura 8 Semplice esempio di un modello a flusso di dati in cui le informazioni provenienti da un utente esterno vengono inviate (Input) al Sistema che le elabora e le manda (Output) ad un altro utente.

Ad esempio, il MES è un sistema in grado di ricevere in input i dati della produzione, di elaborarli, e di inviarli al sistema di gestione aziendale. In questo caso, il dialogo è biunivoco: l'informazione giunge attraverso il MES dalla produzione al sistema di gestione aziendale e viceversa. Quindi, il MES costituisce l'interfaccia tra queste due realtà.

3.2.1.3 Le funzioni aziendali coinvolte

Le funzioni aziendali descritte all'interno dello standard ANSI/ISA – 95 riguardano l'area produttiva dell'impresa e le attività di supporto alla stessa.

La prima parte dello standard prosegue elencando tutte le attività relative ad ogni funzione aziendale e mettendo in risalto lo scambio d'informazioni tra esse. Le attività sono:

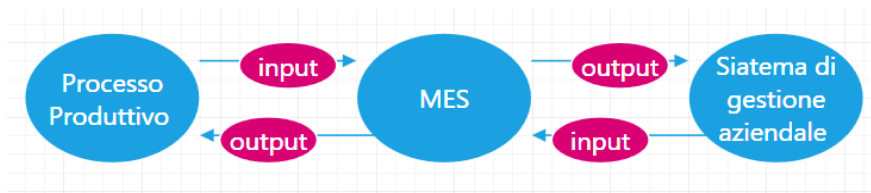


Figura 9 Questo schema mostra il ruolo di intermediario svolto dal MES nel dialogo tra il sistema gestionale dell'impresa e il processo produttivo e viceversa. Il MES dunque garantisce lo scambio di informazioni e di dati di produzione in tempo reale tra la parte gestionale e la parte produttiva dell'impresa.

1. Elaborazione dell'ordine
2. Pianificazione della produzione
3. Controllo della produzione
4. Gestione della manutenzione
5. Controllo qualità
6. Controllo sui materiali e sul consumo di energia
7. Approvvigionamento
8. Inventario di produzione
9. Contabilità e costi prodotto
10. Spedizione del prodotto e sua amministrazione
11. Marketing e vendite
12. Ricerca e sviluppo prodotto

3.2.2 Parte 3: modelli di attività di gestione delle operazioni produttive

Questa sezione illustra:

- i modelli utilizzati per le attività di gestione delle operazioni di produzione, i quali permettono l'integrazione tra il sistema business e quello di controllo;
- il flusso di informazioni scambiate per il corretto svolgimento delle attività comprese nel livello 3 del modello gerarchico funzionale (Manufacturing Operations Management).

Le funzioni aziendali descritte in questa parte dello standard sono gestite dal sistema MES: produzione, qualità, manutenzione e inventario;

3.2.2.1 Le attività di produzione: gestione e modelli

Le attività di produzione permettono la trasformazione delle materie prime nei prodotti finiti tramite l'utilizzo di risorse aziendali (manodopera, materiali, energia, attrezzature, macchine ecc..). Il modello per la gestione delle operazioni di produzione illustra lo scambio d'informazioni necessario per il corretto svolgimento delle attività.

In particolare, si possono distinguere le seguenti operazioni:

- Definizione del prodotto e la sua gestione;
- Gestione delle risorse dedicate alla produzione;
- Pianificazione dettagliata della produzione;
- Tracciabilità;
- Gestione dell'assegnazione dei prodotti alle macchine e ai banchi/linee di lavoro;
- Esecuzione della produzione e la sua gestione;
- Raccolta dei dati di produzione;
- Analisi delle performance confrontando i risultati reali con quelli previsti dagli obiettivi aziendali.

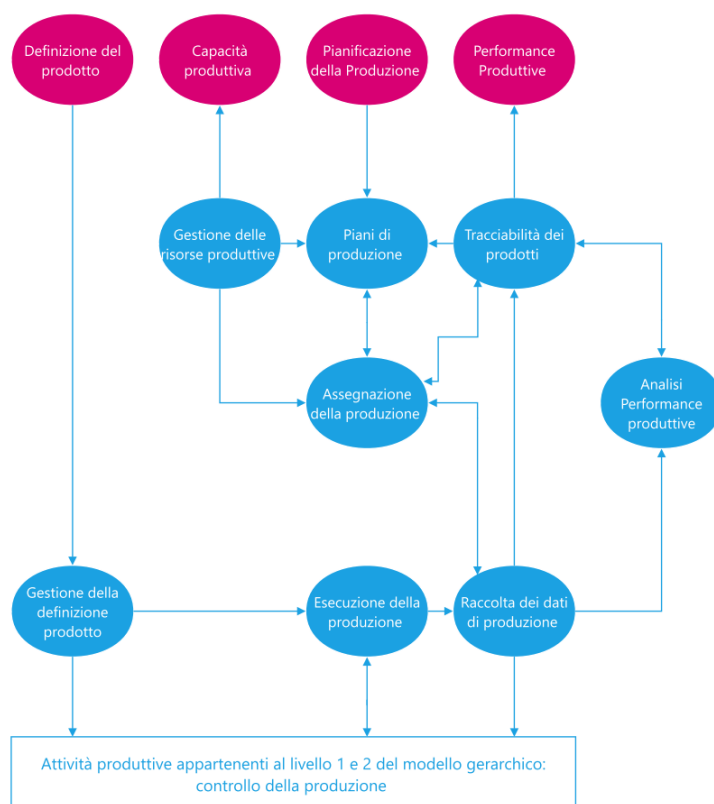


Figura 10 Illustrazione del modello per la gestione delle operazioni di produzione

Il modello illustrato schematicamente in fig.10 mostra un possibile flusso di dati tra le attività produttive, partendo dalla definizione del prodotto e dall'analisi della disponibilità delle risorse alla realizzazione del prodotto.

La tracciabilità del pezzo è utile per il controllo qualità e per risalire all'origine delle eventuali problematiche sviluppatesi durante il processo produttivo. La raccolta dati è fondamentale per l'analisi delle efficienze e la valutazione delle performance produttive in confronto con gli obiettivi prefissati dall'impresa.

Le attività descritte nel modello e il relativo flusso d'informazioni sono appartenenti al livello 3 del modello gerarchico funzionale (Manufacturing Operations Management). I dati derivanti dal monitoraggio di tali attività sono trasmessi ai livelli 1 e 2, i quali si occupano del controllo delle operazioni produttive.

La gestione della definizione prodotto

Si occupa delle:

- informazioni riguardanti la composizione di un prodotto (materie prime, WIP, componenti e quantità);
- modalità di produzione (istruzioni lavoro, diagrammi/struttura del prodotto, ricette, possibili nuove versioni);
- attività relative l'introduzione di nuovi prodotti sul mercato;
- relazioni con il livello 4 (Business Planning e Logistica);

in modo tale da raggiungere i KPI e gli obiettivi prefissati dall'impresa.

La definizione del prodotto deve tenere in considerazione le esigenze del cliente per elaborare il processo produttivo rispettando i requisiti prefissati.

Una volta individuate le distinte basi del prodotto e le tecniche di lavorazione, i dati dovranno essere trasmessi a chi si occupa dell'attività di scheduling per pianificare le attività di esecuzione della produzione ed assegnare le risorse necessarie.

La gestione delle risorse produttive

Si occupa di gestire le informazioni e le attività che coinvolgono le risorse (manodopera, materiali, energia, attrezzature e macchine) tra cui:

- verifica della disponibilità;
- coordinamento delle risorse con le attività di manutenzione e qualità per garantire la continuità della produzione ed un prodotto finito conforme ai requisiti progettuali che non necessiti di riparazioni ed ulteriori lavorazioni;
- Monitoraggio dell'equipaggiamento (capacità e interventi di manutenzione), del personale (certificazioni, livello di competenza e abilità) e del materiale/energia (disponibilità, modalità di approvvigionamento, qualità).

Partendo dai programmi sviluppati al livello 4 (Business Planning e Logistica) i piani di produzione devono tendere all'ottimale utilizzo delle risorse e al soddisfacimento dei requisiti di prodotto. Un piano di produzione dettagliato deve contenere informazioni

specifiche sugli ordini di lavoro, sui tempi, sulle risorse, sulle analisi dei colli di bottiglia e un primo confronto tra la produzione effettiva e quella prevista.

L'assegnazione della produzione

Si occupa di stabilire ed assegnare le risorse (macchina, operatore, materiale, energia e scorta) necessarie al corretto svolgimento di ogni lavorazione nel rispetto del piano di produzione prestabilito.

Le informazioni relative all'assegnazione sono a disposizione delle divisioni aziendali di controllo della produzione (livello 1 e 2).

Un compito fondamentale di tale macro-funzione risiede nella gestione degli imprevisti verificatisi durante lo svolgimento delle attività produttive. Questi devono essere analizzati per ripianificare opportunamente le operazioni e le risorse, e soddisfare i requisiti stabiliti dalla PDP. A tal proposito è fondamentale lo scambio d'informazioni con e responsabili dell'esecuzione della produzione, della manutenzione, della qualità dei prodotti.

L'esecuzione della produzione

La gestione dell'esecuzione della produzione si occupa del coordinamento delle lavorazioni all'interno dello stabilimento nel rispetto delle scelte di assegnazione della produzione e raccogliendo i dati relativi alla qualità dei pezzi prodotti (scarti, non conformità, riparazioni), ai tempi di lavoro e al consumo dei materiali. Le analisi effettuate su queste informazioni permettono di individuare lo stato dell'ordine.

All'interno di questa macro-funzione sono comprese, anche, attività di controllo conformità delle risorse.

La tracciabilità dei prodotti

Si occupa di fornire la posizione dei lotti o dei singoli prodotti dall'inizio alla fine delle lavorazioni.

La tracciabilità fornisce informazioni dettagliate al livello 4 di Business sull'andamento della produzione. In particolare, sul consumo dei materiali, sui costi, sulle condizioni degli impianti dedicati, sul personale assegnato, sul processo produttivo e sulle movimentazioni in riferimento al prodotto.

La tracciabilità dei prodotti permette di risalire alla causa dei problemi e di intervenire prontamente per evitare resi dal cliente, alta percentuale di scarti e costi elevati di produzione.

Il Manufacturing Execution System (MES) oltre alla gestione delle attività produttive contribuisce a crearne uno storico favorendo la tracciabilità dei prodotti. In tale modo è possibile migliorare la gestione del magazzino, la qualità dei materiali e degli articoli finali, l'organizzazione della manutenzione e il consumo di scorte.

La raccolta dei dati di produzione

Comprende attività di raccolta e gestione dati della produzione come: informazioni sui processi (quantità, pesi, unità, proprietà, temperature) e sulle attrezzature (sensori, rilevatori di stato, strumenti di misura). Tali attività permettono di collezionare dati utili per la tracciabilità del prodotto, per l'analisi sul processo e sulla qualità del prodotto.

Il Manufacturing Execution System permettere una raccolta automatica dei dati macchina e una comunicazione semplice ed immediata con l'operatore assegnato ad una determinata postazione o parte del processo.

L'analisi delle performance produttive

Si occupa di analizzare i dati relativi al processo produttivo con lo scopo di verificare l'affidabilità dei tempi e dei cicli di produzione, l'efficienza delle macchine, del personale e l'utilizzo delle risorse.

Le performance del processo produttivo reale sono sempre confrontate quelle obiettivo imposte dal vertice dell'impresa.

Dai dati di processo è possibile ricavare gli indici di performance (KPI) che confrontati con quelli attesi permettono di individuare i punti critici e studiare azioni migliorative mirate.

Oltre ai KPI, esistono altri metodi di analisi delle performance, come:

- La tracciabilità delle risorse: l'analisi dei dati relativi alle risorse coinvolte nel processo produttivo (consumo dei materiali, unità prodotte, pezzi a magazzino, movimentazioni, uso delle attrezzature e della manodopera) e il confronto con i dati attesi;
- Analisi di processo: l'analisi degli eventi per individuare le cause delle problematiche e confrontarle con la validità delle soluzioni intraprese;

Tra i metodi analisi di analisi delle performance sono comprese anche le simulazioni sul processo produttivo per comprendere come reagisce agli imprevisti e prepararsi alle sfide future.

3.2.2.2 Le attività di gestione della qualità

La gestione della qualità comprende le attività di controllo dei semilavorati e dei prodotti finiti per accertarsi che rispettino gli standard qualitativi imposti dall'impresa e richiesti dal cliente.

Le informazioni provenienti da queste attività sono utili ad individuare le aree critiche del processo che comportano l'ottenimento di pezzi non conformi o difettosi, risalire alla causa delle problematiche e risolverle con azioni mirate.

Tra le operazioni che vengono svolte riguardano:

- Analisi e monitoraggio delle materie prime e dei componenti che andranno a comporre il prodotto finito ma anche delle attrezzature e delle risorse impiegate nella produzione. Si effettuano test per valutare che la qualità sia aderente agli standard aziendali.

- Analisi e monitoraggio del prodotto finito, per verificare che rispetti gli standard qualitativi dell'azienda, cioè quelli attesi dal cliente.
- Gestione delle richieste dei test di qualità richiesti sia dal livello 4 di Business, sia dal livello 2 di controllo delle attività manifatturiere.
- Definizione dei test di qualità, individuando i materiali, le risorse e i prodotti su cui saranno svolti e le procedure da seguire.
- Analisi e gestione delle informazioni provenienti dai test di qualità sulle risorse, sui semilavorati e sui prodotti. Questi dati devono essere comunicati sia ai livelli 1 e 2 che si occupano rispettivamente del processo fisico e del controllo della produzione, sia al livello 4 che gestisce il rapporto con il cliente ed elabora i costi relativi al controllo e alla perdita di qualità. Dall'analisi dei dati è possibile ricavare degli indicatori di qualità (tempo medio di realizzazione di un prodotto, costo delle rilavorazioni, numero di processi fuori controllo, tempo di fermi macchina per guasti, quantità di pezzi difettosi all'interno di un lotto) che confrontati con quelli attesi permettono di comprendere le problematiche e studiare azioni mirate per superarle.

3.2.2.3 Le attività di gestione della manutenzione

La gestione della manutenzione comprende attività di verifica dello stato delle risorse aziendali affinché siano disponibili e adeguate all'esecuzione della produzione. La gestione avviene tramite la manutenzione correttiva (non pianificata ma successiva al verificarsi di un evento/guasto), la manutenzione preventiva (pianificata e che dovrebbe prevenire il verificarsi di eventi/guasti) e l'ottimizzazione dell'efficienza (interventi per migliorare le prestazioni di strumenti e risorse disponibili).

Tra le attività che svolte, ci sono:

- la gestione delle richieste di manutenzione provenienti sia dal livello 4 di Business sia dai livelli 2 e 3 di controllo delle operazioni di produzione;
- L'analisi delle richieste prevede l'assegnazione di una priorità alle stesse e la pianificazione degli interventi;
- La definizione delle operazioni di manutenzione tramite il consulto di precedente documentazione, degli schemi di equipaggiamento, dei manuali e delle procedure operative standard;
- La gestione delle risorse atte a svolgere le operazioni di manutenzione;
- Il coordinamento e il monitoraggio delle operazioni manutentive per assicurare che quest'ultime rispettino gli standard di qualità, le procedure e i regolamenti imposti dall'azienda.
- La raccolta dei dati relativi agli interventi di manutenzione per prevedere futuri interventi ma, soprattutto, per gestire la produzione garantendo gli standard qualitativi.

3.2.2.4 Le attività di gestione dell'inventario

La gestione dell'inventario comprende attività di tracciamento delle movimentazioni, dell'immagazzinamento e di trasferimento dei materiali, dei semilavorati e dei prodotti finiti.

Tra le operazioni svolte, ci sono:

- La definizione delle regole e delle documentazioni associate alla movimentazione e allo stoccaggio dei materiali e dei prodotti. Inoltre, è fondamentale comunicare la capacità dell'inventario per organizzare la produzione e le risorse dedicate.
- La gestione delle richieste di stoccaggio e delle risorse da assegnare (muletti, carrelli, personale, contenitori).
- Lo scambio di informazioni sullo stato dell'ordine, sulla dimensione del lotto di magazzino e sugli imprevisti che potrebbero rallentare la conclusione e la consegna dell'ordine al cliente.
- L'analisi dei materiali ricevuti per verificare la qualità delle materie prime e dei componenti acquistati e, quindi, l'affidabilità dei fornitori.
- L'analisi dei prodotti finiti con la tracciabilità dei materiali utilizzati, del processo produttivo e delle risorse impiegate.

CAPITOLO 4

OCTAVIC PET SYSTEM

Nelle PMI²⁰ è la dirigenza ad occuparsi della programmazione delle attività e delle risorse associate individuando un piano prima dell'esecuzione della produzione.

In produzione gli imprevisti possono essere molteplici come la nascita di guasti, la necessità di svolgere manutenzione non prevista, l'assenza di risorse ed altro (Snyman 2017).

Il manifestarsi di uno di questi imprevisti scombussola i piani (Suwa 2012) ed obbliga la dirigenza a riorganizzare le attività per rispettare le date di consegna e gli standard qualitativi. L'enorme quantità di variabili coinvolte non aiuta ad intraprendere tempestivamente tali decisioni e spesso il ritardo può causare caos in produzione. Quest'ultimo conduce inevitabilmente ad un cattivo utilizzo delle risorse, una riduzione della qualità del prodotto, un aumento degli scarti e, dunque, ad un aumento dei costi.

