

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria dei Sistemi

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Gestionale



MIGLIORARE LA GESTIONE DELLA PRODUZIONE IN OTTICA DI EFFICIENZA ENERGETICA: IL CASO WHIRLPOOL

Relatore: Chiar.mo Ing. Marco Macchi

Correlatore: Ing. Alessandro Cannata

Tesi di Laurea di:

Luca Mascheroni Matr. 736307

Anno Accademico 2010 / 2011

Indice della tesi

1. Introduzione	1
1.1. Importanza dell'efficienza energetica	2
1.1.1. Pressioni normative	4
1.2. L'efficienza energetica nel manifatturiero	7
1.3. Efficienza energetica nel ciclo di vita di un impianto industriale	9
1.4. Obiettivi del lavoro	11
1.5. Bibliografia	12
2. Misure di efficienza energetica	14
2.1. Premessa	15
2.2. Cruscotto di indicatori	16
2.3. Metodologia di costruzione del sistema di misura	18
2.4. KPI	25
2.4.1. KPI ambientali	27
2.4.2. KPI impiantistici	28
2.4.3. KPI economici	28
2.4.4. KPI composti	29
2.5. Barriere allo sviluppo del sistema di misura	30
2.6. Conclusioni	31
2.7. Bibliografia	31
3. Realtà in analisi	34
3.1. Whirlpool Corporation	35
3.2. Lo stabilimento Whirlpool Europe a Cassinetta di Biandronno	36
3.3. Le fabbriche Cooking	36
3.3.1. Fabbrica Forni	36
3.3.2. Fabbrica Piani cottura	42
3.4. Analisi del processo produttivo in ottica di efficienza energetica	43
3.5. Applicazione della metodologia di costruzione del sistema di misura	46
3.6. Bibliografia	47
4. Modello della macchina in analisi	48
4.1. Introduzione	49
4.2. Le variabili di prestazione	49
4.3. Modello di simulazione	51
4.3.1. Software di simulazione	51
4.3.2. Modello logico	53

4.3.2.1.	La “Manzoni 2”	53
4.3.2.2.	Le linee di montaggio	55
4.3.2.3.	I magazzini interoperazionali del sistema	55
4.3.2.4.	I prodotti analizzati	55
4.3.2.5.	Il caricamento dei materiali	57
4.3.2.6.	Il modello dati dei tempi delle operazioni	57
4.3.3.	Modello nel software	58
4.3.3.1.	Rappresentazione della “Manzoni 2” nel simulatore	64
4.4.	I parametri di lavoro del modello	67
4.5.	Le politiche di produzione sperimentate nel modello	69
4.5.1.	Prima politica	70
4.5.2.	Seconda politica	71
4.5.3.	Terza politica	72
4.5.4.	Quarta politica	73
4.5.5.	Quinta politica	74
4.5.6.	Sesta politica	75
4.5.7.	Settima politica	76
4.5.8.	Ottava politica	78
4.5.9.	Numero di pezzi nei buffer ad inizio simulazione	79
4.6.	Analisi dei risultati ottenuti	80
4.6.1.	Modello analitico	80
4.6.2.	Validazione mediante soluzione analitica	81
4.6.3.	Risultati mediante soluzione numerica	82
4.7.	Valutazione economica delle politiche	90
4.7.1.	Funzione di costo	90
4.7.2.	Analisi dei risultati numerici	92
4.8.	Conclusioni ed implementazioni future	92
4.9.	Bibliografia	93
5.	Conclusione ed ulteriori sviluppi	95
5.1.	Riscontri pratici	96
5.2.	Riscontri teorici	97

Indice Figure

Capitolo 1

Figura 1.1 – Consumo di energia dal 1990 al 2007 in Italia (Fonte Enea)	8
Figura 1.2 – Intensità energetica divisa per settori dal 1990 al 2007 in Italia (Fonte Enea)	9
Figura 1.3 – LCA di macchine utensili (Fonte CECIMO)	10
Figura 1.4 – Obiettivi del lavoro	11

Capitolo 2

Figura 2.1 – Cruscotto di un edificio in cui si visualizza l'andamento dei consumi energetici e relativi KPI	16
Figura 2.2 – Contatori per tele lettura	18
Figura 2.3 – Modello concettuale della struttura dei contatori	19
Figura 2.4 – Metodologia di costruzione del sistema di misura	20
Figura 2.5 – Metodologia per processo	22
Figura 2.6 – Metodologia per fonte	24
Figura 2.7 – Serie storiche	25

Capitolo 3

Figura 3.1 – Macchine di stampaggio ad isola	37
Figura 3.2 – Macchine di stampaggio in linea	38
Figura 3.3 – Smalteria cavità e pannellame	39
Figura 3.4 – Smalteria 2 mani ed una cottura, Pyro, verniciatura	40

Figura 3.5 – Assemblaggio forni runner e high end	41
Figura 3.6 – Assemblaggio piani cottura	42
Figura 3.7 – Suddivisione costi energetici fabbrica forni	44
Figura 3.8 – Suddivisione costi energetici fabbrica piani cottura	45
Figura 3.9 – Analisi di Pareto sui consumi del reparto Stampaggio	46

Capitolo 4

Figura 4.1 – Stati della macchina con relative potenze e tempi	54
Figura 4.2 – Distribuzione asimmetrica a sinistra	58
Figura 4.3 – Modello all'interno del simulatore	59
Figura 4.4 – Diverse tipologie di "Source"	60
Figura 4.5 – "Source" per caricamento wip all'inizio della simulazione	61
Figura 4.6 – Variabili di processo	62
Figura 4.7 – Variabili di analisi dei buffer	62
Figura 4.8 – Grafici a barre degli indici EEM ed OEE	63
Figura 4.9 – Grafico a torta ed istogramma della ripartizione dei consumi	63
Figura 4.10 – Grafici dell'andamento temporale della quantità di pezzi nei buffer	64
Figura 4.11 – Modello della macchina Manzoni	65
Figura 4.12 – Modellazione degli stati della Manzoni	66
Figura 4.13 – Diversificazione di tempi di elaborazione all'interno della macchina Manzoni	67
Figura 4.14 – Andamento temporale del Wip-in nella 1° politica	71
Figura 4.15 – Andamento temporale del Wip-in nella 2° politica	72
Figura 4.16 – Andamento temporale del Wip-in nella 3° politica	73
Figura 4.17 – Andamento temporale del Wip-in nella 4° politica	74
Figura 4.18 – Andamento temporale del Wip-in nella 5° politica	75
Figura 4.19 – Andamento temporale del Wip-in nella 6° politica	76

Figura 4.20 – Andamento temporale del Wip-in nella 7° politica	77
Figura 4.21 – Andamento temporale del Wip-in nella 8° politica	79
Figura 4.22 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 1° politica	86
Figura 4.23 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 2° politica	86
Figura 4.24 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 3° politica	87
Figura 4.25 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 4° politica	87
Figura 4.26 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 5° politica	88
Figura 4.27 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 6° politica	88
Figura 4.28 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 7° politica	89
Figura 4.29 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 8° politica	89

Indice Tabelle

Capitolo 4

Tabella 4.1 – Numero minimo di pezzi presenti nei buffer pre linee di montaggio	57
Tabella 4.2 – Potenze della macchina di stampaggio Manzoni	67
Tabella 4.3 – Tempi di processamento degli stati della Manzoni	68
Tabella 4.4 – Tempi ciclo sulle linee di montaggio	68
Tabella 4.5 – Volumi produttivi	69
Tabella 4.6 – Parametri delle diverse politiche di produzione	69
Tabella 4.7 – Scheduling della 1° politica	70
Tabella 4.8 – Scheduling della 2° politica	71
Tabella 4.9 – Scheduling della 3° politica	72
Tabella 4.10 – Scheduling della 4° politica	73
Tabella 4.11 – Scheduling della 5° politica	74

Tabella 4.12 – Scheduling della 6° politica	75
Tabella 4.13 – Scheduling della 7° politica	76
Tabella 4.14 – Scheduling della 8° politica	78
Tabella 4.15 – Numero di prodotti presenti nei buffer all’inizio della simulazione	79
Tabella 4.16 – Risultati ottenuti dalla simulazione	82
Tabella 4.17 – Indici rilevati a fine simulazione	83
Tabella 4.18 – Valori medi dei prodotti all’interno dei buffer	84
Tabella 4.19 – Valori massimi dei prodotti all’interno dei buffer	85
Tabella 4.20 – Dimensione dei buffer	85
Tabella 4.21 – Parametri della funzione di costo	90
Tabella 4.22 – Investimento iniziale ipotizzato per la realizzazione dei buffer	91
Tabella 4.23 – Risultato della funzione di costo	92

Riassunto

Il presente lavoro propone l'utilizzo di alcuni strumenti operativi, supportati dall'applicazione del PDCA, per il miglioramento dell'efficienza energetica in ambienti produttivi. La sua estensione si è giovata del periodo di stage, della durata di nove mesi, in Whirlpool Europe, nello stabilimento più grande d'Europa del gruppo, sito in Cassinetta di Biandronno (Varese). Grazie all'esperienza maturata durante lo stage, è stato possibile realizzare dei tool la cui base scientifica è stata più volte rapportata empiricamente alle esigenze della realtà produttiva di tutti i giorni.

Nel primo capitolo si definisce cos'è l'efficienza energetica secondo diverse prospettive, tutte sviluppate in ambiente industriale. In particolare, le pressioni normative sull'industria sono numerose ed in continuo aggiornamento, in questo primo capitolo si è voluto dare una prima infarinatura sulla tematica, oltre ad un aggiornamento rispetto alla recente normativa UNI CEI EN 16001.

Nel secondo capitolo è presentata una metodologia applicativa basata sul monitoraggio dei consumi energetici attraverso l'installazione di contatori in punti strategici della rete di distribuzione in fabbrica. Il modello di monitoraggio integra al suo interno la creazione di una *knowledge base* da cui partire per poter avviare la realizzazione di un cruscotto di KPI energetici. È stata qui svolta una ricerca dello stato dell'arte presente in letteratura al fine ultimo di garantire una base scientifica robusta alla misura delle performance energetiche.

Nel terzo capitolo è schematizzata la realtà dello stabilimento di Cassinetta, in particolare l'attenzione si concentra sulle fabbriche dell'area Cooking, analizzando i processi produttivi che portano alla realizzazione dei prodotti forni e piani cottura d'incasso. L'attenzione è stata posta anche sull'aspetto energetico focalizzandosi sulle diverse criticità in campo.

Il quarto e penultimo capitolo propone l'uso di un modello di simulazione per studiare il comportamento di una macchina di stampaggio al variare delle politiche produttive, attraverso l'analisi di numerosi indicatori correlati. Il modello di simulazione permette un'analisi che tiene in considerazione diverse variabili di prestazione, tra cui quelle legate ai consumi energetici. È così possibile studiare il *trade off* tra le diverse variabili di prestazione tipiche della produzione, con in aggiunta quelle riferite all'energia consumata.

Il capitolo finale (quinto) riporta infine le conclusioni dello studio realizzato sia a livello pratico-applicativo, dato dalla realtà dello stabilimento Whirlpool, sia in merito al contributo teorico apportato con gli strumenti operativi proposti nel lavoro per il miglioramento dell'efficienza energetica.

Keywords: Efficienza energetica, Simulazione, KPI.

Abstract

This paper proposes the use of some operational tools, supported by the application of the PDCA, to improve energy efficiency in production environments. Its expansion has benefited from the training period, lasting nine months, Whirlpool Europe, Europe's largest plant of the group, located in Cassinetta Biandronno (Varese). With the experience gained during the internship, it was possible to make science-based tool which has often been compared empirically to the needs of the productive reality of every day. The first chapter defines what is energy efficiency according to different perspectives, all developed in an industrial environment. In particular, the regulatory pressures on industry are numerous and continuously updated, in this first chapter, we first wanted to give a smattering on the issue, as well as an update on the recent UNI CEI EN 16001.

In the second chapter has presented a methodology based on the monitoring of energy consumption through the installation of meters at strategic points of the distribution network in the factory. The monitoring model integrates the creation of a knowledge base from which to start building a dashboard of KPIs energy. It was held here in the state of the art research in the literature with the ultimate goal of ensuring a robust scientific basis for measuring energy performance.

In the third chapter is explained the reality of the factory Cassinetta, particular attention is focused on factories Cooking area, analyzing the processes that lead to the creation of products built in ovens and hobs. The attention was also on the energy focusing on several critical issues in the process.

The fourth and penultimate chapter proposes the use of a simulation model to study the behavior of a molding machine to changing production policies, through the analysis of several indicators related. The simulation model allows an analysis that takes into account many variables of performance, including those related to energy consumption. It possible to study the trade-off between the different variables of performance typical of production, in addition to those related to energy consumed.

The final chapter (five) shows the findings of the study in practical application, since the reality of the Whirlpool plant, and on the theoretical contribution made with the instruments operating in the proposed work for the improvement of energy efficiency.

Keywords: Energy Efficiency, Simulation, KPI.

Capitolo 1

Introduzione

1.1. Importanza dell'efficienza energetica e pressioni normative

La continua trasformazione del mercato, sempre più globale e competitivo, ha imposto alle imprese, negli ultimi anni, l'adozione di nuove strategie aziendali basate sull'innovazione, di processo e di prodotto, ma soprattutto basate sull'eco-efficienza industriale. Le imprese, infatti, per competere con le concorrenti nazionali, ma soprattutto estere, sono alla costante ricerca di una continua ottimizzazione delle proprie prestazioni; spesso però tendono a massimizzare esclusivamente le *performance* legate alla produttività, una strada che presenta a volte limitati margini di miglioramento a causa dei già elevati ritmi della produzione attuale.

E' per questo motivo che molte imprese, per migliorare i propri profitti, si stanno dirigendo in un'altra direzione, ovvero quella che mira a limitare e ad ottimizzare le risorse impiegate all'interno dei processi produttivi, in accordo con i principi dell'eco-efficienza industriale (Sala, et al., 2005).

Considerate le molteplici risorse utilizzate da un'attività produttiva, si intuisce quante opportunità possa offrire l'adozione di strategie basate sull'eco-efficienza. In questo contesto si è dunque voluto approfondire il tema legato all'energia e all'efficienza del suo utilizzo, che rappresenta la via più facilmente perseguibile per diminuire i costi di gestione legati a questa importante voce di bilancio.

Il tema del consumo energetico viene a volte sottovalutato dagli imprenditori i quali preferiscono indirizzare i loro sforzi altrove per incrementare la redditività della produzione, andando così a non considerare le opportunità offerte da questo campo. In effetti, i costi energetici in alcune tipologie di produzione rappresentano solo una piccola parte dei costi sostenuti e ciò potrebbe indurre a non considerare il problema. In realtà con un'attenta analisi è possibile accorgersi di come, anche in produzioni con bassa incidenza energetica, investimenti in questo campo possono portare a notevoli vantaggi economici ed ambientali.

L'efficienza in campo energetico, che è diversa dalla semplice ricerca della migliore tariffa di fornitura, aspetto prettamente amministrativo ed esplorato in ogni suo aspetto da diverse trattazioni, bene si presta quindi a migliorare il ritorno economico dell'attività in quanto questo campo è ancora parzialmente inesplorato, a causa delle numerose sfaccettature ed approcci, soprattutto nelle PMI. A fronte di un aumento costante dei consumi, un'azienda è infatti portata a ricercare migliori contratti di fornitura, piuttosto che analizzare nel dettaglio le cause che hanno portato i consumi a lievitare. Una strategia basata solo sulla ricerca del miglior prezzo di fornitura sicuramente è molto semplice da impostare, infatti non serve alcun investimento iniziale, non necessita di un personale particolarmente qualificato e una volta che tutte le alternative sono state analizzate ed è stata scelta la soluzione migliore, non è necessario implementare alcun processo di controllo, al meno di una ricontrattualizzazione annuale col fornitore.

Un approccio basato sul prezzo non permette all'impresa di raggiungere ulteriori benefici, spesso intangibili, ma molto rilevanti, ottenibili attraverso un programma di *energy saving* profondamente integrato con gli altri obiettivi aziendali, come:

- Maggior controllo sulle richieste del processo produttivo;
- Pianificazione e riduzione dei periodi di fermo macchina;

- Operazioni più efficienti;
- Maggiore flessibilità;
- Intervalli di attività più lunghi a causa della riduzione dei guasti;
- Riduzione dei costi di manutenzione;
- Riduzione di scarti e rilavorazioni;
- Vita dei macchinari più lunga;
- Minori costi unitari.

Il risultato di un piano di *energy saving* ben riuscito è sicuramente una riduzione dei costi di produzione, che possono essere visti anche come risorse disponibili per nuovi investimenti finalizzati ad incrementare la produzione. Inoltre, il controllo dell'energia è strettamente connesso al controllo delle emissioni inquinanti; in alcuni casi si potrebbe in questo modo evitare di incorrere in possibili sanzioni relative al non rispetto dei limiti di emissioni. Riassumendo, uno studio sistematico volto al miglioramento dell'efficienza energetica, se ben implementato, produce diversi risultati apprezzabili da punti di vista differenti.

Macroscopicamente, estendendo il concetto di "efficienza energetica" a livello settoriale, nazionale o mondiale, è apprezzabile la salvaguardia delle risorse energetiche non rinnovabili, con i benefici ambientali che ne conseguono mentre, a livello della singola impresa, il beneficio più apprezzabile e più ricercato è la riduzione dei costi energetici, e quindi dei costi di produzione, sebbene in questi ultimi anni, con la diffusione di una maggiore "coscienza verde", i benefici ambientali sono divenuti obiettivi primari anche a livello aziendale.

Il tema della riduzione dei consumi energetici è percepito in modo molto diverso a seconda della realtà produttiva delle aziende; nelle grandi industrie di processo, dove i costi energetici rappresentano una congrua parte dei costi totali, la sensibilità a questo problema è maggiore rispetto alle piccole medie imprese manifatturiere, dove è molto meno percepito, se non addirittura erroneamente trascurato.

In generale, l'assorbimento di energia è dovuto allo specifico processo produttivo dell'azienda e agli impianti di servizio installati (riscaldamento, aria compressa, ecc.). La ripartizione dei costi energetici di queste due categorie può variare in modo significativo, ma, a livello indicativo, si può affermare che nelle imprese *energy intensive* è il processo produttivo specifico ad assorbire la maggior parte dei costi energetici, mentre nelle altre imprese, soprattutto manifatturiere, i costi imputati agli impianti ausiliari possono rappresentare anche la quota più rilevante dei costi energetici totali. Nella realtà che andremo ad analizzare in questa trattazione sono presenti entrambe le tipologie di fabbriche.