Tale scenario mette in risalto la necessità aziendale di reagire rapidamente agli imprevisti tramite un'automatizzata ripianificazione delle attività. Qui entra in gioco il sistema MES che nel caso di studio è Octavic PET system.

La trattazione procede mostrando le peculiarità del software e la definizione degli indicatori di performance forniti.

4.1 Il software

Il Production Efficiency Tracker (PET) è costituito da diverse applicazioni software e componenti hardware prodotti dalla società Octavic PTS (<https://octavic.dk/>).

Il PET permette una gestione avanzata del processo produttivo registrando gli scarti, le anomalie, l'uso delle risorse nella produzione e pianificando le attività in tempo reale. Inoltre, è in grado di gestire processi produttivi caratterizzati da stretti vincoli di normativa (come quelli farmaceutici) e può essere implementato su linee di produzione manuali o automatizzate con macchinari di nuova o vecchia generazione.

Tramite l'integrazione dei dati provenienti dagli operatori con quelli delle macchine è possibile ricostruire gli eventi, mettere in evidenza le problematiche insorte e le relative cause. In tale modo la dirigenza potrà escogitare iniziative mirate volte al miglioramento delle performance produttive.

4.2 Peculiarità

Il sistema possiede un'interfaccia molto intuitiva con poche opzioni e un flusso d'inserimento dati guidato per una facile raccolta delle informazioni dagli operatori alle macchine.

²⁰ Piccole e Medie Imprese



SIMPLE OPERATOR INTERFACE

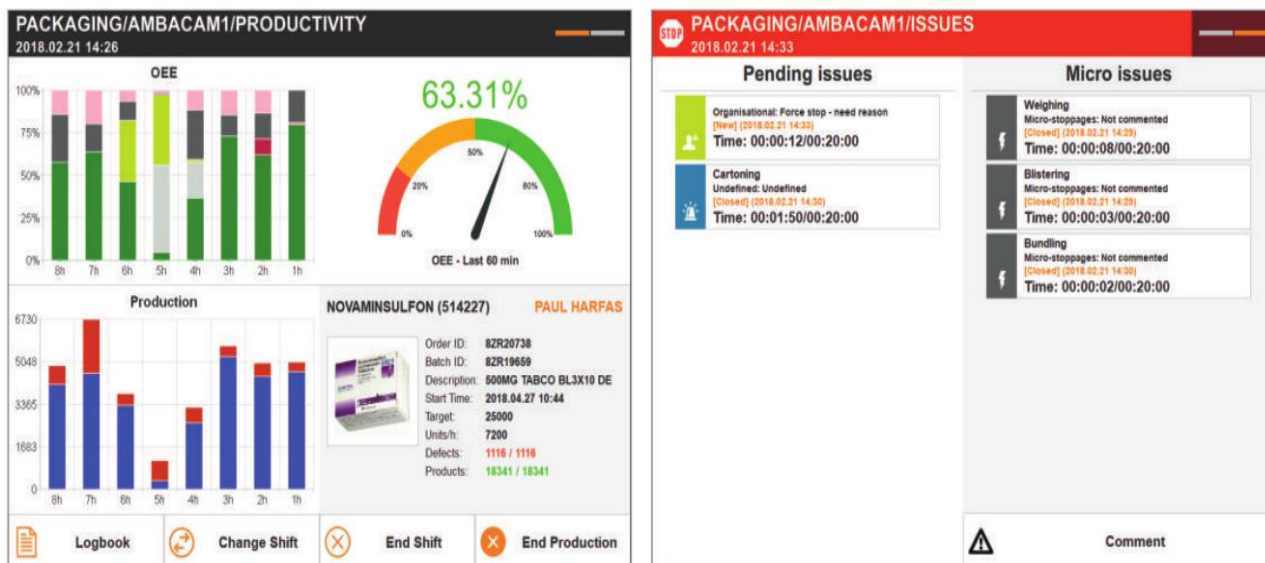


Figura 11 Grafica interfaccia operatore

Il PET è in grado di memorizzare automaticamente i tempi di inattività della macchina, categorizzarli in base alla causa scatenante e visualizzarli in un digramma temporale di facile interpretazione.



DOWNTIME INSIGHTS

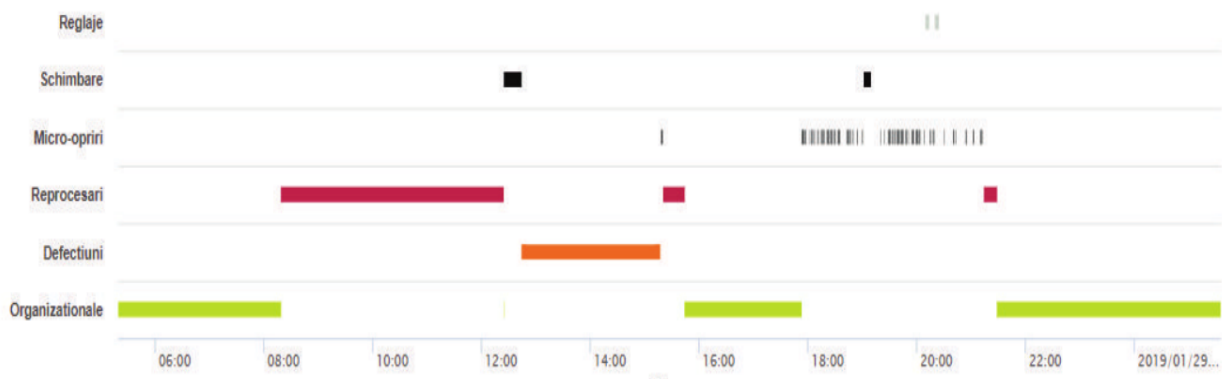


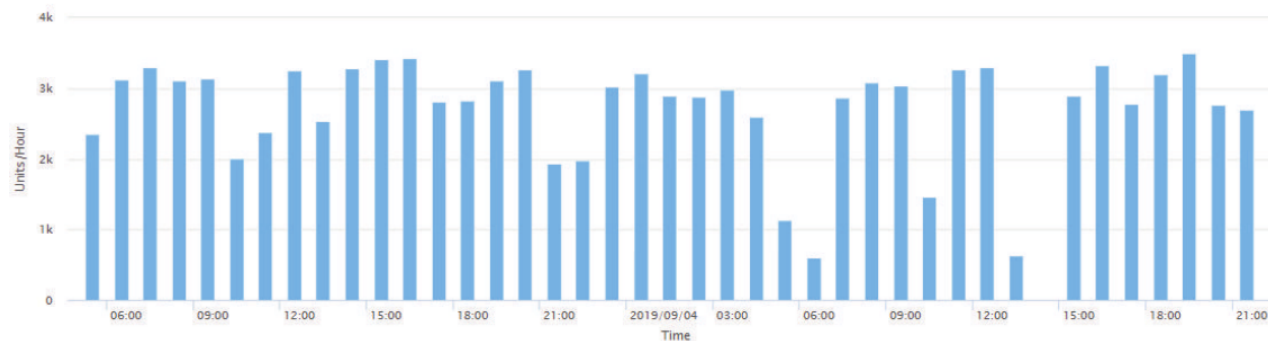
Figura 12 Grafica Tempi di inattività macchina

Fornisce per ogni centro di lavoro una visualizzazione grafica sia per la quantità di pezzi prodotti che per gli scarti.



PRODUCTION & QUALITY INSIGHTS

Production line speed



Scrap analysis

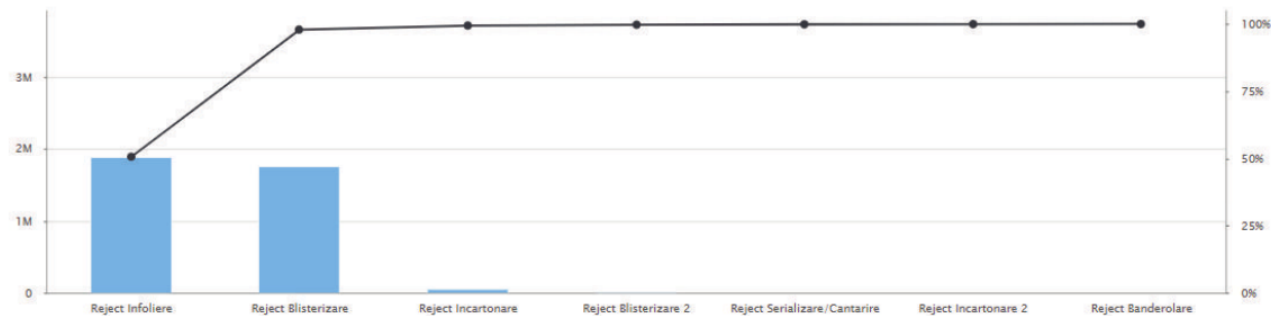


Figura 13 visualizzazione grafica della quantità di pezzi prodotti e degli scarti

Il software registra giornalmente i dati relativi al cambio prodotto su ogni centro di lavoro e li confronta con quelli attesi fornendone una visualizzazione grafica di facile interpretazione.



CHANGEOVER ANALYSIS

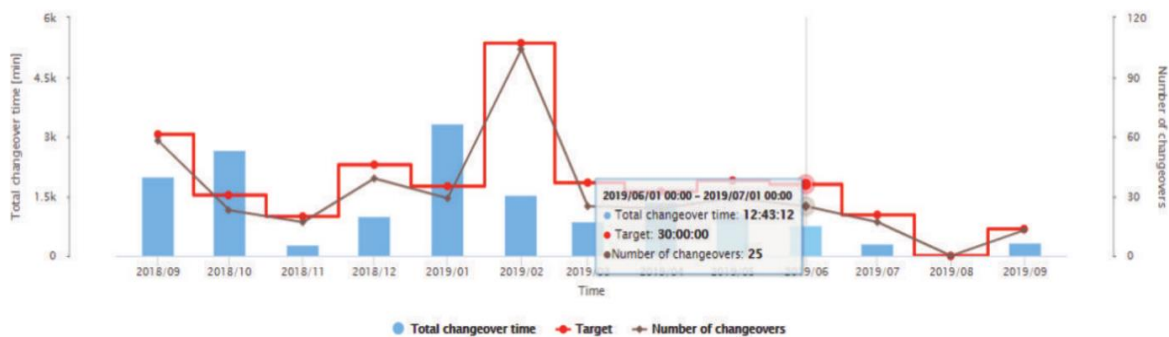


Figura 14 visualizzazione grafica analisi cambio prodotto

Infine, sulla base di dati raccolti in tempo reale, l'algoritmo di pianificazione della produzione aggiorna automaticamente gli ordini al fine di rispettare, nonostante gli imprevisti, le date di consegna e la disponibilità dei materiali cercando, inoltre, di ridurre al minimo il tempo complessivo di esecuzione della produzione per migliorare l'OEE.

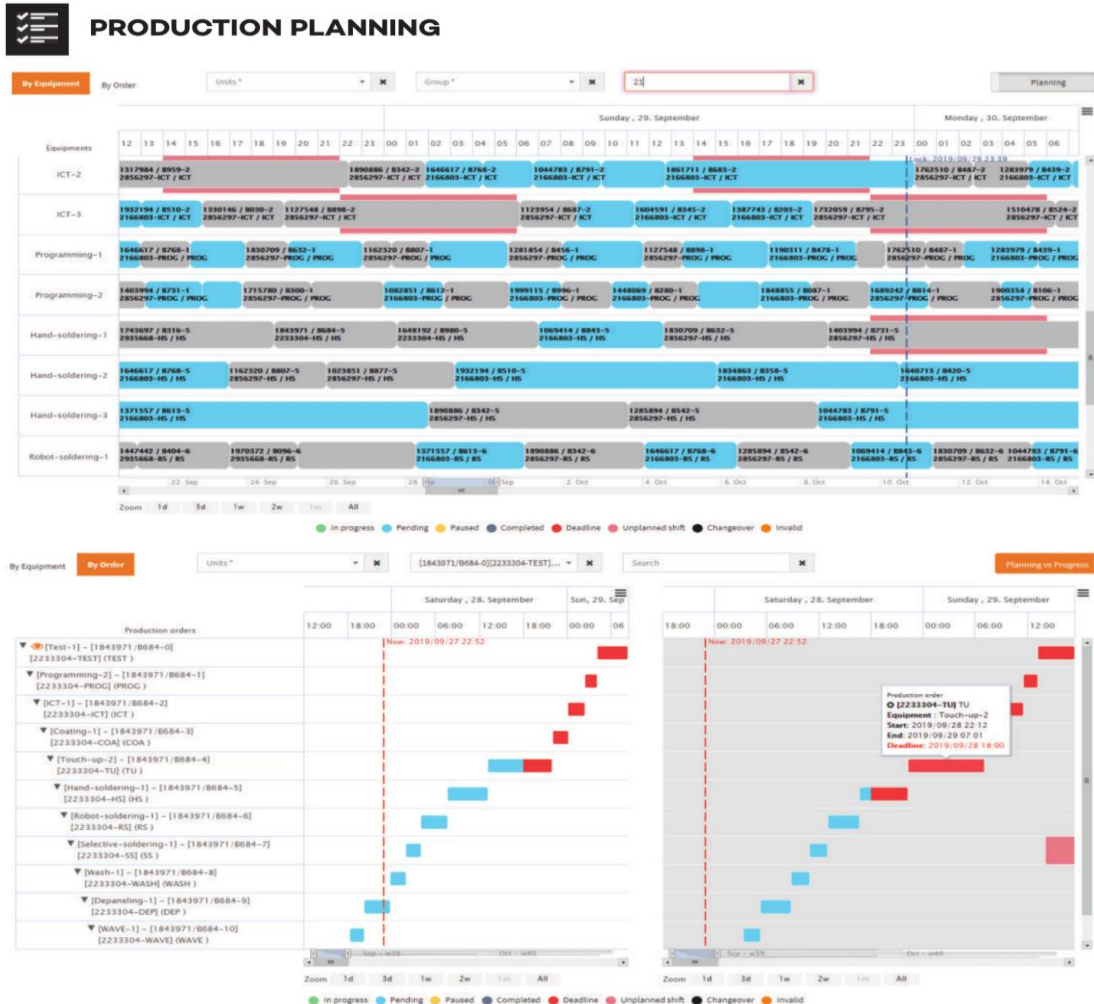


Figura 15 Visualizzazione grafica della programmazione della produzione. Nella prima figura abbiamo la rappresentazione grafica per linea produttiva, nella seconda per prodotto.

4.3 INDICATORI DI PERFORMANCE

Dall'analisi dei dati sui fermi macchina il software fornisce indicatori di performance come OEE, MTTR, MTBF e li aggiorna continuamente sulla base dei nuovi dati raccolti. Di seguito si procede definendo tali indicatori e descrivendone il metodo di calcolo.

4.3.1 OEE: Overall Equipment Effectiveness

Idealmente una macchina in condizioni di massima efficienza può lavorare a velocità massima, senza interruzioni e rispettando sempre gli standard qualitativi richiesti. In pratica, ciò non accade. Spesso in produzione si verificano fermi macchina e scarti.

Tali problematiche, scatenate da eventi definiti "equipment-related losses" (perdite relative alle apparecchiature), comportano una riduzione dell'efficienza e, dunque, una riduzione dell'OEE.

Tre sono le tipologie di perdite che influiscono negativamente sull'OEE:

- Disponibilità: perdite per inattività macchina;
- Qualità: perdite per difetti;
- Prestazioni: perdite per velocità macchina.

4.3.1.1 Calcolo dell'OEE

I fattori che si utilizzano per il calcolo dell'OEE sono i seguenti:

- A. Tempo operativo netto;
- B. Tempo di funzionamento (B<A perdite per inattività macchina);
- C. Obiettivo di produzione;
- D. Produzione reale (D<C perdite per velocità macchina);
- E. Produzione reale;
- F. Produzione conforme (F<E perdite per difetti).

$$OEE = \frac{B}{A} * \frac{D}{C} * \frac{F}{E} * 100;$$

Le perdite per disponibilità sono dovute principalmente a inattività causate da guasti e tempi necessari al set-up delle macchine.

Le perdite di prestazioni sono dovute principalmente alle riduzioni di velocità, cioè quando in produzione l'operatore fa girare la macchina ad una velocità inferiore a quella stabilita.

Il fattore qualità è influenzato negativamente dalla produzione di pezzi difettosi. Parte di quest'ultimi sono necessari se si verificano in fase di messa a punto della macchina ma spesso gli scarti e le rilavorazioni sono ingenti e dovuti ad errori in fase di produzione.

4.3.1.2 Raccogliere i dati dell'OEE

Raccogliendo i dati e calcolando l'OEE in tempo reale è possibile individuare con semplicità gli eventi problematici che ne comportano una riduzione e, anche, valutare l'efficacia di ogni iniziativa intrapresa per migliorare l'efficienza della macchina. Il processo di raccolta dati coinvolge gli operatori, i quali è opportuno siano aggiornati sull'esito della valutazione dell'indicatore affinché gli sia noto l'effetto di ogni loro azione.

Prima di procedere al calcolo dell'OEE è di fondamentale importanza definire le cause che ne comportano una riduzione. Quest'ultime, definite perdite, sono intese in termini di disponibilità, prestazioni e qualità, e variano a seconda dell'attrezzatura. Uno schema di partenza può essere quello delle "Six Major Losses":

- Le perdite per inattività sono misurate in unità di tempo. Esse includono: guasti, tempi di riparazione, tempi di set-up e altre perdite causa di inattività.