Gli interventi di *energy saving* possono essere molteplici e differenti per ogni tipologia di realtà in analisi, ma fondamentalmente distinguibili in azioni di carattere puramente gestionale da quelle di natura tecnologica. La prima tipologia di intervento prevede di analizzare gli impianti già presenti nell'azienda e, senza apportare modifiche sostanziali, ottimizzarne il loro utilizzo. Gli interventi tecnologici prevedono invece la sostituzione di impianti o parti di essi con apparecchiature più efficienti; questo approccio comporta un impegno economico maggiore per l'azienda e la fattibilità tecnica di tali interventi deve essere attentamente valutata.

Le attività di *energy saving* devono però essere guidate dal supporto della dirigenza e sta anche alle loro capacità di coinvolgere, sensibilizzare e attribuire le responsabilità a tutto il personale affinché il programma possa essere attivato e mantenuto efficiente. Nel campo dell'efficienza energetica il personale,

infatti, ricopre un ruolo di fondamentale importanza, in quanto notevoli risparmi possono essere conseguiti dalla semplice ottimizzazione delle operazioni più comuni.

Le pressioni per l'implementazione di attività per l'efficienza energetica arrivano da ogni fronte che sia dalla politica, dalle associazioni dei lavoratori, ecc.; difatti dal canto suo la Confindustria Italiana, guidata dalla presidentessa Emma Marcegaglia, sta da tempo effettuando un complesso lavoro di approfondimento per meglio comprendere le opportunità che il miglioramento dell'efficienza energetica presenta, sia per il sistema energetico nazionale, sia per lo sviluppo dell'industria; già dal luglio 2006 è stata istituita una task force sull'efficienza energetica.

E' significativo riscontrare che anche i sindacati abbiano sottolineato l'importanza dell'efficienza energetica nel "Convegno nazionale Filctem-Cgil (Roma-CNEL, 23 marzo 2010)" rilasciando un documento a riguardo.

1.1.1. Pressioni normative

Nell'ultimo decennio si è assistito ad una crescente attenzione, da parte dell'Unione Europea, nell'individuazione di nuovi strumenti normativi/legislativi e di nuove metodologie applicative finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica della filiera dell'energia (dalla produzione fino all'uso finale), allo sviluppo e diffusione delle fonti rinnovabili e alla tutela ambientale. Negli ultimi anni il consumo energetico totale, anche a livello italiano, è aumentato e questo ha forzato le istituzioni pubbliche a promuovere e istituire diverse politiche atte a limitare il consumo energetico grazie a strumenti spesso innovativi ed inediti, che hanno posto l'Italia all'avanguardia nella produzione legislativa, ma che non sempre hanno ottenuto, in fase di attuazione, i risultati previsti. (Enea, 2006).

Le aziende, purtroppo, percepiscono spesso tali normative come mere imposizioni, adeguandosi e reagendo passivamente, senza percepire le possibili opportunità di guadagno che un serio impegno nella ricerca dell'eco-efficienza, specialmente in campo energetico, può portare. (Sala, et al., 2005)

Il settore dell'efficienza energetica è definito, a livello comunitario, dal seguente quadro di Direttive e programmi a cui i Paesi membri devono dare attuazione:

- *Direttiva 2002/91/CE* sul rendimento energetico nell'edilizia;
- *Direttiva 2004/8/CE* sulla promozione della cogenerazione;
- *Direttiva 2005/32/CE* sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia;
- *Programmi europei: VI e VII PQ, IIE* ("Intelligent Energy for Europe"); in particolare, nell'area tematica "energia" del VII PQ (2007-2013), si focalizza l'attenzione sui nuovi concetti e le tecnologie per potenziare l'efficienza e il risparmio energetico per gli edifici, i servizi e il comparto industriale;
- *Libro verde sull'efficienza energetica* ("More with less");
- *Direttiva 2006/32/CE* sull'efficienza energetica sugli usi finali dell'energia e sui servizi energetici.

Inoltre, i seguenti riferimenti rappresentano imprescindibili condizioni al contorno, con le quali armonizzare le misure e gli strumenti di *policy* energetico-ambientale nazionali e locali:

- *Direttiva 2001/77/CE* sulla promozione delle fonti rinnovabili;
- *Direttiva 2003/87/CE* sull'Emission Trading;
- *Strumenti per il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto* quali: i meccanismi flessibili Emission Trading (ET), Clean Development Mechanism (CDM), Joint Implementation (JI).

A livello nazionale l'applicazione dei Piani Energetici su scala Regionale, Provinciale e Comunale, l'entrata in vigore del Testo Unico per l'edilizia, la liberalizzazione dei mercati nei settori elettrico e del gas naturale, rappresentano importanti innovazioni che stanno contribuendo alla promozione di nuove politiche territoriali e di nuove competenze specifiche da parte degli operatori dei settori pubblico e privato, nell'ambito del quadro legislativo di riferimento (Enea, 2006); in particolare:

- *Legge 239/04* (legge "Marzano") per il riordino del settore energetico nazionale: essa definisce gli obiettivi generali di politica energetica del Paese ed individua gli strumenti operativi tra cui figura, tra l'altro, la promozione della micro generazione (anche in assetto cogenerativo) attraverso l'individuazione di procedure autorizzative semplificate;
- *D.Lgs. 79/99* (decreto "Bersani") di attuazione della Direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia;
- *DPR 192/05* di recepimento della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia: esso stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici introducendo la certificazione energetica per gli edifici di nuova costruzione o ristrutturati integralmente (questi ultimi se di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati);
- *Decreti ministeriali 20 luglio 2004 per l'efficienza energetica negli usi finali*: emanati dal Ministero delle Attività Produttive di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, promuovono l'efficienza energetica negli usi finali dell'energia attraverso l'incentivazione delle tecnologie energeticamente efficienti e la creazione di un mercato dei titoli (Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica) rilasciati a seguito degli interventi.
- *Decreto 28 febbraio 2003* (Decreto "CERSE") sulle modalità di gestione del Fondo per il finanziamento delle attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale;

Il suddetto quadro di leggi e decreti si integra con le delibere dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) che rappresentano lo strumento operativo di regolamentazione e controllo dei settori dell'energia elettrica e del gas naturale. Anche a livello nazionale i provvedimenti in materia di efficienza energetica vanno visti in una logica integrata con i seguenti provvedimenti di natura prevalentemente ambientale:

- il *Decreto 387/03* sulla promozione di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (recepimento Direttiva 2001/77/CE);
- il *Piano nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra: 2003-2010*;
- il *D.Lgs. 22/97* (decreto "Ronchi") di attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio.

La BSI (*British Standards Institution*) ha divulgato nel 2009 la direttiva più importante degli ultimi tre anni: UNI CEI EN 16001, Europa.

La UNI CEI EN 16001:2009 è una norma inerente ai sistemi di gestione dell'energia ed è nata per rispettare gli obiettivi di efficienza energetica fissati dalla Direttiva n. 2006/32/CE, recepita poi con Decreto Legislativo n. 115/08. Lo scopo della Direttiva è rafforzare il miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi/benefici negli Stati membri:

- Fornendo gli obiettivi indicativi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari ad eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un uso efficiente finale dell'energia;
- Creando le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici e la fornitura di altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica agli utenti finali.

La Direttiva mira ad un obiettivo di risparmio nazionale: gli Stati membri adottano e mirano a conseguire un obiettivo nazionale indicativo globale di risparmio energetico pari al 9% per il nono anno di applicazione della Direttiva da conseguire tramite servizi energetici ed altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Il Decreto Legislativo di recepimento della Direttiva definisce il servizio energetico come "la prestazione materiale, l'utilità o il vantaggio derivante dalla combinazione di energia con tecnologie ovvero con operazioni che utilizzano efficacemente l'energia, che possono includere le attività di gestione, di manutenzione e di controllo necessarie alla prestazione del servizio, la cui fornitura è effettuata sulla base di un contratto e che in circostanze normali ha dimostrato di portare a miglioramenti dell'efficienza energetica e a risparmi energetici primari verificabili e misurabili o stimabili".

La norma fa quindi riferimento ad un sistema di gestione dell'energia, cioè a quella parte del sistema di gestione aziendale che ricomprende la struttura organizzativa, la pianificazione, la responsabilità, le procedure, i processi e le risorse per sviluppare, implementare, migliorare, ottenere, misurare e mantenere la politica energetica aziendale. L'intera norma è basata sulla norma ISO 14001 sui Sistemi di Gestione Ambientale. La EN 16001 è nata per integrarsi perfettamente entro il Sistema di Gestione già attivo secondo la ISO 14001; l'analogia con gli altri Sistemi è evidente:

- Logica di sistema che richiama modelli organizzativi rivolti a procedure, persone e responsabilità;
- Prescrivono obiettivi necessariamente determinati, quantificabili, dichiarati e formalizzati;
- Perseguono dinamiche orientate ad un miglioramento continuo.

La norma è applicabile ad ogni organizzazione che desidera essere sicura che la propria politica energetica sia conforme ad un sistema di gestione, dimostrare a terzi l'applicazione di un sistema di gestione e ottenere da terzi una certificazione; richiede, però, anche una figura specifica opportunamente fornita di risorse e che sia responsabile: si crea in questo modo uno stretto collegamento del sistema di gestione dell'energia con un esperto in gestione della stessa che sia coinvolto nella politica aziendale direttamente dal Top Management (Colombo, et al., 2010).

La UNI CEI EN 16001:2009 è basata sul modello PDCA (Plan Do Check Act), che facilita l'allineamento e l'integrazione con gli altri sistemi di gestione, prende in considerazione gli obblighi legali e ha un approccio sistematico al miglioramento continuo dell'efficienza energetica delle organizzazioni.

Il testo si focalizza l'attenzione principalmente su:

- Riduzione dei consumi e conseguentemente dei costi (fattori che influenzano la performance energetica);
- Miglioramento intensità energetica/razionalizzazione (aumento della capacità produttiva con stessa quantità di energia);
- Potenziamento della reputazione aziendale: le azioni preventive e volontarie volte alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di carbonio mostrano l'impegno sostenuto dall'azienda nei confronti dei propri stakeholders;
- Miglioramento dell'immagine: credibilità da parte dell'organizzazione: il coinvolgimento del personale permette di contribuire al miglioramento e di beneficiare dei loro stessi contributi;
- Incremento e mantenimento della motivazione del personale;
- Approvvigionamento energetico sicuro e vantaggi contrattuali grazie alla riduzione dell'elevato consumo di energia durante le ore di picco (migliore programmazione dei consumi e approvvigionamento).

Il progetto in corso attualmente prevede la trasformazione della UNI CEI EN 16001 nella norma ISO 50001 prevista per il terzo trimestre dell'anno 2011.

1.2. L'efficienza energetica nel manifatturiero

In campo industriale, il pressante aumento della componente energetica del costo industriale di produzione è diventato un fattore chiave, soprattutto considerato il contesto di crescente globalizzazione dei mercati internazionali in cui la ricerca dell'efficienza dei processi produttivi è spesso l'unica leva, in alternativa all'innovazione spinta di prodotto, a disposizione delle aziende per mantenere e, laddove possibile, accrescere il proprio posizionamento competitivo. Di fatto, l'attenzione all'efficienza energetica degli impianti di produzione e di servizio è diventata per le aziende un fattore competitivo di successo. (Carminati, et al., 2008).

Si capisce come l'efficienza energetica sia un'opportunità per le aziende, soprattutto nei settori a bassa intensità energetica siccome importanti interventi di riduzione dei consumi sono già stati implementati in settori energy intensive; il manifatturiero ha quindi grosse potenzialità di miglioramento.

Attraverso gli indici ODEX è possibile valutare l'andamento dei consumi e dell'intensità energetica partendo dal 1990. Gli indici ODEX (da ODyssee InDEx, calcolati nell'ambito del progetto europeo Odyssee-MURE), sono indici sintetici di efficienza energetica costruiti a partire da indicatori di consumo unitario dettagliati per uso finale, tipo di sistemi o apparecchiature, modalità di trasporto ecc., e ponderati per il loro peso sui consumi finali del settore. Gli indici hanno il 1990 come anno base, dunque un valore dell'indice inferiore a 100 rappresenta un miglioramento dell'efficienza energetica nel settore considerato. Se gli indicatori di intensità energetica vengono spesso letti e utilizzati come indicatori sintetici dell'efficienza energetica globale di un Paese o di un settore, occorre ricordare che un uso di questo tipo dovrebbe essere fatto con molta cautela. Gli indicatori di intensità energetica, infatti, rappresentano uno strumento relativamente grezzo che riflette l'effetto combinato di diversi fattori i quali possono anche avere andamento divergente, e di cui l'efficienza energetica delle tecnologie utilizzate è solo una componente. L'uso di energia in un dato settore può essere scomposto in vari fattori. Di questi i fattori più spesso analizzati sono: il livello di attività in un settore, il mix di attività ed i consumi di energia per unità di attività. Mentre i consumi energetici unitari costituiscono forse fra i fattori considerati il concetto più prossimo a quello di efficienza energetica, trattandosi di valori medi per un intero settore essi rappresentano l'efficienza delle tecnologie utilizzate ponderata con il mix di tecnologie prevalenti nel settore. (Enea, 2006)

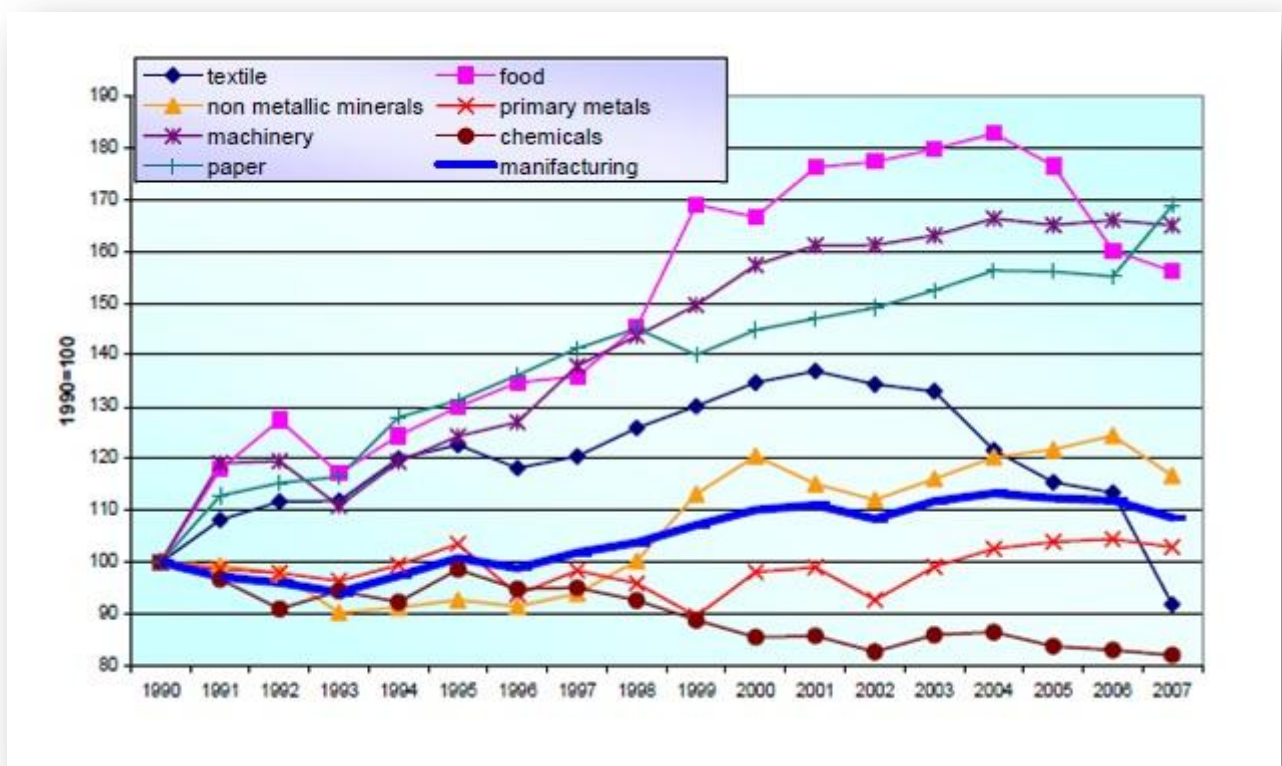


Figura 1.1 – Consumo di energia dal 1990 al 2007 in Italia secondo indicizzazione ODEX (Fonte ENEA)

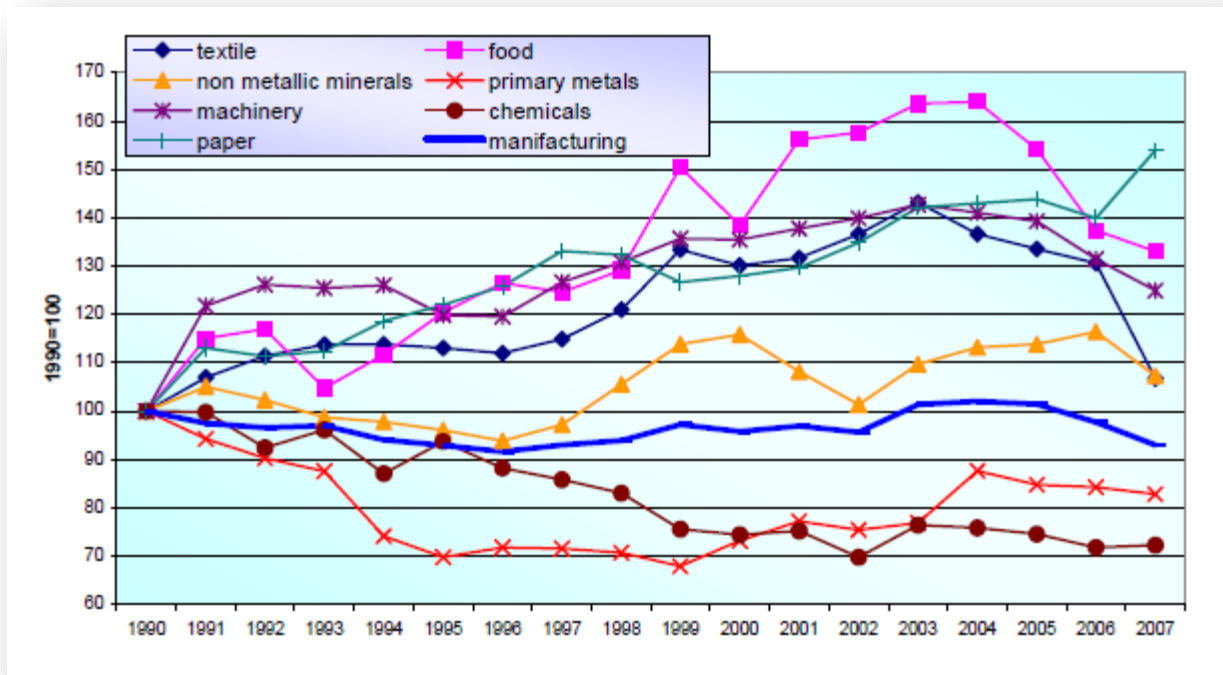


Figura 1.2 – Intensità energetica¹ divisa per settori dal 1990 al 2007 in Italia secondo indicizzazione ODEX (Fonte ENEA)

L'intensità energetica del settore manifatturiero è diminuita ma non al ritmo dei settori Energy intensive, quindi vi sono margini di miglioramento.