- Le perdite di velocità sono misurate in unità di produzione, ricavate dalla differenza tra produzione reale e produzione potenziale. Per produzione potenziale si intende la produzione che si otterrebbe utilizzando la macchina costantemente a velocità standard.
- Le perdite per difetti sono anch'esse misurate in unità di produzione. In questo caso il valore sarà ottenuto dalla differenza tra produzione reale totale e produzione che soddisfa le richieste dai clienti (prodotti conformi). (Chiarini)

4.3.2 Manutenzione

Prima dell'avvento dei principi del TQM²¹ tutte le attività manutentive degli impianti erano delegate a personale esterno specializzato mentre gli operatori erano coinvolti solo nel processo produttivo. Delegare la manutenzione ad operatori esterni comporta:

- la perdita di gran parte delle informazioni sullo stato della macchina note solo agli operatori;
- la deresponsabilizzazione degli operatori su quanto avviene alla macchina comporta implicitamente un peggioramento della qualità del prodotto;
- l'auto dei costi di gestione della macchina;
- la riduzione vita utile della macchina.

4.3.2.1 Conoscenze richieste agli operatori coinvolti anche nella gestione della manutenzione

Per le motivazioni precedentemente descritte si preferisce che gli operatori delle macchine, oltre al controllo della qualità del prodotto, si occupino anche di parte delle attività manutentive e di esprimere i loro feedback sullo stato di funzionamento della macchina. In tale nuovo scenario l'operatore necessita di conoscenze aggiuntive. In particolare, nelle aziende che applicano il TPM ²²si suggeriscono un corso di formazione basato su:

- conoscenze tecnologiche basilari dell'impianto;
- manutenzione di base, lubrificazione, pulizia, regolazioni, controlli di routine, etc.
- capacità di prevedere l'insorgere di guasti;
- conoscenza delle cause che possono portare ai guasti;

²¹ Il TQM (Total Quality Management) è un approccio manageriale centrato sulla Qualità e basato sulla partecipazione di tutti i membri di un'organizzazione allo scopo di ottenere un successo di lungo termine attraverso la soddisfazione del cliente e benefici che vadano a vantaggio dei lavoratori e della società.

²² La metodologia TPM rappresenta l'evoluzione della cosiddetta Manutenzione preventiva, introdotta negli anni '50. È un approccio alla manutenzione che ha come scopo quello di ridurre al minimo le fermate degli impianti ed altre problematiche che possono incidere sull'efficienza ed efficacia dei processi di produzione e/o realizzazione del servizio. A tale scopo il TPM coinvolge la totalità degli operatori, dei manutentori e dei supervisori, nonché il management stesso.

- capacità di individuare le principali cause dei guasti e perdite di performance;
- conoscenze basilari della capacità di processo e delle cause di variazione che possono portare a generare difetti di prodotto;
- capacità di interpretare le tendenze e derive dell'impianto e delle caratteristiche dei prodotti;
- capacità di individuare le principali cause di difettosità ed agire di conseguenza;
- capacità di reagire nelle situazioni di emergenza;
- capacità di sostituire e riparare i componenti dell'impianto, prevenzione dei rischi per la sicurezza.

4.3.2.2 Manutenzione preventiva programmata

Gli operatori opportunamente addestrati svolgono le attività di manutenzione autonoma day-by-day. La pulizia, la lubrificazione, la regolazione, le piccole manutenzioni e la gestione dei fattori che influenzano le performance e la qualità del prodotto comportano nel breve periodo un aumento dell'efficienza, della produttività della macchina e la riduzione degli scarti.

Le attività manutentive svolte quotidianamente dagli operatori sono limitate alle loro conoscenze. Dunque, le procedure più complesse sono delegate a personale esterno specializzato. In tale scenario nasce l'esigenza di programmare gli interventi con cadenza mensile, bimensile o semestrale a seconda dell'esigenza. La questione centrale è sita nell'individuazione della giusta frequenza di intervento a seconda della priorità associata al fermo macchina che si intende evitare.

Fondamentale per quest'aspetto è disporre di un software che possa ricordare le scadenze. Quest'ultimo può essere implementato inizialmente con le frequenze d'intervento suggerite dal libretto di uso e manutenzione dell'impianto ed aggiornato, quotidianamente, tramite le informazioni provenienti dal processo di manutenzione autonoma degli operatori (un check-up giornaliero sulle condizioni di salute della macchina).

Tali software per la programmazione degli interventi manutentivi hanno in considerazione il valore dei seguenti indicatori:

- MTTF - Mean Time To Failure (Tempo medio fino al guasto)
- MTTR - Mean Time To Repair (Tempo medio di riparazione)
- MTBF - Mean Time Between Failures (Tempo medio fra i guasti), cioè pari alla somma dei primi due.

4.3.2.3 MTTF - Mean Time To Failure e MTBF - Mean Time Between Failures

Il MTTF è applicato a componenti/sistemi non riparabili. Misura quanto tempo trascorre fino al guasto che porta alla sostituzione del componente/sistema.

Ad esempio, una vite che presenta un MTTF di decine di migliaia di ore. Al primo guasto si sostituisce senza ripararla.

Il MTBF è applicato a componenti/sistemi che possono essere riparati. Tale indicatore è dato dalla somma del MTTF e del MTTR, cioè il tempo medio di riparazione.

Ad esempio, uno stampo di una pressa presenta all'incirca un tempo d'utilizzo fino al guasto di 260 giorni ed un tempo medio di riparazione di 15 giorni. Dunque, un MTBF di 275 giorni. (Chiarini)

CAPITOLO 5

L'AZIENDA CAMPIONE

IL sistema MES precedentemente illustrato è stato applicato al reparto produzione stampi di una PMI italiana (Eurodies Italia S.r.l).

La trattazione procede inizialmente con una sintetica panoramica sull'impresa e sul settore nella quale essa opera e continua con una descrizione delle attività coinvolte nella gestione della commessa.

5.1 Eurodies: panoramica sull'impresa e sul settore in cui opera

Eurodies Italia S.r.l è una PMI italiana con sede legale ed operativa in Viale dei Mareschi 25 in Avigliana (TO).

L'azienda si occupa sia della produzione di attrezzature che della fabbricazione di componenti in lamiera per prototipi e piccole serie di passanger cars e veicoli commerciali di piccola taglia. L'impresa vanta tra i suoi clienti alcune tra le più grandi società automobilistiche mondiali (principalmente car makers tedeschi). Tali società, durante lo sviluppo prodotto, necessitano di prototipi per eseguire test di sicurezza ed assemblaggio e non essendo strutturati per produrre un esiguo numero di pezzi ad un costo ridotto preferiscono rivolgersi ad aziende specializzate come Eurodies.

In Eurodies coesistono due realtà aziendali distinte che insieme concorrono alla creazione di valore aggiunto:

- Progettazione e produzione degli stampi per la fabbricazione di componenti in lamiera;
- Produzione di componenti in lamiera;

La fabbricazione di prototipi è il core business aziendale. La natura sperimentale degli stessi spesso comporta l'introduzione di modifiche ai componenti anche durante la produzione. A tal proposito il cliente non impone un'unica deadline per la consegna dei pezzi ma preferisce che questi ultimi siano verificati ed inviati progressivamente in diversi lotti. Nel caso in cui si riscontrasse una problematica durante il collaudo o il cliente necessitasse di una modifica Eurodies deve essere in grado di assolvere ad ogni richiesta repentinamente. Queste esigenze possono essere assolte dall'impresa grazie all'elevata flessibilità del sistema produttivo figlia della competenza e serietà della dirigenza e di un personale fortemente specializzato.

Se da un lato l'accentramento delle competenze nei singoli individui costituisce un punto di forza dell'azienda dall'altro vincola alla presenza degli stessi l'esito positivo delle commesse.

A tal proposito la dirigenza sta investendo in nuove tecnologie come attrezzature (robot) e software per migliorare le performance del processo produttivo e svincolare alcune fasi dello stesso dalla presenza di personale specializzato.

I software tramite la circolazione delle informazioni tra i diversi reparti e il monitoraggio delle attività produttive e del magazzino permetteranno:

- l'automatizzazione della pianificazione della produzione;
- l'automatizzazione del magazzino;
- l'ottimizzazione dei tempi di produzione;
- maggior precisione nel calcolo del margine di commessa a preventivo;
- la valutazione di miglioramenti mirati per migliorare le performance del processo produttivo;

e generano conseguenzialmente una riduzione dei costi e un aumento dei profitti. Risultati essenziali visto il contesto economico e gli strettissimi vincoli di budget con cui l'azienda opera.

A tal proposito si riporta una sintesi dell'elaborazione ANFIA²³ dei dati ISTAT²⁴ per l'annualità 2019 del mercato parti e componenti per autoveicoli (ITALIA):

“Nei primi 9 mesi del 2019, il valore delle esportazioni del settore dei componenti per autoveicoli (che considera anche i trasferimenti intra-aziendali) si riduce del 2,1% rispetto allo stesso periodo del 2018 e ammonta a 16,65 miliardi di euro e vale il 4,7% dell'export totale italiano. A frenare l'export sono stati tutti i comparti: i motori per un valore di 2,9 miliardi di euro (-9%), delle parti elettriche per 1,42 miliardi di euro (-0,6%), delle parti in gomma per 1,02 miliardi (-0,1), delle parti meccaniche per un valore di 11,25 miliardi di euro (-0,2%) e degli apparecchi riproduttori del suono per 9,3 milioni (-52%).”

Invece, tra le note positive si riporta una crescita dell'export nei principali paesi di destinazione tra cui Germania (principali clienti di Eurodies):

“Cresce l'export anche nel principale mercato di destinazione, la Germania, del 5,1%, con 3,55 miliardi di euro in valore e in Spagna del 3,1% con 1,2 miliardi di euro, mentre risulta in calo in Francia (-5% e 1,75 miliardi di euro).”

Tali finestre sui dati di mercato manifestano una riduzione dell'export nel 2019.

Nel 2020 l'emergenza sanitaria mondiale Covid-19 ha complicato ulteriormente il quadro generale rendendo imperdibili le possibilità d'investimento fornite dal MISE sulle tecnologie abilitanti industria 4.0 volte a migliorare l'efficienza dei processi produttivi e, quindi, a ridurre sprechi e costi.

5.2 Gestione della commessa

Nell'impresa coesistono due realtà produttive separate ma connesse da una relazione di propedeuticità dei processi:

- la produzione di attrezzature per la realizzazione di componenti in lamiera;
- la produzione di componenti in lamiera.

La realizzazione di componenti in lamiera per prototipi implica un numero di ordini ridotto per singolo componente mentre la produzione delle attrezzature riguarda ordini unici (OKP). Questa estrema personalizzazione di prodotto si rilette sul processo produttivo nonostante ciò è possibile illustrare quest'ultimo attraverso una sequenza di fasi che accomuna ogni commessa:

1. Ricezione disegno CAD²⁵;
2. Definizione ciclo e disegno stampi
3. Simulazione del processo di stampaggio
4. Progettazione dei percorsi utensile Reparto CAM²⁶
5. Produzione degli stampi
6. Costruzione struttura per il taglio laser 3D
7. Messa a punto
8. Produzione dopo la messa a punto
9. Taglio laser

²³ Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica

²⁴ Istituto Nazionale Di Statistica

²⁵ Computer-Aided Design

²⁶ Computer-Aided Manufacturing

- 10. Collaudo
- 11. Spedizione

Si procede analizzandole singolarmente.

5.2.1 Ricezione disegno CAD

Accettata una nuova commessa, il cliente invia all'impresa le matematiche nel componente prototipale commissionato.

5.2.2 Definizione ciclo e disegno stampi

Dalle matematiche del componente commissionato il reparto CAD ipotizza le operazioni necessarie per la formatura del componente sotto pressa, progetta le attrezzature necessarie e sceglie il materiale. Le operazioni eseguibili sotto pressa sono:

- L'imbutitura: è tipicamente la prima operazione ad essere eseguita. Permette di ottenere forme concave, convesse o anche più complesse a partire da un foglio di lamiera piano. In una delle possibili configurazioni la matrice e vincolata alla parte inferiore della pressa e il foglio di lamiera è posizionato su di essa. Il premilamiera compie la sua corsa verso il basso fino ad entrare in contatto per primo con la lamiera e vincolarla contro la matrice. Il punzone fissato alla parte superiore della pressa inizia in ritardo la sua corsa, entrando, solo successivamente, in contatto con la lamiera. In questo momento inizia l'operazione d'imbutitura. La forza esercitata dal punzone costringe la lamiera a deformarsi scorrendo verso l'interno della matrice e ad assumere la forma del punzone. La pressione esercitata dal premilamiera deve essere tale da non impedire lo scorrimento della lamiera (facilitato da un'opportuna lubrificazione) evitando così il raggrinzimento (tipico difetto dovuto moto imbutente del punzone). Al termine dell'operazione il punzone inizia la sua corsa di ritorno e con leggero ritardo lo segue il premilamiera. Per azione della molla di espulsione il pezzo sarà estratto dalla matrice. La molla immagazzina energia durante la fase d'imbutitura e la libera nella fase

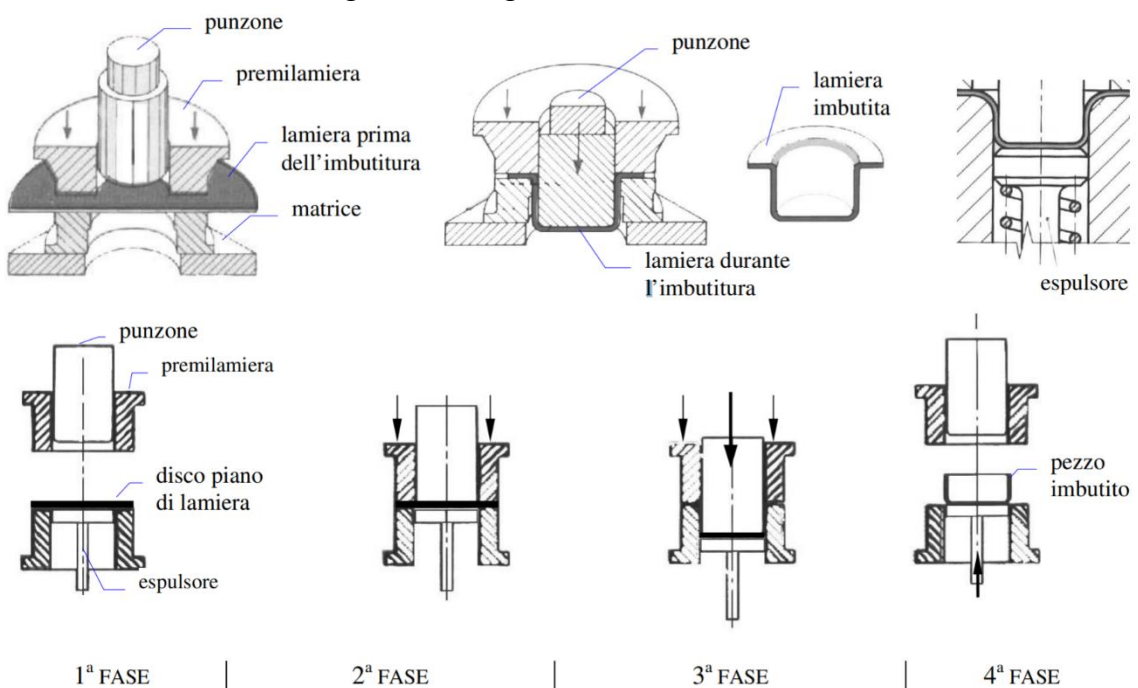


Figura 16 operazione d'imbutitura. Nella figura sono illustrate le attrezzature utilizzate e tutte le fasi del processo.

di espulsione. L'utilizzo di presse oleodinamiche permette di lavorare prodotti con rapporti di imbutitura più elevati rispetto all'utilizzo di alternative meccaniche. Nel caso non sia utilizzati il premilamiera l'operazione è denominata 'imbutitura a secco'. (Pesenti)

- La flangiatura: questo tipo di lavorazione è utilizzata per piegare i contorni della lamiera. Spesso per questo tipo di operazione sono utilizzati dei tasselli rimovibili che sono montati sugli stampi per ottenere la figura desiderata.
- La tranciatura: è un processo che avviene solamente nel ciclo di produzione dei prodotti di serie. Tale operazione sostituisce il taglio laser 3D utilizzato per i componenti prototipali. La tranciatura permette di avere un taglio molto più netto rispetto a quello che si otterrebbe mediante l'utilizzo di un laser e, quindi, estremamente preciso. Lo stampo di tranciatura presenta delle vere e proprie lame che permettono di tagliare lo sfrido con un singolo colpo di pressa.

5.2.3 Simulazione del processo di stampaggio

Ottenuta la matematica delle attrezzature il reparto CAD simula il processo di stampaggio tramite il software Autoform. Se l'esito è positivo, la progettazione è idonea e si può procedere alla fase successiva.

In caso contrario va rivista la matematica correggendo le problematiche messe in risalto dal software.