1.3. Efficienza energetica nel ciclo di vita di un impianto industriale

La direttiva 2005/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 6 luglio 2005, detta in gergo "Direttiva EuP", istituisce un quadro di riferimento per la definizione dei requisiti di progettazione ecocompatibili per i prodotti "che consumano energia (EuP)". È entrata in vigore il 10 agosto 2005 ed è stata recepita nella legislazione degli Stati membri entro il 10 agosto 2007.

È chiaramente intenzione della direttiva rendere obbligatoria la progettazione ecocompatibile per molti tipi di EuP, rendendo tali requisiti obbligatori per l'immissione di tali prodotti sul mercato UE.

¹ Per intensità energetica si intende: unità di energia per unità di valore aggiunto creato

I requisiti di eco-compatibilità (tra cui il consumo di energia) vengono definiti per ogni categoria di prodotto, tramite “misure di esecuzione”, in gran parte attuate sotto forma di regolamenti comunitari. Esse diventeranno quindi efficaci sin dalla loro adozione, senza richiedere alcun recepimento da parte degli Stati Membri; nei prodotti definiti dalla normativa sono presenti anche le macchine utensili.

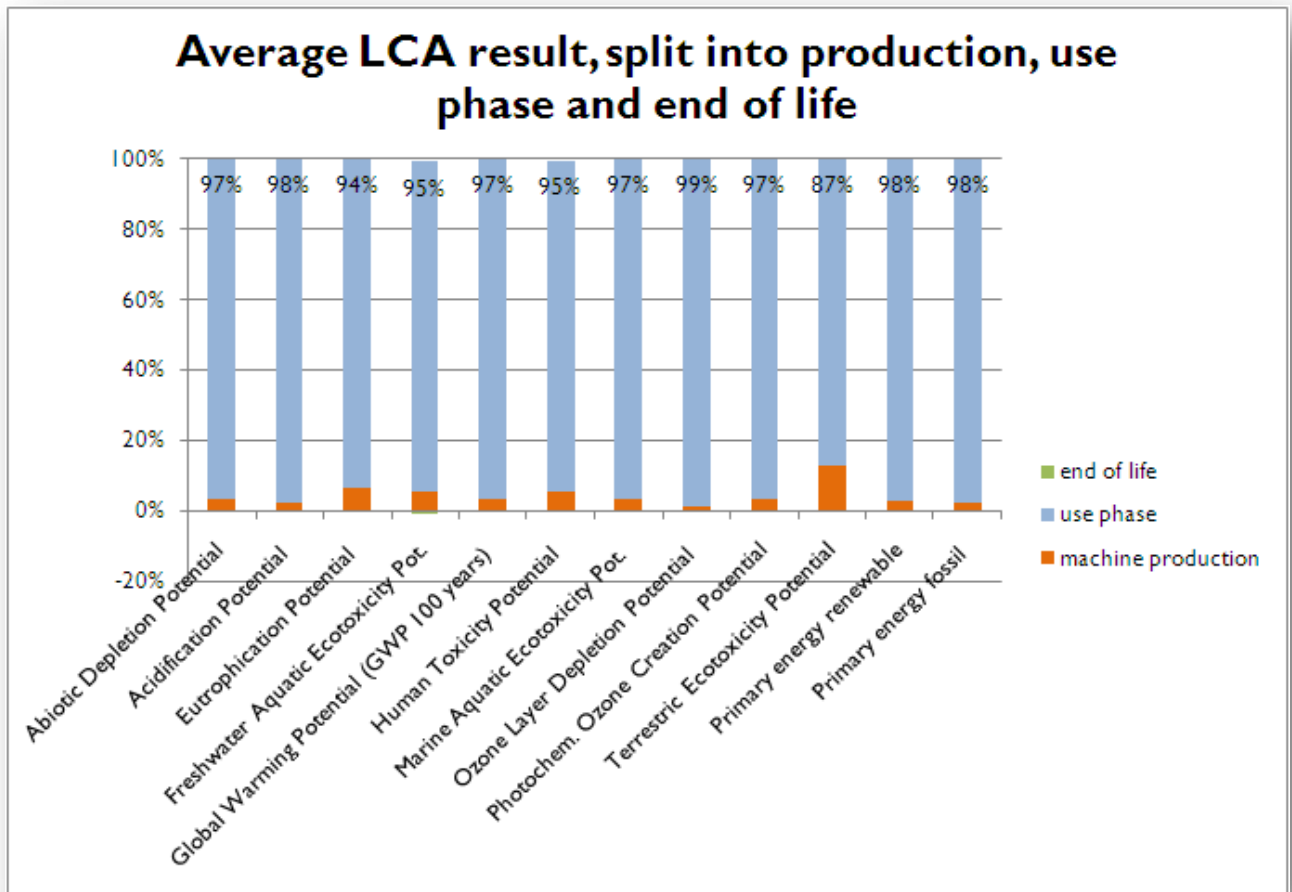


Figura 1.3 – LCA di macchine utensili (Fonte CECIMO)

Dalla figura 1.3 si desume come la “fase d’uso” è dominante per tutti gli aspetti dell’impatto ambientale per via del consumo energetico.

Nei prossimi anni le performance ambientali dei sistemi di produzione avranno peso crescente siccome il consumo energetico contribuisce in modo fondamentale all’impatto ambientale dei sistemi produttivi. In passato alcuni aspetti del consumo energetico sono stati trascurati: è possibile adottare efficaci soluzioni migliorative, dopo una sperimentazione che individui le fasi ed i componenti di maggior rilevanza energetica e predisporre così soluzioni tecnologiche ad alta efficienza energetica per trasformare i prossimi vincoli legislativi in opportunità competitive.

1.4. Obiettivi del lavoro

L'obiettivo del presente lavoro è quello di proporre dei metodi per l'attuazione di politiche volte al risparmio energetico; nell'ottica di una produzione eco-efficiente, questo si sta affermando come un campo fondamentale nel quale le aziende stanno iniziando a investire, sia per migliorare l'efficienza e la profittabilità dei processi produttivi, sia per garantire la conformità con i programmi e le politiche finalizzate allo sviluppo sostenibile.

Le modalità di risparmio energetico qui proposte sono innovative, per via dell'uso di software di simulazione e KPI (Key Performance Indicator), e basate sul monitoraggio ed attuazione del PDCA, per la metodologia di costruzione del sistema di misura.

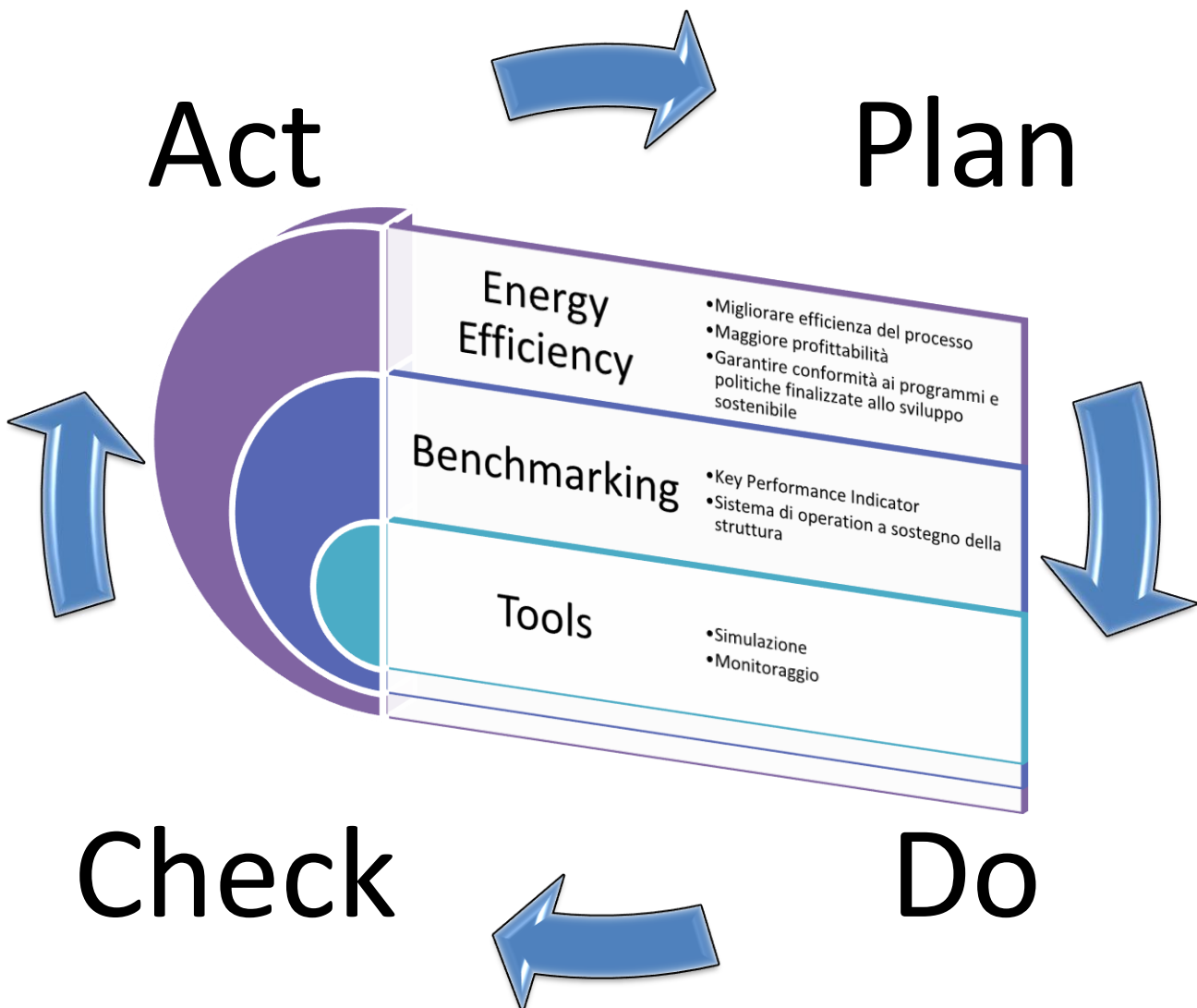


Figura 1.4 – Obiettivi del lavoro

1.5. Bibliografia

- Jeffrey B. Dahmus and Timothy G. Gutowski, 2004. *An environmental analysis of machining*. Massachusetts Institute of Technology
- G. Sala, P. Sottocornola, 2005. *EFFICIENZA ENERGETICA NELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE: METODO PER LA VALUTAZIONE TECNICO-ECONOMICA DELLE POTENZIALITÀ DI MIGLIORAMENTO*. Politecnico di Milano
- Emilio D'Errico, 2006. *L'ENEA per il risparmio energetico*. Enea
- L'ecologist italiano, 2006. *L'energia del domani è antica come il mare*. Libreria Editrice Fiorentina
- COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE, 2006. *Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità*. Comunità Europea.
- Bruno Lapillonne, 2007. *Definition of the energy efficiency index ODEX*. Enerdata
- Pasquale Pistorio, 2007. *Efficienza Energetica per la competitività e lo sviluppo sostenibile*. IPI
- Massimo Beccarello, 2007. *Efficienza energetica: l'impegno di Confindustria*. L'imprenditore
- ABB, 2007. *Efficienza energetica: l'altro combustibile alternativo*. ABB
- IPI, 2007. *Linee guida per l'elaborazione dei Progetti di Innovazione Industriale*. IPI
- Ministero dello sviluppo economico, 2008. *D.M. 8 febbraio 2008*. Governo Italiano
- C. Galitsky, S. Chang, E. Worrell, E. Masanet, 2008. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry*. University of California
- Savelli, 2008. *ODYSSEE: Energy Efficiency Indicators in Europe*. ODYSSEE
- Hirohisa Narita, Nelfa Desmira and Hideo Fujimoto, 2008. *Environmental Burden Analysis for Machining Operation Using LCA Method*. Nagoya Institute of Technology
- V. Carminati, G. Barigozzi, S. Ierace, S. Terzi, 2008. *La ricerca dell'efficienza energetica: leva competitiva per i moderni impianti industriali*. @meGMI
- Ministero dello sviluppo economico, 2008. *Modalità attuative dei Progetti di innovazione industriale*. Governo Italiano
- MURE2, ODYSSEE, 2008. *Profilo di Efficienza Energetica: Italia*. MURE2, ODYSSEE
- Hirohisa Narita and Hideo Fujimoto, 2009. *Analysis of Environmental Impact due to Machine Tool Operation*. Nagoya Institute of Technology
- M. Gallanti, A. Clerici, 2009. *Efficienza energetica: priorità assoluta*. ERSE – Confindustria
- ENEA, 2009. *Energy Efficiency Policies and Measures in Italy*. ENEA
- ADEME , 2009. *Energy Efficiency Trends and Policies in the EU 27*. ADEME

ADEME , 2009. *Energy Efficiency Trends and Policies in the Industrial Sector in the EU-27*. ADEME

Sustainable Energy Ireland, 2009. *I.S. EN 16001:2009 Energy Management Systems Technical Guideline*. Sustainable Energy Ireland

Valentina Bini, 2009. *I Sistemi Gestione Energia e il ruolo dell'energy manager*. FIRE

Massimo Pizzo, Anita Euler e Lorenzo di Palma, 2009. *L'industria manifatturiera e le energie rinnovabili*. INSINTESI

Phil Kaufman e Marcia Walker, 2009. *Ottimizzazione dell'energia industriale*. Rockwell Automation

Ufficio Studi ENEA, 2009. *RAPPORTO ENERGIA E AMBIENTE 2007-2008*. ENEA

Ufficio di Presidenza ENEA, 2009. *RAPPORTO ENERGIA E AMBIENTE 2008*. ENEA

Antonio Panvini, 2009. *UNI CEI EN 16001:2009 Sistemi di gestione dell'energia e linee guida per l'utilizzo*. CTI

Nicola Angelini, 2010. *BANDO PER L'ASSEGNAZIONE DI CONTRIBUTI PER LA REALIZZAZIONE DI CHECK-UP ENERGETICI PRESSO LE PMI*. Regione Lombardia

Isabelle DESCOTES-GENON, 2010. *Definition of ODEX indicators in ODYSSEE data base*. Enerdata

British Standards Institution, 2010. *Energy management systems*. BSI

Daiane Pandolfo, 2010. *IMPLEMENTING AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM*. Politecnico di Milano

F. Colombo, G. Ripamonti, 2010. *La sostenibilità nel settore manifatturiero: un modello di valutazione*. Politecnico di Milano

Nicola Stasolla, 2010. *La Norma UNI CEI EN 16001 e il risparmio energetico in azienda*. Università degli Studi di Bari

Ufficio Studi ENEA, 2010. *Le fonti rinnovabili 2010*. ENEA

ABB, 2010. *Normativa UNI CEI EN 16001:2009 Energy efficiency tramite un sistema di gestione per l'energia*. ABB

Enerdata, 2010. *Odyssee*. Enerdata

Alberto Morselli, 2010. *QUALIFICAZIONE DELL'INDUSTRIA ITALIANA VERSO LA "GREEN ECONOMY"*. Filctem-Cgil

Censis, 2010. *Rapporto annuale Censis*. Censis

Stefano Cucurachi, 2010. *UNI CEI EN 16001*. TUV

Sandro Picchiolotto, 2010. *UNI CEI EN 16001 2009 SISTEMI DI GESTIONE DELL'ENERGIA la norma e la sua implementazione*. UNI

Stefano De Marzi, 2010. *UNI CEI EN 16001: LA NORMA SUI SISTEMI DI GESTIONE DELL'ENERGIA*. Energheia

Capitolo 2

Misure di efficienza energetica

2.1. Premessa

La domanda di energia nel mondo sta crescendo molto velocemente e per i prossimi anni il prezzo dell'energia è inevitabilmente destinato ad aumentare (Gorke F. et al, 2005). Pertanto per le imprese il costo dell'energia sarà una parte sempre più importante del costo totale di proprietà e di produzione. Probabilmente l'uso di risorse rinnovabili sarà una risposta a questo problema nel lungo termine, ma una pratica efficace per le imprese industriali, nel breve termine, è la riduzione del consumo di energia attraverso l'eliminazione degli sprechi e quindi il miglioramento dell'efficienza energetica (Gorke F., 2005).

Per raggiungere questo obiettivo le imprese devono migliorare la loro capacità di gestire il consumo energetico andando verso lo sviluppo di sistemi di gestione dell'energia, come confermato dalla recente pubblicazione della norma UNI CEI EN 16001:2009.

La gestione del sistema energetico dovrebbe monitorare, registrare ed analizzare il consumo di energia all'interno dell'organizzazione. Al tempo stesso, dovrebbe garantire che i sistemi di produzione siano forniti di energia nel modo più efficiente possibile. Le imprese hanno quindi bisogno di sviluppare un metodo integrato per l'efficienza energetica basato su un approccio sistematico per il consumo di energia / riduzione dei costi di approvvigionamento energetico per l'uso di energia (Andreassi L. et al, 2009).

Il principio di base è che l'uso di energia e altre risorse devono essere misurati regolarmente al punto di utilizzo; quindi, si deve legare il consumo direttamente ad una attività o una risorsa (i.e. il punto di utilizzo); questa è la base fondante per un monitoraggio accurato delle prestazioni energetiche e ambientali e per le conseguenti pratiche di miglioramento (Vittorio C. et al, 2010).