5.2.4 Progettazione dei percorsi utensile Reparto CAM

Dalle matematiche delle attrezzature il reparto CAM progetta i percorsi utensile necessari per lo svolgimento delle lavorazioni di fresatura. Il reparto svolge tale attività sia per la creazione del modello di polistirolo da inviare in fonderia che per la lavorazione del grezzo da cui deriva l'attrezzatura.

5.2.5 Produzione degli stampi

È sicuramente la fase più complessa e lunga tra le precedenti.

La produzione inizia con l'arrivo del grezzo dalla fonderia. Quest'ultimo è sottoposto per diversi giorni a numerose lavorazioni di fresatura le quali possono essere raggruppate in tre macro-fasi:

- Spianatura: è la prima ad essere eseguita. La base dello stampo è fresata tramite un utensile toroidale in modo d'assicurarsi che la stessa sia perfettamente piana.
- Sgrossatura: avviene dopo la spianatura, comporta l'asportazione di un elevato strato di truciolo. Per tale motivo è richiesta la presenza dell'operatore in quanto l'elevata quantità di materiale asportato potrebbe causare blocchi dell'utensile.
- Finitura: la terza ed ultima macro-fase è la più lunga. L'utensile esegue molti passaggi asportando piccoli strati di materiale e garantendo la finitura superficiale richiesta. Questa macro-fase è eseguita in assenza dell'operatore su macchine dotate di cambio utensile automatico.

I materiali utilizzati per la produzione delle attrezzature sono tre:

- Ghisa: è il materiale con cui sono realizzati la maggior parte degli stampi. La produzione delle attrezzature parte con la fresatura di un modello di polistirolo successivamente inviato in fonderia. Quest'ultima ricava un modello identico in ghisa nell'arco di una settimana. Lo stampo grezzo è lavorato in azienda tramite frese a controllo numerico. Alcuni punti delle attrezzature necessitano di una superficie meno rugosa per una corretta formatura della

lamiera e, quindi, sono successivamente levigati a mano nel reparto “aggiustatori”. L'attenzione degli operatori è focalizzata principalmente su raccordi e spigoli vivi.

- Resina: se richiesti dal cliente un numero esiguo di componenti in lamiera e di ridotta qualità allora si produce solo la matrice in resina. In tal caso si cola la resina sul punzone in ghisa e si aspetta che essa solidifichi assumendone la forma. I costi di produzione si riducono enormemente per cui, quando è possibile, si preferisce utilizzare questo materiale. Un ulteriore problema legato alla costruzione di attrezzature in resina è costituito dagli elevati costi di smaltimento.
- Acciaio: è il materiale utilizzato per la produzione di attrezzature di piccole dimensioni. La produzione parte da solidi di acciaio fresati fino ad assumere la forma desiderata. Le successive lavorazioni nei punti critici sono assegnate agli aggiustatori.



Figura 17 Esempio di stampo in ghisa, sollevato dal carroponte

5.2.6 Costruzione struttura per il taglio laser 3D

Terminata la produzione delle attrezzature sono costruite delle strutture di sostegno per il taglio dei componenti in lamiera. Quest'ultimi, dopo essere stati formati sotto pressa, devono essere tagliati al laser. Tali strutture, chiamate comunemente pallet, sono ottenute saldando più barre d'acciaio nel reparto carpenteria aziendale. Il pallet entra in contatto con il pezzo in più punti tramite piccole



Figura 18 Struttura per il taglio laser (pallet).

superfici su cui si cola resina fusa per accogliere e sostenere il pezzo senza danneggiarlo. Ogni pallet ha una forma speculare al pezzo che sostiene e per tal motivo è unico. Per evitare ulteriori costi, quando è possibile, i pallet vengo modificati e riutilizzati per altre commesse.

5.2.7 Messa a punto

Questa fase è fondamentale per un corretto svolgimento delle attività produttive ed una limitazione degli scarti. A causa degli stringenti vincoli di tempo e costi la fase di progettazione degli stampi avviene molto rapidamente e quindi potrebbero riscontrarsi diverse problematiche nella formatura dei primi componenti. Tali problematiche sono riconducibili a due cause opposte: nella prima il premilamiera esercita troppa pressione sul foglio evitandone lo scorrimento e causando rotture, nella seconda, invece, non riesce a vincolarlo sufficientemente causando grinze o pieghe. Altri punti critici sono raccordi e spigoli vivi i quali potrebbero richiedere particolare attenzione da parte degli operatori. Questi ultimi nella fase di messa a punto formano i primi componenti per individuare su di essi le problematiche e, grazie alla loro esperienza, superarle. Si elencano di seguito le problematiche e i metodi di correzione utilizzati:

- Rottura per scarso scorrimento del foglio di lamiera.

Le soluzioni da applicare sono le seguenti: (i) lubrificare la lamiera tramite olio o grasso; (ii) disporre dei fogli di nylon nei punti critici dove la lamiera scorre con maggior difficoltà (utilizzare diverse tipologie di nylon permette di scegliere quanto agevolare lo scorrimento); (iii) posizionare piccoli compensatori tra premilamiera e matrice; (iv) modificare lo sviluppo del foglio di lamiera riducendo, così, la porzione di materiale trattenuta tra premilamiera e matrice, e favorendone lo scorrimento.



Figura 19 esempio di rottura per scarso scorrimento del foglio di lamiera durante il processo di formatura sotto pressa.

Nel caso in cui, nonostante tali accorgimenti, si verificano ancora tali problematiche allora le attrezzature dovranno essere smontate e modificate. Ovviamente si cerca di evitare tale soluzione in quanto ogni variazione progettuale dello stampo richiede tempo ed ulteriori costi.

- Grinze e Ondulazioni per Eccessivo Scorrimento del Materiale.

È una problematica opposta alla precedente. Se è stato asportato troppo materiale dal premilamiera durante il processo di fresatura dell'attrezzatura allora l'attrito tra il foglio e le parti dello stampo non

è sufficiente e la lamiera scorre eccessivamente. Tale fenomeno provoca grinze ed ondulazioni sul componente durante il processo di formatura sotto pressa. In tal caso si modifica lo sviluppo aumentando la porzione di materiale trattenuta tra premilamiera e matrice, e conseguenzialmente complicando lo scorrimento della lamiera.

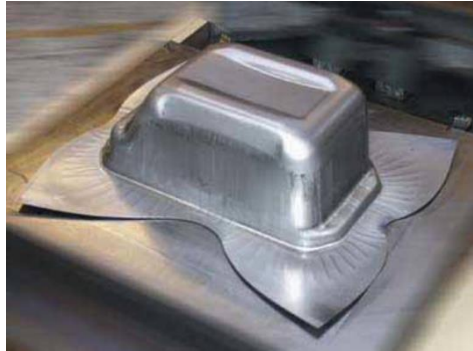


Figura 20 esempio di pezzo imbutito che presenta grinze.

5.2.8 Produzione dopo la messa a punto

Se la messa a punto è stata effettuata con molta attenzione allora la produzione procederà velocemente senza ulteriori imprevisti. In caso contrario, la produzione procederà a singhiozzi e si continueranno a verificare pieghe, grinze o rotture sui componenti, il che comporterà, inevitabilmente, un aumento degli scarti e dei costi.

5.2.9 Taglio laser

Come spiegato in precedenza i componenti in lamiera sono formati a partire da fogli piani. Dopo lo stampaggio la lamiera in eccesso è tagliata tramite un laser 3D. Affinché la fase di taglio possa essere eseguita correttamente, il componente è disposto su di una struttura di sostegno opportunamente costruita per accoglierlo. Dopo il taglio laser la produzione termina dai battilastra, i quali svolgono lavorazioni manuali sul componente che non risulta conveniente eseguire sotto pressa.

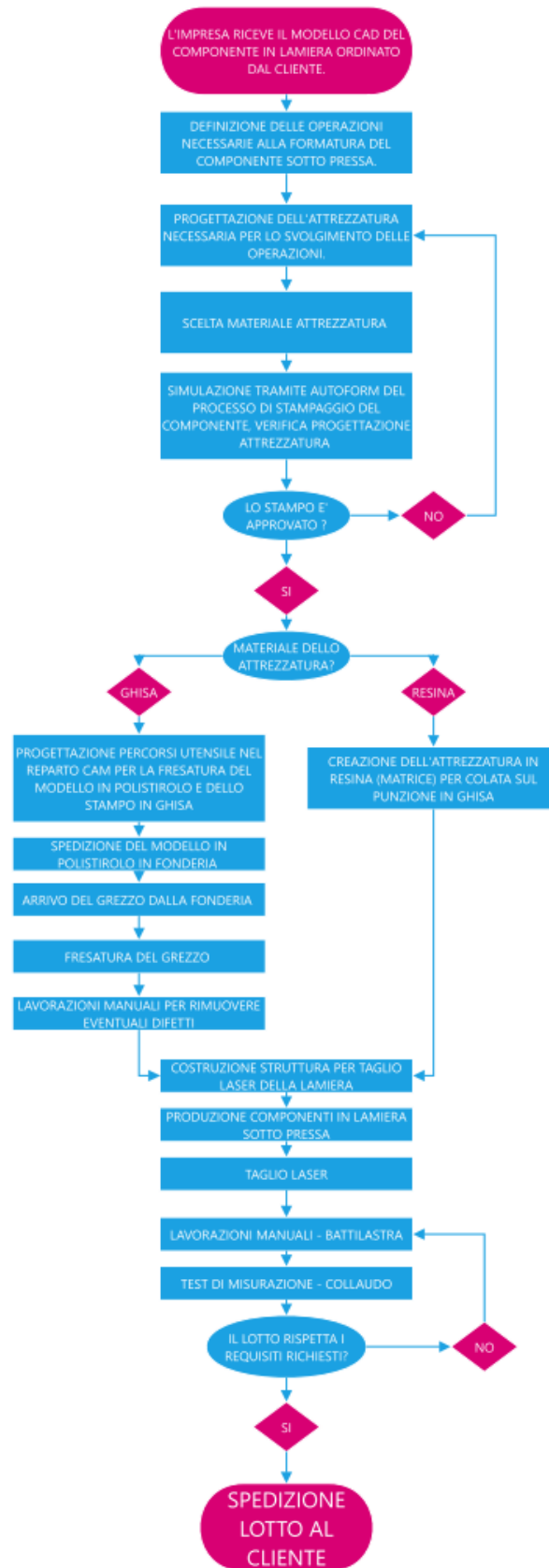
5.2.10 Collaudo

Con tale termine si intende il controllo qualità. Prima che arrivi il cliente si effettua un test su un pezzo per ogni lotto e si controlla che il pezzo rispetti le tolleranze di forma e dimensione richieste. Quest'ultime sono generose poiché i componenti prodotti hanno una finalità prototipale. Il collaudo serve anche per tarare il laser 3D. Infatti, prima di effettuare il taglio su tutto il lotto si verifica che i contorni del componente non si discostino dalla tracciatura sul punzone (sagoma ricavata sull'attrezzatura durante la produzione). In caso contrario, si tara diversamente il laser 3D e si procede al taglio dei restanti componenti.

5.2.11 Spedizione

L'ultima fase della commessa è la spedizione dei pezzi finiti.

5.2.12 Processo Produttivo – Flow chart



CAPITOLO 6

GENERALITÀ SULLA FRESATURA MECCANICA

Si riporta una breve panoramica sulla lavorazione meccanica e sulle macchine utilizzate per svolgerla, tratta dalla sezione “Conoscenze tecniche” dell’impresa Sandvik Coromant.

6.1 Principio di funzionamento

La fresatura meccanica è una lavorazione per asportazione di truciolo che permette di realizzare una vasta gamma di profili sfruttando il moto rotatorio di un utensile a più taglienti. La lavorazione solitamente si svolge in più passaggi: dalla sgrossatura alla finitura. La prima consiste nell’asportare una grande quantità di materiale nel modo più rapido ed economico possibile. La fase di finitura consente, tramite l’asportazione di un volume minore di metallo, di ottenere un prodotto conforme al progetto per dimensioni, tolleranze e rugosità delle superfici.

6.2 La fresatrice

La fresatrice è la macchina utensile adibita alla fresatura meccanica. Nella sua forma base è costituita da queste componenti: un basamento, la tavola, dove viene fissato il pezzo da fresare, un montante, sul quale è alloggiato il mandrino (azionato da un motore elettrico). Il mandrino imprime all’utensile di fresatura il moto rotatorio che le consente di asportare il truciolo.

Per la fresatura di profili 3D sono necessarie macchine a 5 assi. Con gli sviluppi nell'area del CAM, oggi le macchine a 5 assi sono sempre più diffuse.

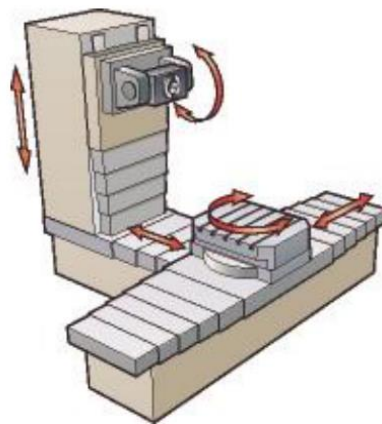


Figura 21 esempio fresa a 5 assi

È possibile classificare le fresatrici a seconda dell’orientamento dell’utensile; si distinguono, quindi, fresatrici orizzontali e fresatrici verticali. Le prime hanno il mandrino montato orizzontalmente, invece le seconde hanno la fresa orientata verticalmente.

6.2.1 Mandrino orizzontale

- Adatto per la fresatura di componenti di grandi dimensioni;
- Semplicità di evacuazione dei trucioli nella fresatura di cavità ed evita la loro rimacinazione;
- minore massa per accelerazione/decelerazione.

- Tipo di macchine più comuni per l'uso di frese a disco.

6.2.2 Mandrino verticale

- garantiscono una maggiore stabilità con il pezzo appoggiato sulla tavola;
- adatti per pezzi più grandi e pesanti;
- possono lavorare con set-up utensili più lunghi e pesanti.

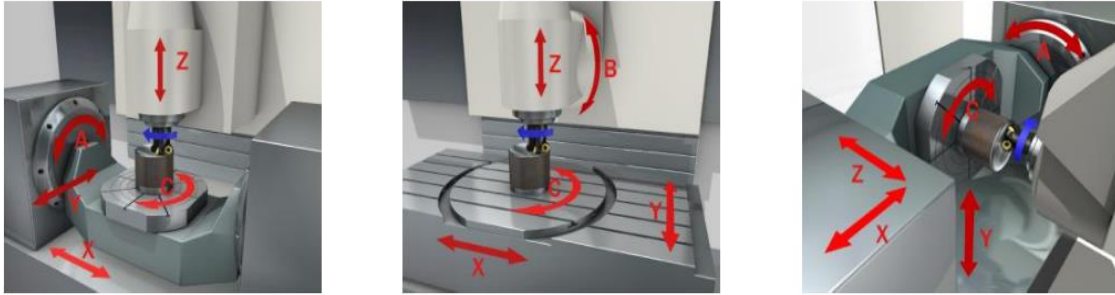


Figura 22 (da sx verso dx) Centro di lavorazione verticale con un quinto asse A; Centro di lavorazione verticale con un quinto asse B; Centro di lavorazione assiale a 5 assi;

6.2.3 I centri di lavoro per la fresatura

La fresatura è una delle lavorazioni effettuabili dai moderni centri di lavoro CNC. Si tratta di macchine a controllo numerico che permettono di eseguire varie lavorazioni su più superfici con un solo set-up del pezzo. Solitamente sono macchine con più assi di moto e dotate di un magazzino utensili automatico con inserti che permettono oltre alla fresatura anche operazioni di foratura, barenatura, alesatura, tornitura e maschiatura. A differenza delle fresatrici CNC a 3 assi i centri di lavoro permettono anche di inclinare il mandrino su uno o più assi rotativi, in modo da lavorare geometrie particolarmente complesse.

6.3 La fresa

La fresa è l'utensile che, installato sulla fresatrice, permette l'asportazione del truciolo. A seconda del numero e della disposizione dei taglienti si caratterizzano varie tipologie di fresa da impiegarsi in diversi tipi di lavorazione.

6.4 I parametri della fresatura meccanica

- Avanzamento: è la distanza di avanzamento della fresa (o del pezzo) durante ogni singola rotazione dell'utensile.
- Velocità di taglio: Indica la velocità periferica a cui il tagliente lavora il pezzo in m/min.
- Velocità del mandrino: è la velocità di rotazione dell'utensile (o del mandrino) espressa in giri al minuto.
- Velocità di avanzamento: è la velocità del movimento della fresa rispetto al pezzo in lavorazione. Si può ottenere moltiplicando la velocità di taglio per la velocità del mandrino.
- Profondità di taglio assiale: è la profondità di taglio dell'utensile nel pezzo lungo l'asse di rotazione. Maggiore è la profondità di taglio minore dovrà essere la velocità di avanzamento. Nel caso di debbano effettuare tagli profondi spesso è conveniente programmare più passaggi.

- Profondità di taglio radiale: è la profondità di taglio dell'utensile in direzione radiale. Come nel caso precedente profondità elevate richiedono basse velocità di avanzamento e solitamente si prosegue in più passaggi.

6.5 Potenza e coppia

In generale, la potenza richiesta nella fresatura varia in relazione ai seguenti fattori:

- quantità di truciolo da asportare;
- spessore medio del truciolo;
- geometria della fresa;
- velocità di taglio.

Più è alto il volume di truciolo asportato (cm^3/min) tanto maggiore sarà la coppia richiesta.

Una macchina con coppia insufficiente produrrà trucioli di spessore variabile, dunque, prestazioni non uniformi. La maggior parte dei centri di lavorazione moderni è dotata di mandrini a trasmissione diretta. L'aumento della velocità raggiungibile dal mandrino determina minore coppia. Pertanto, le macchine che consentono di raggiungere velocità di rotazione del mandrino (giri/min) elevate hanno delle limitazioni per la sgrossatura con frese di diametro grande. Quest'ultime richiedono basse velocità e coppia elevata. I metodi di lavorazione dovranno, quindi, essere adattati al contesto. Tale motivazione spiega la tendenza ad utilizzare queste macchine per lavorazioni veloci e leggere, con frese di diametro inferiore e piccole profondità di taglio. (Fogliani)

CAPITOLO 7

ANALISI DEI DATI D'INPUT NEL SISTEMA MES

L'obiettivo del lavoro di tesi è l'applicazione del sistema M.E.S. Octavic ad una produzione O.K.P. e lo svolgimento di test preliminari dimostranti l'efficienza della pianificazione M.E.S. in fase progettuale.

L'area produttiva d'interesse riguarda la realizzazione delle attrezzature per lo stampaggio di componenti in lamiera.

La trattazione procede richiamando le fasi del processo produttivo coinvolte e descrivendo il reparto aziendale oggetto di studio.

Nonostante si prendano in esame prodotti altamente personalizzati, verrà individuata una struttura del ciclo produttivo comune a tutte le attrezzature, le variabili di modifica dello stesso e la strategia con cui sono stati trattati i dati d'input.

7.1 Fasi del processo produttivo coinvolte

Le fasi del processo produttivo coinvolte sono le seguenti:

- Arrivo matematiche attrezzatura, progettate dal CAD;
- Progettazione CAM dei percorsi utensile per il modello di polistirolo;
- Progettazione CAM dei percorsi utensile per la realizzazione dell'attrezzatura;
- Fresatura del modello in polistirolo;
- Invio del modello alla fonderia;
- Arrivo del grezzo di ghisa dalla fonderia;
- Fresatura del grezzo fino ad ottenere l'attrezzatura desiderata;
- Lavorazioni manuali sulle attrezzature a correzione di eventuali imprecisioni.

7.2 Reparto aziendale d'interesse

Nella sede di Avigliana sono presenti 20 fresatrici a controllo numerico, ma non tutte sono funzionanti. Le macchine utilizzate sono connesse in rete, per cui è possibile caricare automaticamente sul CNC i percorsi utensile progettati dal reparto CAM. Il reparto d'interesse, denominato delle "Fresatrici Grandi", consta di macchinari a 5 assi capaci di lavorare con grande precisione. Le macchine "piccole" sono obsolete e sono utilizzate per la fresatura di attrezzature ridotte o per la lavorazione dei tasselli di acciaio per la Flangiatura.

Eurodies utilizza una propria nomenclatura per individuare con semplicità le macchine. Tale nomenclatura è basata sul layout macchina. Prendendo in esempio F1_2: il primo numero individua la fila, il secondo la posizione al suo interno. Le file sono quattro, di cui la prima è confinante con il cortile e l'ultima con il magazzino, mentre le posizioni all'interno delle stesse sono numerate a partire dai muri perimetrali. Si riporta la planimetria del reparto come allegato numero 1 della sezione preposta.

Le frese "grandi" non sono tutte utilizzabili in quanto alcune stanno subendo azioni manutentive. Si citano di seguito le frese coinvolte nello studio con alcuni dati tecnici che le riguardano.

INFORMAZIONI MACCHINE								
NOM. FRESA	MARCA E MODELLO	CONTROLLO	CAMPO DI LAVORO mm			NUM GIRI MANDRINO rpm	ANNO	FINALITÀ
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)			
F1_2	JOBS LINX COMPACT J1383	HEIDENHAIN TNC 640	4000	2950	1250	15000	2016	OP. DI FINITURA
F1_3	RAMBAUDI SARA JR0030	HEIDENHAIN TNC 530	3200	2400	1200	6000	2013	OP. DI SGROSSATURA
F2_1	EMSIL GMMC 6000	FANUC 3II – MODEL B	6000	2800	1200	3000	2016	OP. DI SGROSSATURA
F2_2	PARPASS ML 90	FIDIA C1 - PCN 101	4000	1000	2000	6000	1989	OP. DI SGROSSATURA
F2_3	PARPASS ML 100	SELCA S - 3045 - P	4000	1250	1900	3000	1996	OP. DI SGROSSATURA
F2_4	JOBS LINX 30 J1351	HEIDENHAIN TNC 530	6200	2950	1250	15000	2015	OP. DI FINITURA
F2_5	JOBS EVER 7 J1352	HEIDENHAIN TNC 530	6000	3500	1250	15000	2015	OP. DI FINITURA

Tabella 1 Dati macchine reparto “Fresatrici Grandi”

Tali fresatrici sono suddivise in macchine di sgrossatura e finitura. Le prime sono: RAMBAUDI SARA JR0030, EMSIL, PARPASS ML 90, PARPASS ML 100. Le seconde sono: JOBS LINX COMPACT J1383, JOBS LINX 30 J1351, JOBS EVER 7 J1352.

Generalmente più è alto il volume di truciolo asportato (cm^3/min), tanto maggiore sarà la coppia da applicare all’utensile.

La maggior parte dei centri di lavorazione moderni è dotata di mandrini a trasmissione diretta, per cui si preferisce utilizzare le JOBS (macchine molto veloci e precise) per le operazioni di finitura. In tale fase l’utensile esegue molti passaggi asportando piccoli strati di materiale e, dunque, non è necessaria la presenza dell’operatore. Inoltre, la possibilità d’eguire queste lavorazioni come non presidiate favorisce l’utilizzo delle JOBS, in quanto dotate di cambio utensile automatico.

7.3 Ciclo produttivo delle attrezzature

Le attrezzature si realizzano tramite la fresatura di un grezzo di ghisa o d’acciaio. Nel primo caso si parte da un grezzo di fonderia, nel secondo da un solido pieno.

Ogni attrezzatura è prodotta ad hoc per la formatura di un determinato componente in lamiera. Quest’ultimo appartiene a un piccolo lotto ordinato dal cliente per l’assemblaggio di prototipi.

Da ciò si può dedurre che nel reparto d’interesse si realizzano solo prodotti altamente personalizzati. A tutte le lavorazioni di fresatura del grezzo è associato un percorso utensile progettato nel reparto CAM. Ogni attrezzatura in produzione è un pezzo unico e per tale motivo anche i percorsi utensile (progettati ad hoc) lo sono.

Ad ogni modo è possibile associare una struttura comune al ciclo produttivo (costituita da una sequenza di macro-attività) che permetta di racchiudere tutte le lavorazioni di fresatura per ogni attrezzatura in produzione.

Tale struttura consta delle seguenti macro-attività (da eseguire necessariamente in sequenza):

1. Spianatura e sgrossatura: racchiude le attività di trasformazione del pezzo da grezzo a semifinito (compresa la livellazione della base) e sono tutte in esecuzione sulle macchine di sgrossatura;
2. Finitura: racchiude le attività di trasformazione del pezzo da semifinito a finito e sono tutte in esecuzione sulle macchine di finitura;

3. Taglio: spesso l'impresa produce più attrezzature da un unico grezzo per ridurre i costi. In tal caso le attrezzature sono fresate insieme e al termine delle lavorazioni sono divise. Tale macro-attività racchiude tutte le operazioni di separazione, le quali sono in esecuzione sulle macchine di sgrossatura.

Nonostante le attrezzature siano accomunate da cicli produttivi ugualmente strutturati, le macro-attività appartenenti a quest'ultimi sono da customizzare in base al pezzo in produzione. Per questo motivo bisogna tenere in considerazione tutte le possibili variabili di modifica.

7.4 Variabili di modifica del ciclo produttivo

Affinché il sistema possa pianificare in modo opportuno le attività, bisogna comunicargli correttamente i dati di input in base all'attrezzatura in produzione, ovvero il corrispondente ciclo produttivo. È possibile individuare tutte le customizzazioni del ciclo partendo dalle variabili di modifica. Analizzando singolarmente l'effetto che ogni variabile apporta al ciclo e combinandoli successivamente tra loro, troveremo tutte le possibili varianti.

Nonostante i cicli produttivi siano composti dalle stesse tipologie di macro-attività la loro durata cambierà a seconda dell'attrezzatura in produzione. Questa rappresenta la variabile "A".

La variabile "B" riguarda l'assegnazione delle macro-attività alle macchine. Di norma le macro-attività di sgrossatura e taglio sono assegnate alle macchine di sgrossatura; analogamente quella di finitura alle macchine di finitura.

La variabile "C" è connessa alla macro-attività di taglio. Come illustrato precedentemente, tali attività saranno necessarie solo se l'impresa ha deciso di produrre due attrezzature da un solo grezzo.

7.5 Effetti di modifica delle variabili

In sintesi, le variabili di customizzazione sono:

- A. La durata delle macro-attività;
- B. L'allocazione delle macro-attività alle macchine;
- C. Le macro-attività necessarie;

Prima di analizzare gli effetti che singolarmente apportano al ciclo produttivo, si introducono due definizioni utili nella trattazione.

Un'attrezzatura si definisce complessa quando da un unico grezzo sono prodotte contemporaneamente due o più parti dello stampo.

Un'attrezzatura si definisce per componente strutturale se rivolta alla formatura di un componente non visibile della scocca prototipale (fine ultimo del cliente).

Gli effetti delle variabili di modifica sono i seguenti:

- A. Per individuare la durata delle macro-attività a seconda dell'attrezzatura, sono state definite undici classi. Ad ogni classe è stato associato un range di ore a budget per tutte le lavorazioni di fresatura. Il range di ore è stato attribuito alle classi in ordine crescente e ad ogni macro-attività è stata associata una percentuale dello stesso (vedi Figura 23).

AVERAGE CLASS TIME	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	
Milling Process Time (Hours)	15 <	15 - 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 100	100 - 125	125 - 150	150 - 175	175 - 200	> 200	
Milling Process - worked on two machines												
FRE_40 SEMIFIN.	55%	413	743	1238	1733	2228	2888	3713	4538	5363	6188	7013
FRE_50 FINIT.	44%	330	594	990	1386	1782	2310	2970	3630	4290	4950	5610
FRE_60 CUT	1%	8	14	23	32	41	53	68	83	98	113	128
Milling Process - worked on one machine												
FRE_45 SEMI + FIN	99%	743	1337	2228	3119	4010	5198	6683				
FRE_61 CUT	1%	8	14	23	32	41	53	68				

Figura 23 Tabella con le 11 classi e i corrispettivi range temporali per le attività di fresatura (in ore). Inoltre, sono presenti le percentuali del tempo di ciclo associate ad ogni macro-attività e le rispettive durate previste in minuti.

B. Se l'attrezzatura è rivolta alla realizzazione di un componente strutturale, le macro-attività di sgrossatura e finitura possono essere eseguite in sequenza sulla stessa macchina di sgrossatura. Se altrimenti l'attrezzatura è rivolta alla realizzazione di un componente visibile, dovranno essere allocate rispettivamente alle macchine di sgrossatura e di finitura.

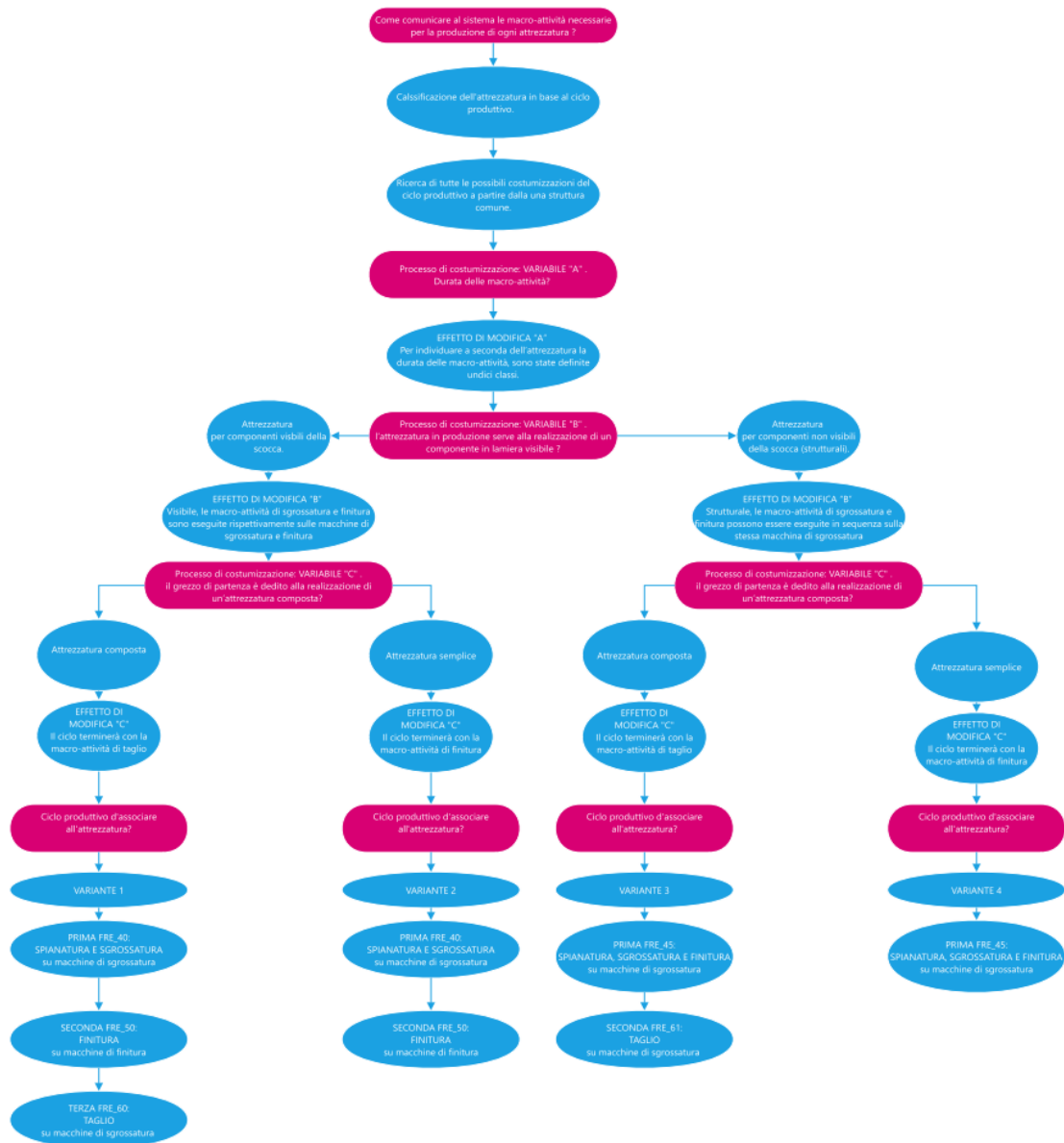


Figura 24 Processo d'individuazione delle quattro possibili varianti di ciclo. esempio per una sola classe

- C. Se l'attrezzatura è complessa (ad esempio, punzone e premilamiera prodotti da un unico grezzo di fonderia) il ciclo terminerà con la macro-attività di taglio, altrimenti con quella di finitura.

Dalla combinazione degli effetti di customizzazione B e C si ottengono quattro tipologie di ciclo produttivo per ogni classe. Quindi, in totale si hanno 44 varianti di ciclo che permettono di categorizzare le attrezzature in altrettanti gruppi e ridurre di conseguenza la complessità relativa ai dati d'input nel sistema.

Si riporta in Figura n°24 un flowchart che illustra per una sola classe il processo appena descritto.

Nel diagramma di flusso è indicata anche la codifica utilizzata nel sistema per distinguere e riconoscere le macro-attività.

7.5.1 Preferenze d'allocazione delle attività alle macchine

Avendo a disposizione quattro macchine di sgrossatura e tre di finitura, esistono delle preferenze di allocazione delle macro-attività alle macchine in base all'attrezzatura in produzione.

Le macchine di finitura hanno campi di lavoro molto simili mentre quelle di sgrossatura no. Per questo motivo, si preferisce allocare attrezzature di grandi dimensioni alla EMSIL e quelle di piccole dimensioni alla RAMBAUDI. Inoltre, si preferisce sgrossare le matrici con staffaggio verticale (PARPASS ML 90 e PARPASS ML100) per evitare accumuli di truciolo all'interno della figura concava che possono ostruire l'utensile durante la lavorazione. Queste e diverse altre motivazioni, come l'esperienza dell'operatore associato alla macchina, influiscono sulle preferenze di allocazione delle attrezzature ai centri di lavoro e quindi sulle scelte del responsabile di produzione.

È impossibile tenere in considerazione tutte queste variabili nel definire le preferenze, in quanto introdurre troppi vincoli alla schedulazione potrebbe inevitabilmente minare alla flessibilità del reparto, comportando grandi difficoltà nel seguire la pianificazione proposta dal sistema MES.

Per tale motivo è stato individuato un solo vincolo su cui basare le preferenze di allocazione delle macro-attività di sgrossatura alle macchine, cioè le dimensioni dell'attrezzatura da realizzare.