Gli Energy manager richiedono sempre più mezzi per determinare se gli obiettivi di miglioramento dei consumi energetici e ambientali siano stati raggiunti. Un sistema di misurazione della performance, su misura per il processo specifico o una parte di esso, fornisce un meccanismo di notifica ai manager per i problemi che si stanno sviluppando, attraverso la misurazione, la raccolta, l'elaborazione e la strutturazione dei dati delle prestazioni su tutte le attività principali che in definitiva sono driver di una società di profitto. Sarà pertanto necessario possedere un sistema di misurazione delle performance in grado di fornire informazioni dirette e tempestive sul consumo effettivo di energia al punto di utilizzo, in modo da realizzare gli interventi necessari che possano ottimizzare il consumo energetico e le prestazioni ambientali. Molte aziende producono una quantità enorme di dati inutili, perché non sono o non possono essere convertiti in informazioni utili. I dati sono utili solo se possono essere messi in relazione con le prestazioni di un processo e se si conoscono i parametri o le azioni che possono influenzarne le prestazioni. Un sistema di misura dovrà tener conto almeno di numerosi parametri, ad esempio: quantità in ingresso di materie prime, produzione in uscita, wip intermedio, ore di funzionamento, parametri di processo (pressione, temperatura...), ecc.

I dati raccolti devono essere poi integrati con delle informazioni aggiuntive e dovranno seguire un processo di validazione, così da escludere dati che potrebbero perturbare l'analisi di business intelligence. Per informazione aggiuntiva si intende ad esempio le strategie di business dell'azienda, il revamping di impianti, problemi collaterali alla produzione, problemi di lettura dei contatori energetici, ecc. Il sistema di misurazione delle prestazioni è necessario al fine di quantificare l'efficienza e l'efficacia delle azioni passate al fine di determinare le prestazioni attuali. È stato riscontrato che, quando gli operatori sono a conoscenza che il rendimento è misurato, esso influenzerà il loro comportamento e favorirà così l'attuazione di una

politica energetica e ambientale. Pertanto bisognerà anche includere una infrastruttura IT di supporto e capace di fornire un quadro di dati e informazioni. In seguito l'organizzazione dovrebbe utilizzare il metodo più accurato possibile per il calcolo del consumo 'previsto' così da realizzare un confronto tra il consumo attuale e previsto che metterà in evidenza deviazioni impreviste e potrebbe consentire il rilevamento di sprechi nascosti, attraverso un meccanismo di analisi degli scostamenti.

La misurazione delle performance fornirà i mezzi per il monitoraggio ed il mantenimento della disciplina e il controllo del consumo di energia e processi ambientali delle attività. Il miglioramento delle prestazioni inizia con la misurazione. Solo quando le prestazioni sono quantificabili e misurabili si può quindi dibattere in modo significativo sui miglioramenti da realizzare: “non puoi migliorare quello che non puoi misurare”.

2.2. Cruscotto di indicatori

La visualizzazione dei dati energetici è una componente critica per monitorare i consumi energetici, risulta dunque molto importante una presentazione corretta e user - friendly attraverso degli evoluti cruscotti che contengano grafici ed indicatori di performance energetiche (KPI). Il cruscotto di un edificio campione è mostrata in figura 2.1, questo offre all'utente finale i dati in tempo reale comparati anche con quelli a serie storica per ogni utenza misurata nella costruzione e per le diverse utility andando anche a determinare quello che è l'andamento del trend.



Figura 2.1 – Cruscotto di un edificio in cui si visualizza l’andamento dei consumi energetici e relativi KPI (Fonte Rockwell Automation)

In tempo reale i dati energetici sono valutati attraverso adeguati KPI e sono rapportati rispetto valori soglia che identificano le condizioni di lavoro: “in specifica” (verde), i limiti di “avviso” (giallo), e “fuori specifica” (rosso).

Questo tipo di cruscotto per edificio è quindi in grado di fornire informazioni non solo ai gestori di energia, ma anche per gli occupanti dell'edificio poiché la raccolta automatica dei dati energetici rende la visualizzazione di dati una parte essenziale di un sistema energetico. I cruscotti grafici forniscono un metodo utile per informare sui dati rilevanti nei modi più significativi e possono essere adattati per un pubblico con diversi obiettivi e modi di comunicare e diverse esigenze operative.

Passiamo ora, dopo questo primo esempio nel settore del costruito, al settore industriale di cui si occupa questa tesi. In questo settore, è risaputo che il controllo energetico e l'analisi in ambienti di produzione richiedono una visione olistica della produzione per ottimizzare davvero i consumi energetici.

Un cruscotto di indicatori fornirà una leva centrale per il monitoraggio e il controllo di tutti i processi. L'ambiente risultante sarà utilizzato da supervisori di produzione, capireparto, responsabili di linea e la visibilità sarà necessaria anche per prendere decisioni solide e per ottimizzare i processi, in particolare in materia di energia. Si garantirà così la trasparenza del consumo di energia e si fornirà informazioni sui potenziali di ottimizzazione.

Attraverso questo approccio gli indicatori di efficienza energetica sono creati al fine di aiutare il direttore di stabilimento ad identificare le eventuali perdite di energia e prendere le decisioni nel modo più tempestivo possibile. Sulla base di questi indicatori possono essere effettuate delle modifiche, per esempio sulle diverse attività di gestione della produzione come la pianificazione della produzione che può essere valutato con riguardo all'efficienza energetica, al fine di prendere la decisione appropriata.

Il supervisore di produzione dovrebbe assumersi il compito aggiuntivo di gestione del consumo energetico nella produzione, al fine di mettere nella gestione della domanda la gestione energetica, potrà così spostare fasi di produzione e coniarle con la fornitura di energia. Il cruscotto lo sosterrà grazie alla trasparenza sul consumo di energia nella produzione e fornirà un supporto alle decisioni per la sua ottimizzazione.

La creazione di trasparenza comprende le seguenti azioni: il misurare, l'immagazzinare, l'analizzare e l'illustrare le informazioni sul consumo di energia. Un requisito fondamentale è la misurazione nel tempo-continuo a livello di macchine, in modo che i gestori di energia siano in grado di capire non solo il consumo di energia della fabbrica, ma di ogni dispositivo di produzione, di processo. Inoltre, devono conoscere la disponibilità e il prezzo dell'energia al fine di essere in grado di eguagliare il consumo di energia per la miglior offerta. Così il piano di produzione può essere ottimizzato sulla base di queste informazioni. Questo può comprendere, aggiungere, togliere o spostare fasi di produzione, oppure spostando l'intero piano di produzione in un altro tempo, o spegnere i dispositivi inutilizzati.

Il cruscotto di indicatori serve quindi a dare consigli utili all'esecuzione dei piani di produzione oltre che a chi gestione l'energia delle fabbriche. Questi requisiti sono la base per l'integrazione della gestione dell'energia.

2.3. Metodologia di costruzione del sistema di misura

Un corretto sistema di misura avrà come fonte diretta di dati le misurazioni eseguite da contatori energetici, specifici per ogni tipologia di fonte energetica. I contatori presenti in commercio sono numerosi e diversi e soprattutto dimensionati per determinati range di utilizzo e condizioni d'uso; da qualche anno oramai è possibile acquistarne di tipologia elettronici ad invio automatico dei dati, cioè in telelettura. Alcuni esempi di contatori sono nelle fig. 2.2, presi da catalogo costruttori.



Figura 2.2 – Contatori per telelettura

La possibilità di poter integrare all'interno di un determinato software la lettura dei contatori in automatico permette la presentazione immediata dei dati e la loro archiviazione, chiaramente questa tipologia di contatori è preferibile rispetto ai tradizionali con lettura standard. I contatori di tipo standard possono esser soggetti a problemi di errata lettura da parte dell'operatore, con quello che poi ne deriva (creazione di outlier all'interno della serie storica, ecc). Le precedenti fig. 2.2 mostrano contatori integrabili all'interno di software.

Tutti i contatori, qualunque sia la tipologia, devono esser tarati ad intervalli regolari, come imposto dal produttore, e quindi certificate le loro letture.

L'installazione dei contatori deve però subire un processo decisionale prestabilito così da evitarne un errato dimensionamento e copertura di utenze non rilevanti (con una spesa quindi inutile). Tipicamente nelle realtà industriali si avranno almeno un contatore per fonte energetica, detti contatori "di fabbrica", ed una

serie di sottocontatori derivati, detti contatori “d’utenza” (per utenza si può intendere da una macchina, ad una linea di montaggio fino ad un intero processo); in figura 2.3 è schematizzato quanto pocanzi descritto.