Le macchine di finitura hanno caratteristiche tecniche molto simili per cui è stata ripetuta la stessa preferenza d'allocazione per tutte le classi. Quest'ultima è stata espressa dal responsabile della produzione in base all'esperienza dell'operatore.

7.5.1 I Gruppi

Nella maggior parte dei casi il numero di ore a budget per lo svolgimento delle attività di fresatura rispecchia la mole di truciolo d'asportare e, quindi, le dimensioni dell'attrezzatura da realizzare.

Per cui le undici classi sono state suddivise in tre gruppi:

- Attrezzature "Piccole": classi da A ad E;
- Attrezzature "Medie": classi F e G;
- Attrezzature "Grandi": classi da H a M.

I vincoli d'ingombro per ogni gruppo sono definiti facendo riferimento agli assi macchine. L'asse x per scelta progettuale dell'azienda corrisponde alla dimensione più grande dell'attrezzatura, cioè quella vincolante. In base a quest'ultima i gruppi sono suddivisi nel seguente modo:

- Gruppo "Piccole": dimensione max di 3200 mm;
- Gruppo "Medie": dimensione max di 4000 mm;

- Gruppo “Grandi”: dimensione max di 6000 mm.

7.5.1 Metodo utilizzato per esprimere le preferenze d’allocazione

Come precedentemente illustrato, ad ogni classe corrispondono quattro possibili variazioni del ciclo produttivo.

Le preferenze di allocazione delle macro-attività alle macchine si ripetono per tutte le classi all’interno di un gruppo. In particolare, tali preferenze sono espresse associando ad ogni macro-attività di sgrossatura le macchine di sgrossatura con una priorità variabile da 1 (scelta consigliata) a 4. Analogamente viene attuato per ogni macro-attività di finitura. Il software andrà a pianificare la produzione associando le macro-attività alle macchine con priorità maggiore. Nel caso in cui quest’ultime fossero occupate, allora sposterà le attività sulle macchine con priorità inferiore.

Di seguito si riporta un diagramma di flusso che mette in evidenza come passare dai gruppi alle classi, dalle classi alle varianti dei cicli produttivi e da quest’ultimi alle macro-attività. Inoltre, mostra come porre le preferenze, ovvero associando ad ogni macro-attività la macchina e la priorità.

È possibile definire preferenze differenti per ogni classe. Nel nostro caso, le preferenze si ripetono per tutte le classi appartenenti ad un gruppo.

Il software, poiché dedito alla gestione di una produzione O.K.P., è molto flessibile. Infatti, permette, in caso di particolari esigenze produttive, di forzare la preferenza di allocazione di una macro-attività o escludendo una macchina oppure forzando l’allocazione ad una macchina in particolare.

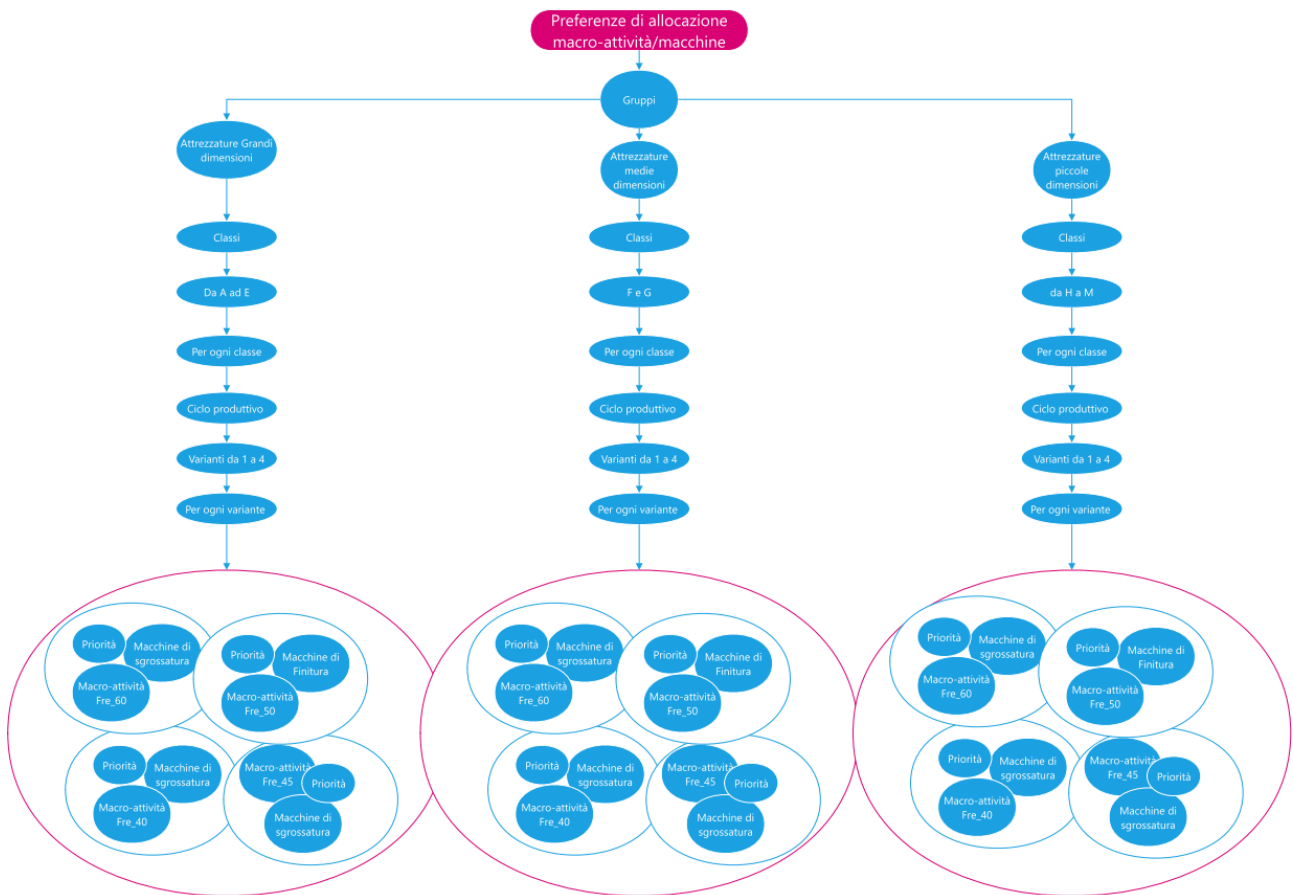


Figura 25 Digramma di flusso attraverso il quale si mette in evidenza come sono state definite le regole di allocazione macro-attività/macchina

CAPITOLO 8

MODIFICHE AL SOFTWARE OCTAVIC

Il sistema è stato implementato in reparto tramite l'utilizzo di monitor disposti in prossimità delle macchine che permettono l'integrazione dei dati macchina con quelli operatore.



Figura 26 Monitor associati alle macchine.

La gestione del sistema avviene invece tramite browser. L'interfaccia software è stata in parte modificata per accogliere i dati di input secondo la strategia precedentemente descritta.

8.1 Interfaccia caricamento ordini

Per introdurre un nuovo ordine si deve specificare la classe d'appartenenza dell'attrezzatura e il ciclo produttivo scegliendo una tra le quattro varianti possibili.

Ad ogni variante corrisponde una tipologia d'ordine:

- (i) Ordine di produzione di un'attrezzatura semplice per lo stampaggio di un componente visibile della scocca prototipale;
- (ii) Ordine di produzione di un'attrezzatura composta per lo stampaggio di un componente visibile della scocca prototipale;

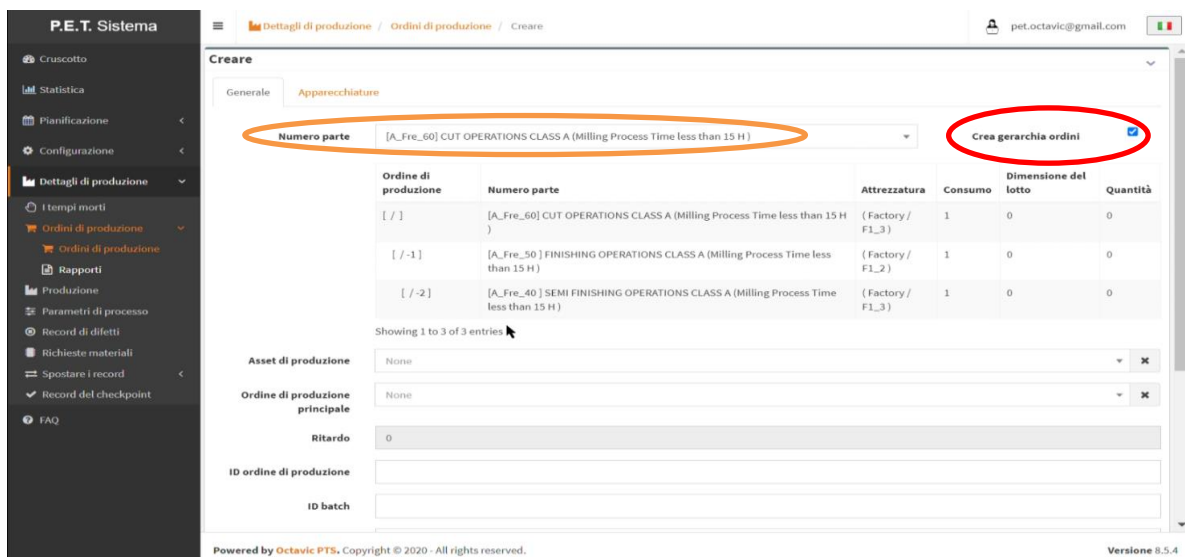


Figura 27 Interfaccia caricamento ordini. Nel circolo rosso è evidenziata la modalità "crea gerarchia", nel circolo verde il campo d'inserimento dell'ultima macro-attività del ciclo.

- (iii) Ordine di produzione di un'attrezzatura semplice per lo stampaggio di un componente strutturale della scocca prototipale;
- (iv) Ordine di produzione di un'attrezzatura composta per lo stampaggio di un componente strutturale della scocca prototipale;

Si riportano di seguito i cicli produttivi associati alle quattro tipologie d'ordine:

- (i) Per la prima tipologia è previsto un solo cambio macchina. La macro-attività di spianatura e sgrossatura (individuata nel software con codice Fre_40) è eseguita su una macchina di sgrossatura e successivamente quella di finitura (Fre_50) su una macchina di finitura.
- (ii) Per la seconda tipologia sono previsti due cambi macchina. L'ordine è gestito come il precedente fino alla macro-attività di finitura (Fre_50). Dopodiché l'attrezzatura è staffata nuovamente su una macchina di sgrossatura per svolgere la macro-attività di taglio (Fre_60).
- (iii) Per la terza tipologia non sono previsti cambi macchina. Tutte le macro-attività sono eseguite in sequenza sulla stessa macchina di sgrossatura. In tal caso il sistema le accorpa in un'unica macro-attività chiamata con codice Fre_45.
- (iv) Per la quarta tipologia è previsto un solo cambio macchina. In tal caso l'ordine è gestito come il precedente fino al termine della Fre_45. L'ultima macro-attività, cioè quella di taglio (Fre_61), è eseguita su un'altra macchina di sgrossatura. Il cambio macchina è giustificato dal fatto che tali macro-attività spesso sono eseguite a distanza di giorni.

Selezionando l'ultima macro-attività del ciclo produttivo ed utilizzando la modalità "crea gerarchia", il sistema pianificherà tutte le macro-attività precedenti nel rispetto della regola di consequenzialità imposta.

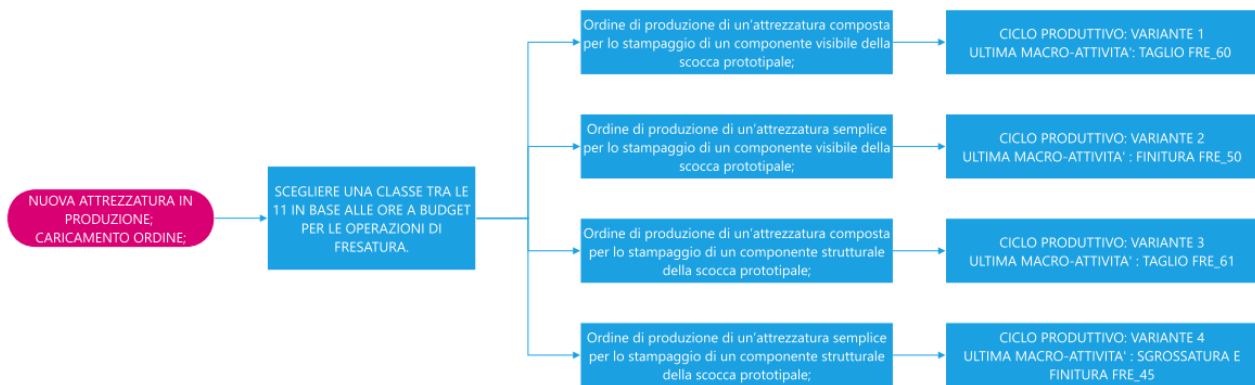


Figura 28 Processo di Caricamento Ordine (fa riferimento alle 4 varianti di ciclo, valutate precedentemente)

Inoltre, per ogni ordine deve essere specificato il codice aziendale prodotto, la data d'arrivo del grezzo dalla fonderia e la data di consegna.

8.2 Modifica Downtimes

È di fondamentale importanza per la pianificazione e per le analisi successive che l'operatore specifichi la causa dei tempi di fermo macchina. L'interfaccia del sistema è stata modificata in modo da classificare i downtimes nelle seguenti categorie:

- organizzazione, che comprende
 - pausa operatore: motivazione d'associare alle pause operatore;

- termine turno: motivazione d'associare al termine turno operatore;
- movimentazione attrezzatura, che comprende
 - cambio attrezzatura per una modifica: nel caso in cui è necessario interrompere la lavorazione per una modifica sull'attrezzatura in un altro reparto;
 - il trasporto con il carro-ponte: associare tale motivazione al tempo dedito al trasporto dell'attrezzatura con carro-ponte;
- manutenzione, che comprende
 - manutenzione utensile: associare tale motivazione al tempo dedito allo svolgimento di ogni operazione di manutenzione sull' utensile;
 - cambio lubrificante: associare tale motivazione al tempo dedito all'introduzione di nuovo lubrificante;
 - Pulizia: associare tale motivazione al tempo dedito allo svolgimento delle operazioni di pulizia;
 - Generico: associare tale motivazione al tempo dedito allo svolgimento di ogni operazione di manutenzione precedentemente non descritta;
- qualità, che comprende:
 - controllo: associare tale motivazione al tempo dedito allo svolgimento di ogni operazione di controllo;
- processo, che comprende
 - il cambio programma: motivazione d' associare al tempo dedito all'operazione di cambio programma relativo al percorso utensile che sarà in svolgimento;
 - lo staffaggio: motivazione d'associare al tempo dedito all'operazione di staffaggio;
 - l'errore: motivazione d'associare al tempo dedito alle operazioni necessarie per la risoluzione di ogni errore;

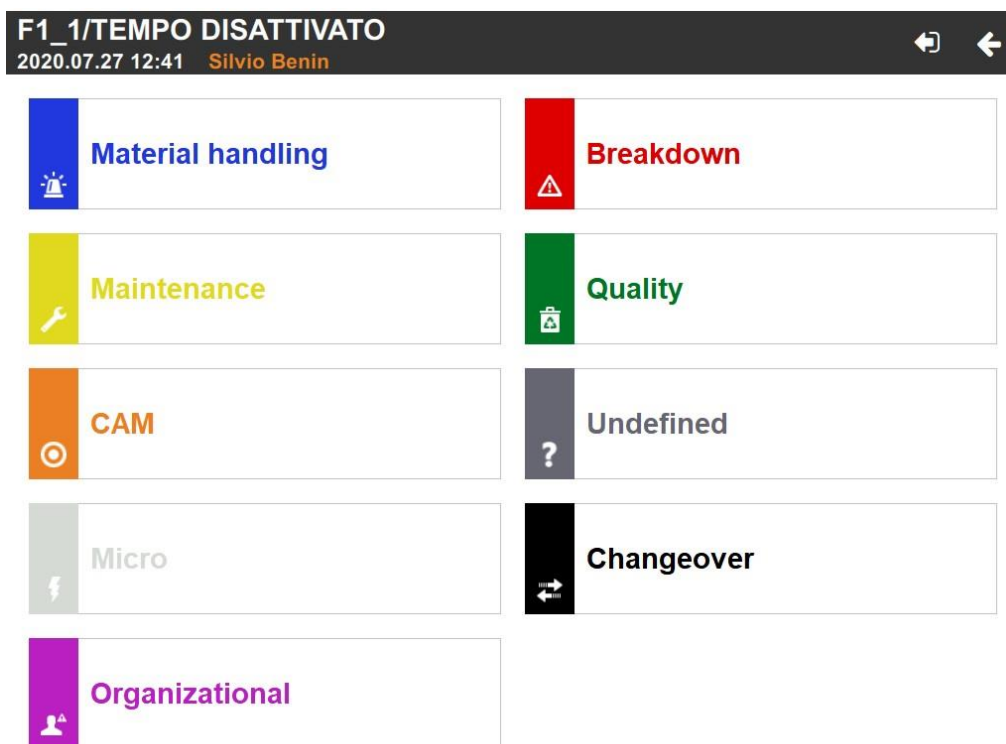


Figura 29 Categorie Downtimes di default nel sistema

- l'azzeramento-allineamento: motivazione d'associare al tempo dedito alle operazioni di azzeramento ed allineamento;
- generico: motivazione d'associare al tempo dedito a qualsiasi altra operazione di processo la cui motivazione non è stata precedentemente espressa;
- guasti, che comprende
 - generico alla macchina: associare tale motivazione al tempo dedito alla risoluzione di ogni guasto rilevato alla macchina;
 - generico all'utensile: associare tale motivazione al tempo dedito alla risoluzione di ogni guasto rilevato sull'utensile;
 - macchina offline: associare tale motivazione al tempo dedito alla risoluzione di ogni problematica che comporta l'inutilizzabilità della macchina nonostante essa non sia guasta;
- CAM, che comprende
 - l'errore ai percorsi utensile: associare tale motivazione al tempo dedito alla risoluzione di ogni problematica rilevata nel percorso utensile;
 - l'assenza dei percorsi utensile: associare tale motivazione al tempo in attesa nel caso in cui il percorso utensile non sia pronto;
 - simulazione dei percorsi: associare tale motivazione al tempo dedito ad ogni operazione di test dei percorsi utensile.

Nel caso in cui l'operatore associasse una motivazione generica al tempo di fermo macchina, allora è tenuto a scrivere una breve descrizione sulla causa dell'accaduto.

Le macchine inviano automaticamente i dati al sistema tramite la connessione ad Internet (IOT Technology) per cui l'inizio e la fine di ogni fermo sono individuati automaticamente tramite la rilevazione del moto del mandrino. A tal proposito, l'operatore ha solo il compito di specificare la causa del fermo macchina.



Figura 30 Nuove Categorie Downtimes nel sistema

CAPITOLO 9

FASE DI TESTING

In dimostrazione dell'efficienza del pianificatore già in fase progettuale, è stato effettuato un test su dati storici aziendali.

Sono stati raccolti i dati di produzione da Gennaio 2019 fornendo agli operatori del reparto il seguente modulo.

ORE GIORNALIERE REPARTO FRESATURA AVIGLIANA

DATA	COMMESSA			MACCHINA			OPERATORE			NOTE	
	COMMESSA	TIPO	TIPO STAMPA	COD. MACCH.	ora inizio produz.	ora fine produz.	Totale ore	Nominativo Operatore	ora inizio produz.		ora fine produz.
29/10	4798	A	30	F1_3	8	16	7	Scoto	8	16	7
30/10	4799	A	30	F1_3	7		5	✓	7	11	4
30/10	4799	A	30	F1_3	7		5	✓	11	16	4
31/10	4799	A	30	F1_3	7		2,30	✓	7	8,30	1,30
31/10	4799	A	30	F1_3	7		2,30	✓	8,30	10	1,30
31/10	4797	A	30	F1_3	12		7	✓	12	16	3
04/11	4797	A	30	F1_3	7	11	4	✓	7	11	4
04/11	4721	A	50	F1_3	13	16	3	✓	13	16	3
05/11	4721	A	50	F1_3	7		21	✓	7	16	8
06/11	4721	A	50	F1_3	7	11	4	✓	7	11	4
06/11	4721	A	60	F1_3	13	16	3	✓	13	16	3
07/11	4721	A	60	F1_3	7	1	11	✓	7	16	8
08/11	4721	A	60	F1_3	7	14	6	✓	7	14	6
				F1_3							
				F1_3							

Figura 31 Modulo

Compilando il modulo l'operatore associa all'attrezzatura in produzione la data, le sue ore di lavoro e le ore di attività macchina.

Tali dati sono stati analizzati ed è stato considerato come periodo più significativo quello con decorrenza dalla quarantottesima settimana del 2019 alla seconda del 2020. Quest'ultimo è stato scelto poiché presenta un'elevata quantità di attrezzature in produzione. In particolare, nel reparto sono state lavorate 39 attrezzature alle quali corrispondono 73 macro-attività.

Dai moduli è stata ricavata la programmazione della produzione relativa al periodo in questione.

L'obiettivo del test è confrontare tale programmazione con quella del sistema MES e dimostrare tramite alcuni indicatori l'efficienza del sistema anche in fase progettuale.

Il sistema, come già anticipato, permette la pianificazione in tempo reale delle attività. Quest'ultima avviene in modo interattivo in relazione agli imprevisti che possono manifestarsi in produzione (ritardi per assenza dei percorsi utensile, per guasti, per manutenzione, per assenza dell'operatore ecc.).

Non è possibile inserire nel sistema attività relative ad attrezzature già consegnate poiché le date d'arrivo dei grezzi sono trascorse. Il software interattivo considererebbe le attività come in fase e le ripianificherebbe ogni giorno a partire dalla giornata odierna.

Per evitare tale problematica, la pianificazione 2019 è stata slittata nel 2020, così come le date d'arrivo da fonderia e le deadline.

In tal caso, il sistema ha una data futura per l'arrivo dei grezzi da fonderia e, quindi, pianifica le attività a partire da tale data senza aggiornarle giornalmente.

Dunque, sarà possibile effettuare un confronto tra le scelte della dirigenza Eurodies e quelle effettuate dal sistema evitando che la programmazione delle macro-attività in quest'ultimo cambi continuamente.

Affinché il confronto tra la programmazione aziendale e quella del sistema sia ben posto la durata delle attività in ambo le pianificazioni sarà la stessa, cioè quella disposta a preventivo dall'azienda.

Quindi, il confronto metterà in risalto le scelte della dirigenza riguardo:

- L'inizio delle macro-attività;
- L'allocazione macro-attività/macchine;

9.1 Indicatori

Il confronto è stato effettuato sulla base dei seguenti indicatori:

- Tempo d'attesa, cioè il tempo che intercorre tra la data d'arrivo del grezzo dalla fonderia (prima data disponibile per le lavorazioni di fresatura) e la data di inizio della prima macro-attività produttiva;
- Tempo di produzione, cioè il tempo che intercorre tra la data d'inizio della prima macro-attività alla data di fine dell'ultima;
- Margine rispetto la data di consegna, cioè il tempo che intercorre tra la data di fine dell'ultima macro-attività e la consegna dell'attrezzatura al successivo reparto.

Tali indicatori sono stati valutati considerando come unità temporale il giorno.

Essendo un confronto tra pianificazioni, la durata delle macro-attività è la stessa in ambo le programmazioni e, dunque, un minor tempo totale di produzione implica che l'attrezzatura è stata meno tempo in attesa del cambio macchina.

9.2 Dati input delle pianificazioni

Si riporta di seguito una tabella con i dati di input correlati ad ogni attrezzatura in produzione:

- Tipologia d'attrezzatura;
- Operazione di formatura a cui è destinata;
- Classe d'appartenenza con totale ore a preventivo per le attività di fresatura;
- Macro-attività da pianificare;
- Arrivo del grezzo dalla fonderia;
- Deadline;

Le attrezzature sono state disposte in una legenda cromatica per semplificare la comprensione dei diagrammi di pianificazione (allegati 2 e 3 della sezione omonima).

	ATTREZZATURE	H	CLASS	DATA DI ARRIVO DALLA FONDERIA	DEADLINE	MACRO FASI	NOTE OPERAZIONE	NOTE ATTREZZATURA
1	4828 D 3017	188	L	17/11/2020	16/12/2020	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + BALLERINI ANT.POST. + PREMILAMIERA
2	4817 C 3015	78	F	10/11/2020	03/12/2020	FRE_45 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
3	4822 C 3015	82	F	10/11/2020	04/12/2020	FRE_45 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
4	4831 A 3015	102	G	24/11/2020	11/12/2020	FRE_45 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
5	4828 D 1520	160	I	10/11/2020	18/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
6	4828 S 1520	160	I	10/11/2020	16/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
7	4828 S 3017	188	L	10/11/2020	11/12/2020	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + BALLERINI ANT.POST. + PREMILAMIERA
8	4829 A 3015	96	F	10/11/2020	07/12/2020	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
9	4829 A 3020	80	F	10/11/2020	03/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
10	4817 C 3020	76	F	10/11/2020	04/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
11	4735 C 5010	35	D	27/11/2020	11/12/2020	FRE_50	MODIFICA	PUNZONE
12	4830 A 3020	60	E	17/11/2020	18/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
13	4866 A 5010	58	D	09/12/2020	30/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	PUNZONE
14	4830 A 3015	70	E	24/11/2020	18/12/2020	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
15	4812 C 1510	140	H	01/12/2020	15/01/2021	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	PUNZONE
16	4323 A 5010	18	B	24/12/2020	04/01/2021	FRE_45	MODIFICA	PUNZONE
17	4812 C 1520	160	I	09/12/2020	11/01/2021	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
18	4812 C 1550	100	G	09/12/2020	11/01/2021	FRE_45	IMBUTTURA	PREMILAMIERA ESTERNO/PREMENTE
19	4835 S 3015	120	G	15/12/2020	18/01/2021	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
20	4831 A 5050	62	E	22/12/2020	15/01/2021	FRE_40 FRE_50	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	PREMILAMIERA ESTERNO/PREMENTE
21	4859 C 3010	16	B	17/11/2020	04/12/2020	FRE_45	IMBUTTURA	PUNZONE
22	4859 C 3020	18	B	17/11/2020	09/12/2020	FRE_45	IMBUTTURA	MATRICE
23	4848 A 3015	160	I	24/11/2020	21/12/2020	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + PREMILAMIERA
24	4821 C 3050	28	B	17/11/2020	23/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	PREMILAMIERA ESTERNO/PREMENTE
25	4821 C 3020	52	D	17/11/2020	23/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
26	4851 S 3020	190	L	01/12/2020	23/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	MATRICE
27	4821 C 3010	24	B	17/11/2020	23/12/2020	FRE_40 FRE_50	IMBUTTURA	PUNZONE
28	4848 A 5010	56	D	01/12/2020	18/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	PUNZONE
29	4848 A 5050	58	D	01/12/2020	15/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	PREMILAMIERA ESTERNO/PREMENTE
30	4851 S 3017	200	M	01/12/2020	30/12/2020	FRE_40 FRE_50 FRE_60 FRE_45	IMBUTTURA	PUNZONE + BALLERINI ANT.POST. + PREMILAMIERA
31	4848 A 5020	42	C	01/12/2020	24/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	MATRICE
32	4851 D 5010	195	L	09/12/2020	01/01/2021	FRE_40 FRE_50	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	PUNZONE
33	4848 A 3020	25	B	14/12/2020	24/12/2020	FRE_40 FRE_50	MODIFICA	SOLO CAVA TASSELLO
34	4851 S 5091	22	B	09/12/2020	23/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	TASSELLO MATRICE
35	4851 D 5091	22	B	09/12/2020	25/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	TASSELLO MATRICE
36	4851 S 5010	195	L	09/12/2020	07/01/2021	FRE_40 FRE_50	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	PUNZONE
37	4851 D 3017	200	M	01/12/2020	06/01/2021	FRE_40 FRE_50 FRE_60	IMBUTTURA	PUNZONE + BALLERINI ANT.POST. + PREMILAMIERA
38	4851 S 5021	32	C	15/12/2020	06/01/2021	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	TASSELLO MATRICE
39	4851 D 5021	32	C	15/12/2020	30/12/2020	FRE_45	ASSESTAMENTO/TRAFILATURA	TASSELLO MATRICE

Tabella 2 Tabella con i dati di input

9.3 Risultati

	ATTREZZATURE	TEMPO D'ATTESA, GIORNI INTERCORSI TRA DATA ARRIVO DA FONDERIA E L'INIZIO PRODUZIONE PIANIFICAZIONE EURODIES	MARGINE SU DEADLINE, GIORNI INTERCORSI TRA FINE PROD. E LA DEADLINE NELLA PIANIFICAZIONE EURODIES	TEMPO DI PRODUZIONE, GIORNI TRA LO INIZIO DELLA PRIMA MACROFASE E IL TERMINE DELL'ULTIMA PIANIFICAZIONE EURODIES	TEMPO D'ATTESA, GIORNI INTERCORSI TRA DATA ARRIVO DA FONDERIA E L'INIZIO PRODUZIONE OCTAVIC	MARGINE SU DEADLINE, GIORNI INTERCORSI TRA FINE PROD. E LA DEADLINE NELLA PIANIFICAZIONE OCTAVIC	TEMPO DI PRODUZIONE, GIORNI TRA LO INIZIO DELLA PRIMA MACROFASE E IL TERMINE DELL'ULTIMA PIANIFICAZIONE OCTAVIC	CONFRONTO TEMPI DI PRODUZIONE	CONFRONTO TEMPI D'ATTESA	CONFRONTO TRA MARGINI DI CONSEGNA
1	4828 D 3017	4	13	12	2	16	11	-1	-2	4
2	4817 C 3015	9	8	6	0	18	5	-1	-9	12
3	4822 C 3015	9	9	6	0	19	5	-1	-9	13
4	4831 A 3015	6	3	8	2	7	8	0	-4	-1
5	4828 D 1520	15	9	14	0	29	9	-5	-15	15
6	4828 S 1520	15	10	11	5	21	10	-1	-10	10
7	4828 S 3017	9	9	13	3	16	12	-1	-6	3
8	4829 A 3015	11	8	8	0	22	5	-3	-11	14
9	4829 A 3020	11	6	6	11	7	5	-1	0	1
10	4817 C 3020	15	3	6	14	5	5	-1	-1	-1
11	4735 C 5010	5	7	2	7	5	2	0	2	3
12	4830 A 3020	15	8	8	16	11	4	-4	1	3
13	4866 A 5010	19	-1	3	2	16	3	0	-17	13
14	4830 A 3015	14	3	7	2	17	5	-2	-12	10
15	4812 C 1510	18	9	18	0	35	10	-6	-18	17
16	4323 A 5010	8	2	1	3	7	1	0	-5	6
17	4812 C 1520	15	5	13	2	21	10	-3	-13	8
18	4812 C 1550	22	4	7	8	18	7	0	-14	11
19	4835 S 3015	19	3	12	2	25	7	-5	-17	13
20	4831 A 5050	12	7	5	0	20	4	-1	-12	15
21	4859 C 3010	9	7	1	8	8	1	0	-1	7
22	4859 C 3020	11	10	1	3	18	1	0	-4	17
23	4848 A 3015	7	7	13	0	16	11	-2	-7	3
24	4821 C 3050	22	9	5	0	35	1	-4	-22	30
25	4821 C 3020	24	5	7	1	31	4	-3	-23	24
26	4851 S 3020	4	6	12	4	1	17	5	0	-11
27	4821 C 3010	27	8	1	1	35	0	-1	-26	34
28	4848 A 5010	11	3	3	0	14	3	0	-11	11
29	4848 A 5050	6	5	3	0	11	3	0	-6	8
30	4851 S 3017	10	4	15	3	13	13	-2	-7	-2
31	4848 A 5020	15	6	2	13	8	2	0	-2	6
32	4851 D 5010	3	7	13	7	3	13	0	4	-10
33	4848 A 3020	5	2	3	8	0	2	-1	3	-3
34	4851 S 5091	10	3	1	0	13	1	0	-10	12
35	4851 D 5091	12	2	2	14	0	2	0	2	-2
36	4851 S 5010	12	5	12	15	3	11	-1	3	-9
37	4851 D 3017	3	4	29	3	12	21	-8	0	-17
38	4851 S 5021	11	9	2	0	20	2	0	-11	18
39	4851 D 5021	8	5	2	10	3	2	0	2	1

Tabella 3 Valore degli indicatori per ogni attrezzatura in produzione

I tre indicatori sono stati valutati per ambo le pianificazioni, quella aziendale (allegato n°2 evidenziata in arancio) e quella Octavic (allegato n°3 evidenziata in azzurro).

L'esito del confronto è positivo per una delle pianificazioni se comporta un tempo d'attesa o un tempo di produzione minori o un margine maggiore rispetto la consegna.

In tabella n°3, tale risultato è stato evidenziato in giallo se positivo per la pianificazione aziendale e in verde se lo è per quella Octavic.

In particolare, il confronto ha messo in risalto che nella pianificazione Octavic:

- Il 97% delle attrezzature in produzione presentano un tempo d'attesa inferiore o uguale a quello valutato nella pianificazione aziendale;
- L'82% delle attrezzature in produzione presentano un tempo di produzione inferiore o uguale a quello valutato nella pianificazione aziendale;
- Il 77% delle attrezzature in produzione presentano un margine di deadline più ampio rispetto a quello valutato nella pianificazione aziendale;

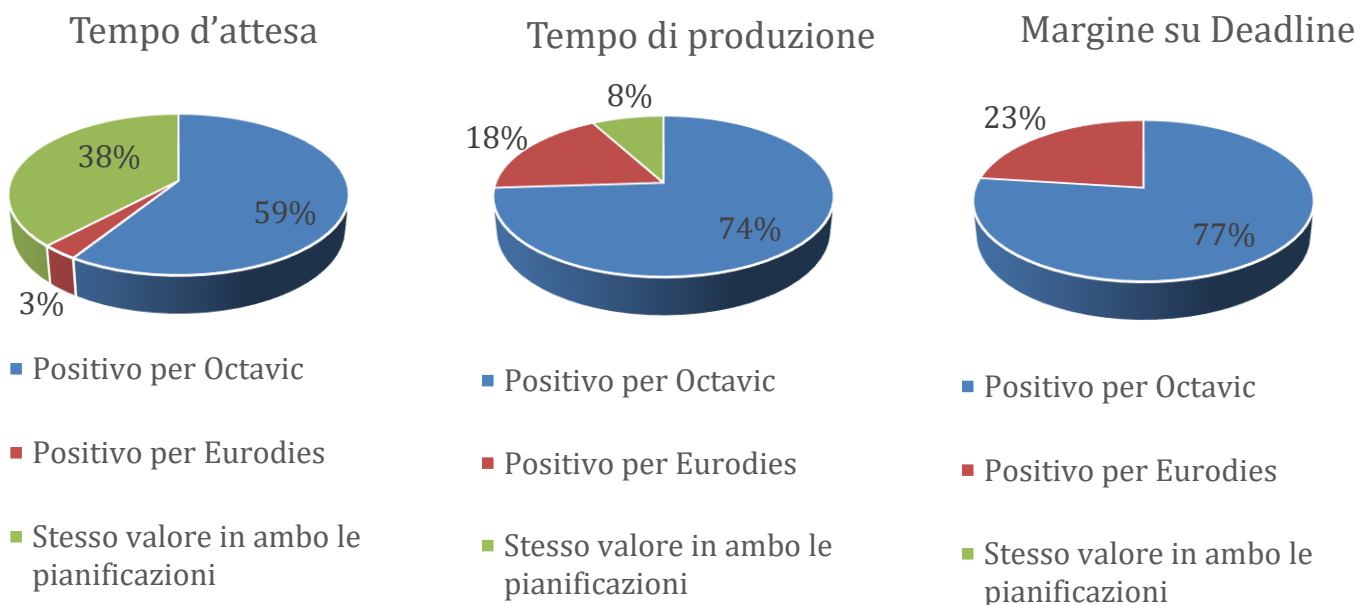


Figura 32 risultati- grafico a torta

CONCLUSIONI

Secondo “*The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production*” del WEF²⁷ in collaborazione con McKiency & Company, fino al 2018 solo il 30% delle aziende era riuscito a trarre valore dalle tecnologie abilitanti Industria 4.0. La maggior parte, infatti, era ancora rinchiusa in un limbo, definito nel saggio come “un purgatorio”.

In aggiunta, l’articolo individua, a seconda del sistema produttivo aziendale, diversi ambiti di sviluppo tecnologico che possono codurre le imprese alla creazione di valore. Tra questi viene citato per le industrie O.K.P. l’ottimizzazione del OEE, da raggiungere attraverso:

- l’integrazione IT della produzione per la gestione digitale delle performance;
- l’ottimizzazione dei processi tramite l’integrazione tra i dati macchina e di qualità prodotto;
- il set-up automatico delle macchine.

Proprio in tale direzione si colloca il lavoro di tesi.

Il metodo di pianificazione utilizzato dal sistema PET dell’Octavic PTS Company conduce a minori tempi d’attesa tra l’arrivo del grezzo e l’inizio delle lavorazioni o tra due macro-attività consecutive e porta a maggiori margini rispetto alla consegna di quanto ottenuto affidandosi alla sola esperienza della dirigenza Eurodies. Tali benefici, già visibili in fase progettuale, comportano in fase di esecuzione della produzione un migliore utilizzo delle risorse, una riduzione del WIP²⁸ e una maggior sicurezza nel rispetto delle date di consegna di quanto si sarebbe ottenuto seguendo l’impostazione aziendale. La strategia d’implementazione del software ed i risultati trattati nella tesi sono stati presentati nelle conferenze AMSCE 2020²⁹ e IN4PL 2020³⁰ (Bruno 2020a/b).

La produzione OKP nel suo insieme è molto complessa, poiché oltre agli imprevisti come fermi macchina per guasti improvvisi, attività manutentive non preventivate o per assenza di risorse, sono presenti altre interruzioni dovute all’elevata personalizzazione del prodotto (e.g. improvvise modifiche progettuali richieste dal cliente). Dunque, una programmazione non ottimale delle attività produttive in aggiunta alle numerose incertezze non preventivate potrebbe congestionare la produzione. Ad ogni modo, i benefici nell’utilizzo del software non sono solo da attribuire alla pianificazione prima dell’inizio delle attività produttive, ma anche e soprattutto a quella in concomitanza delle stesse. Infatti, le modifiche effettuate al software per ampliare le categorie di classificazione dei tempi di fermo macchina (downtimes) sono state ideate per l’utilizzo dello strumento di pianificazione in tempe reale. Testare l’efficacia del software in tale modalità d’uso costituisce un futuro sviluppo del lavoro di tesi.

²⁷ World Economic Forum

²⁸ Work In Process, è un termine tecnico usato per indicare il numero di pezzi (o di lotti) che vengono lavorati contemporaneamente all’interno di un sistema produttivo. Si tratta del materiale in uscita da una fase del processo di lavorazione in attesa di essere trattato da quella successiva.

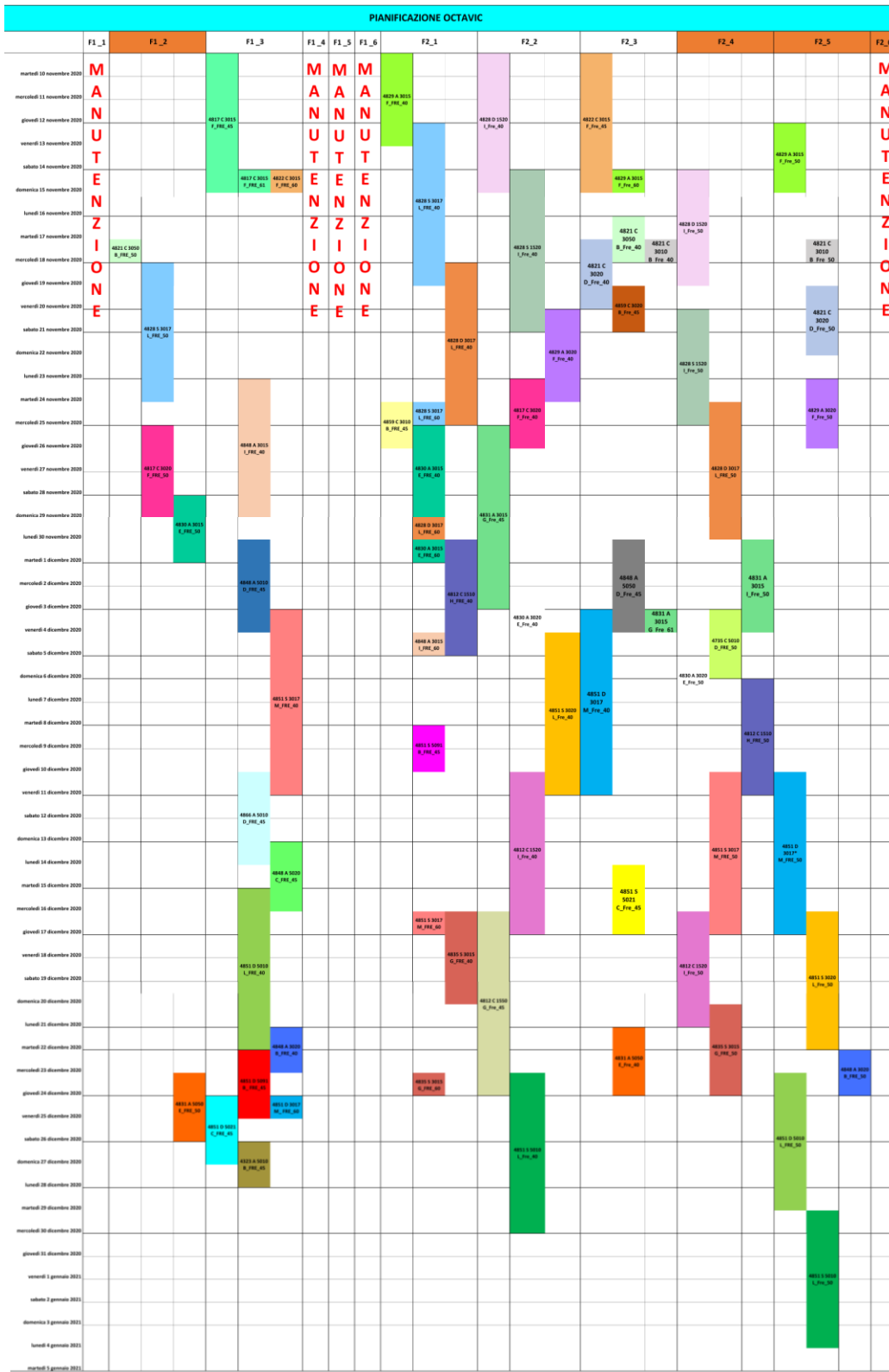
²⁹ Applied Mathematics, Computational Science and Systems Engineering 2020

³⁰ International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistic 2020

PIANIFICAZIONE EURODIES

	F1_1	F1_2	F1_3	F1_4	F1_5	F1_6	F2_1	F2_2	F2_3	F2_4	F2_5	F2_6
mercoledì 25 novembre 2020			4827 C 3020 F_Fre_45	4822 C 3015 F_Fre_40								
giovedì 26 novembre 2020	4828 S 3017 L_Fre_50			4829 C 3010 R_Fre_45						4829 A 3020 F_Fre_50		4829 A 3015 F_Fre_50
venerdì 27 novembre 2020								4828 S 1520 L_Fre_40		4828 D 1520 L_Fre_40		
sabato 28 novembre 2020	4828 S 3017 L_Fre_50		4829 C 3020 R_Fre_45									
domenica 29 novembre 2020							4829 A 3015 F_Fre_50					
lunedì 30 novembre 2020												4828 D 3027 L_Fre_40
martedì 1 dicembre 2020												
mercoledì 2 dicembre 2020							4828 S 3027 L_Fre_40					
giovedì 3 dicembre 2020							4829 D 3027 L_Fre_40		4830 A 3020 F_Fre_40			
venerdì 4 dicembre 2020		4828 S 1520 L_Fre_50										
sabato 5 dicembre 2020												
domenica 6 dicembre 2020												
lunedì 7 dicembre 2020							4828 S 3017 M_Fre_40					
martedì 8 dicembre 2020								4829 S 3020 L_Fre_40				
mercoledì 9 dicembre 2020			4821 C 3020 R_Fre_40						4848 A 3015 D_Fre_45			
giovedì 10 dicembre 2020												
venerdì 11 dicembre 2020												
sabato 12 dicembre 2020			4821 C 3020 D_Fre_40									4838 A 3020 F_Fre_50
domenica 13 dicembre 2020												
lunedì 14 dicembre 2020			4821 C 3020 R_Fre_40					4848 A 3020 R_Fre_40				
martedì 15 dicembre 2020			4830 A 3015 R_Fre_40									
mercoledì 16 dicembre 2020												
giovedì 17 dicembre 2020								4848 A 3020 C_Fre_45				
venerdì 18 dicembre 2020												
sabato 19 dicembre 2020												
domenica 20 dicembre 2020												
lunedì 21 dicembre 2020								4848 A 3020 R_Fre_40				
martedì 22 dicembre 2020		4831 S 3020 L_Fre_50										
mercoledì 23 dicembre 2020												
giovedì 24 dicembre 2020												
venerdì 25 dicembre 2020												
sabato 26 dicembre 2020												
domenica 27 dicembre 2020			4822 C 1520 L_Fre_40									4835 S 3021 C_Fre_45
lunedì 28 dicembre 2020												
martedì 29 dicembre 2020												
mercoledì 30 dicembre 2020			4831 S 3020 L_Fre_50									
giovedì 31 dicembre 2020												
venerdì 1 gennaio 2021												
sabato 2 gennaio 2021												
domenica 3 gennaio 2021												
lunedì 4 gennaio 2021		4812 C 1520 L_Fre_50										
martedì 5 gennaio 2021												
mercoledì 6 gennaio 2021												
giovedì 7 gennaio 2021												
venerdì 8 gennaio 2021			4831 S 3015 D_Fre_50									
sabato 9 gennaio 2021												
domenica 10 gennaio 2021												

Allegato 2 Pianificazione delle attività fatta da Eurodies. Basata su dati storici.



Allegato 3 Pianificazione delle attività fatta dal sistema MES Octavic. Basata su dati storici.

BIBLIOGRAFIA

- ANFIA. 2019. 'Trade parti e componenti per autoveicoli - Italia', *online acces from:* <https://www.anfia.it/it/associazione/team/item/355-italia-trade-parti-e-componenti-per-autoveicoli-gennaio-settembre-2019>.
- Bellini, Mauro. 2020. 'IoT (Internet of Things): cos'è, come funziona ed esempi', *online acces from:* <https://www.internet4things.it/iot-library/internet-of-things-gli-ambiti-applicativi-in-italia/>.
- Bruno G., Lombardi F., Orlando M. 2020a. 'Benefits of production planning system for One-of-a-kind production' articolo per conferenza AMSCE 2020.
- Bruno G., Lombardi F., Orlando M. 2020a. 'Implementation and evaluation of MES in One-of-a-kind production' articolo per conferenza IN4PL 2020.
- Chiarini. 'Manutenzione', *online acces from:* <https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/manutenzione.html>.
- . 'OEE: Overall Equipment Effectiveness', *online acces from:* <https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/oeo.html>.
- Coromant, Sandvik. 'Conoscenze Tecniche - Fresatura', *online acces from:* <https://www.sandvik.coromant.com/it-it/knowledge/milling/pages/chamfer-milling.aspx>.
- Fogliani, Officine. 'Dispensa di Fresatura ', *online acces from:* https://www.officine-forgiarini.it/download/Dispensa_di_fresatura.pdf.
- Gnecco, Gabriele. 2018. 'Modellazione e simulazione del processo produttivo di componenti prototipali stampati a freddo'.
- Helo, P. Suorsa, M., Hao, Y., et al. 2014. ' Toward a cloudbased manufacturing execution system for distributed manufacturing', *Computers in Industry.*, 4: 646-656.
- Ingrande, Giovanni. 2020. 'Tecnologie per l'Industry 4.0: come migliorare l'efficienza produttiva', *online access from:* <https://managementcue.it/post-crisi-tecnologie-industry-4-0-efficienza/17920/>.
- Laganà, Francesca. 2019. 'Il Manufacturing Execution System. L'inserimento in azienda per la tracciabilità dei semilavorati'.
- Luo, X., et al. 2011. 'Operator allocation planning for reconfigurable production line in one-of-a-kind production', *International Journal of Production Research*, 49 (3), 689–705.
- Matta, A. and Semeraro, Q. 2005. ', A framework for long term capacity decisions in AMSS', *Design of advanced manufacturing systems.*, pp. 1–35,(Springer: Dordrecht, The Netherlands).
- McKinsey. 2011. 'Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity', *online acces from:* https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/Big%20data%20The%20next%20frontier%20for%20innovation/MGI_big_data_exec_summary.pdf.

- Miragliotta, Giovanni. 2016. 'Industry 4.0, grossi investimenti richiesti: l'esempio di Usa e Germania', *online access from <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/industry-40-grossi-investimenti-richiesti-l-esempio-di-usa-e-germania/>*.
- MISE. 'piano nazionale industria 4.0', *online access from: https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Piano_Industria_40.pdf*.
- P.R. Dean , Y.L. Tu & D. Xue. 2009. 'An information system for one-of-a-kind production', *International Journal of Production Research*, 47:4, 1071-1087.
- Pesenti, Istituto. 'Lavorazioni delle lamiere - stampaggio a freddo', *online access from: <http://www.istitutopesenti.edu.it/dipartimenti/meccanica/tecnologia/lavorazioni%20lamiere.pdf>*.
- S.I. Shafiq , C. Sanin , C. Toro , E. Szczerbicki 2015. 'Virtual engineering object (VEO): toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0', *Cybern. Syst.* 46 (1-2) (2015) 35–50.
- S.I. Shafiq , C. Sanin , E. Szczerbicki , C. Toro 2016. 'Virtual engineering factory: creating experience base for Industry 4.0', *Cybern. Syst.* 47 (1-2) (2016) 32–47.
- Snyman, S. & Bekker, J. 2017. 'Real-time scheduling in a sensorised factory using cloud-based simulation with mobile device access', *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol 28(4), pp 161-169.
- Suwa, H. & Sandoh, H. 2012 'Online scheduling in manufacturing: a cumulative delay approach'.
- Tu, Y., et al. 2000a. 'Computer-aided process planning in virtual one-of-a-kind production', *Computers in Industry*, 41 (1), 99–110.
- Tu, Y.L, Chu, X.L. and Yang, W.Y. 2000b. 'Computer aided process planning in virtual one-of-a-kind production', *Comput. Ind.*, 41, 99–110.
- World Economic Forum , McKiensity & Company 2018. '*The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production*', *online access from: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Technology_and_Innovation_The_Next_Economic_Growth_Engine.pdf*
- Wortmann, J. C. . 1991. "Towards One-of-a-kind Production: The Future of European Industry", *In Advances in Production Management Systems. edited by E. Eloranta, 41–49. North Holland: Elsevier.*
- Wortmann, J.C., Muntslag, D.R. and Timmermans, P.J.M. 1997. 'Customer-driven manufacturing', *Chapman & Hall: London, UK.*
- Zanotti, Laura. 2020. 'Big Data: cosa sono e come le aziende competono con le Big Data analytics', *online access from <https://www.digital4.biz/marketing/big-data-e-analytics/big-data-cosa-sono-e-perche-grazie-alle-analitiche-il-business-continua-a-crescere/>*.