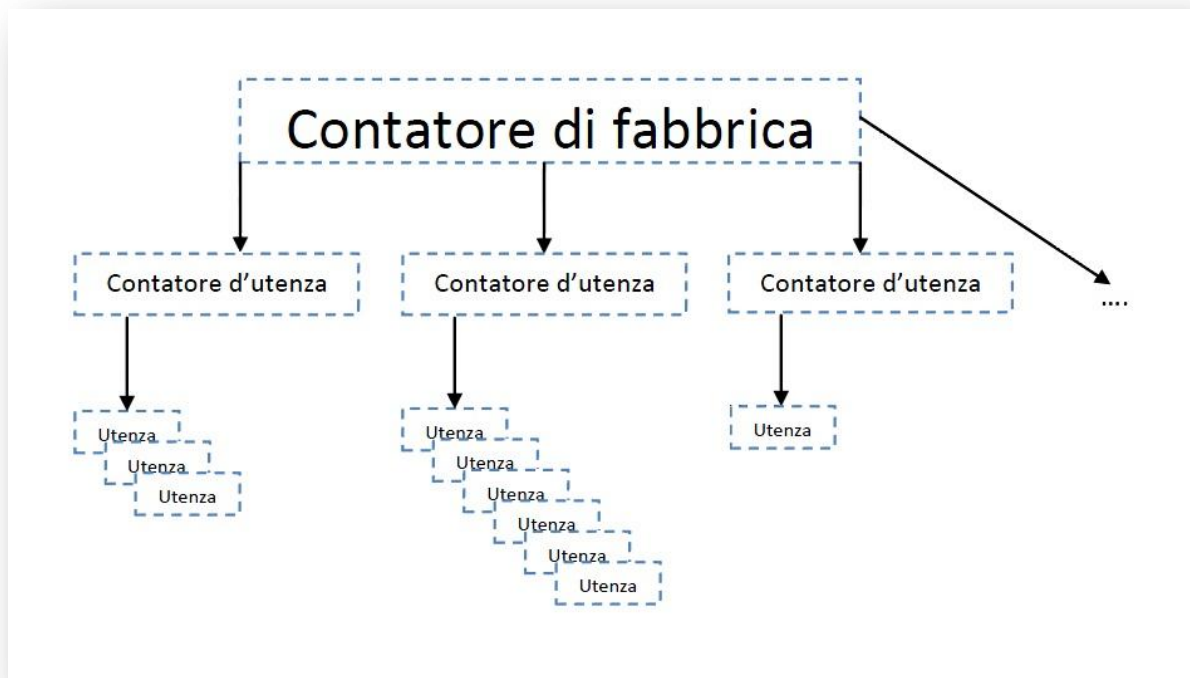


Figura 2.3 – Modello concettuale della struttura dei contatori

La metodologia che si propone di seguito aiuta il decisore nell’installazione dei contatori corretta e soprattutto guidata da un metodo scientifico ed empirico, è quindi una metodologia di costruzione di un sistema di misura (figura 2.4).

La prima parte del modello serve al decision maker per definire una solida base di conoscenza sulle utenze installate nella realtà in esame e quindi poter arrivare a creare una *knowledge base* energetica consistente; possiamo in seguito scomporre questa prima parte in tre sottoparti: utenze e relativi consumi, serie storica dei consumi energetici e dati correlati, mappa dei contatori energetici.

La realtà in esame dovrà esser scomposta, anzitutto, con metodologia top-down partendo dai value stream fino ad arrivare alle utenze che compongono ogni processo; per ogni utenza si dovrà stimare il consumo energetico di tutte le fonti energetiche utilizzate basandosi su informazioni tecniche (ad es. dati di targa, pregresse conoscenze, stime del fornitore, ecc).

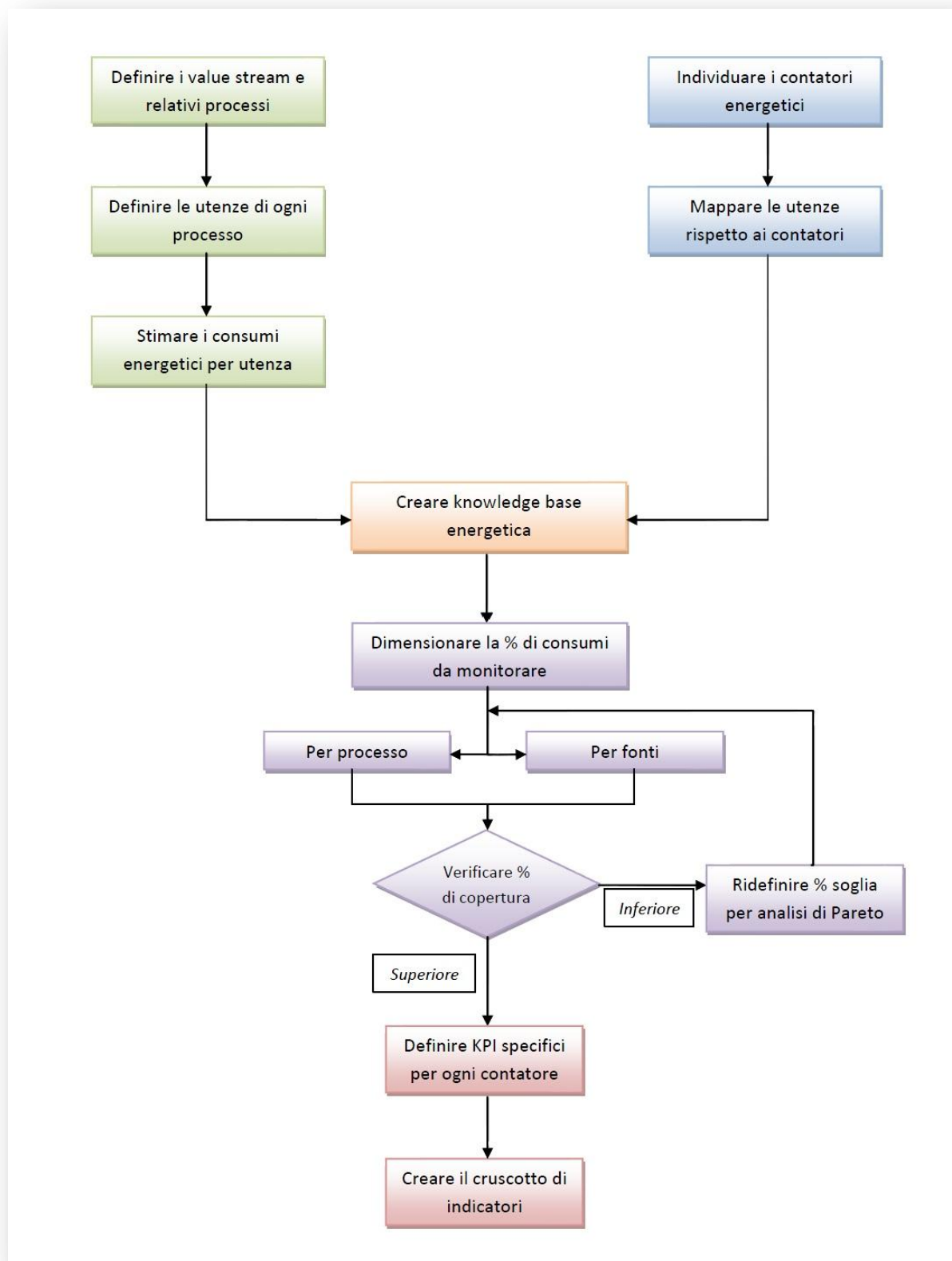


Figura 2.4 – Metodologia di costruzione del sistema di misura

In seguito, per la preparazione di un sistema di misura, è necessario individuare i contatori installati e realizzare la mappa delle relative utenze da essi misurati. La mappa delle utenze serve per stabilire la percentuale di ripartizione dei consumi sul totale misurato dal contatore, può essere eseguita andando a stimare i consumi di ogni utenza (disponibili nella *knowledge base*) e ripartiti poi sul totale creando così la percentuale di ripartizione. La verifica della dislocazione dei contatori all'interno del layout d'impianto permette di poter validare quelli già presenti e quindi le loro misure, le quali torneranno utili in seguito. Dopo aver implementato il primo passo si può così creare un *knowledge base* solida e consistente basata sulla verifica ed integrazione delle precedenti componenti.

In seguito si dovrà decidere una percentuale soglia di consumi che si vogliono tenere monitorati, cioè un sottoinsieme di consumi di quelli già misurati dai contatori globali di fabbrica, così da dettagliare l'analisi a livello di gruppo di utenze o addirittura di singola utenza. Si possono definire percentuali soglia di copertura tutte uguali per le diverse fonti energetiche o anche diversificare le percentuali in base alle specifiche esigenze.

Si entra quindi nel core del modello ove si sceglierà il posizionamento dei contatori con entrambe le metodologie: per processo o per fonte energetica.

Il modello da seguire per l'analisi per processo è indicato in figura 2.5.

La metodologia per processo è composta da sei fasi:

1. In primis bisogna scomporre i value stream nei vari processi e sottoprocessi che li caratterizzano.
2. In seguito si dovrà identificare tutte le utenze dei processi; per utenze si intendono macchine utensili, linee di montaggio, ausiliari, ecc.. chiaramente il livello di dettaglio ove l'analisi si vuole spingere è a discrezione del decisore, anche se per esperienza empirica si sconsiglia di scendere troppo nella minuzia siccome si rischia di non trarre un reale beneficio dall'installazione di un contatore dedicato.
3. Dopo aver definito tutte le utenze si dovrà assegnare loro il relativo consumo energetico basato sulla somma di tutte le fonti energetiche utilizzate valutate in euro, così da poter esser addizionate.
4. Il quarto passo sarà dunque la realizzazione di un'analisi di Pareto a livello di processo così da identificare le utenze a maggior consumo energetico; in seguito si dovrà ripetere l'analisi di Pareto sulle singole utenze così da selezionare la fonte energetica che impatta maggiormente sulla somma dei consumi di ogni utenza.
5. La fase finale sarà quella di verificare l'esistenza di un contatore che monitori il consumo di una determinata fonte energetica delle utenze precedentemente identificate; nel caso sia scoperta si consiglia l'installazione.

Potrebbe però verificarsi il caso in cui un contatore stia già misurando il consumo della fonte energetica di una utenza ma questo sia una percentuale di ripartizione rispetto ad un totale; in questo caso potrebbe essere opportuno decidere se mantenere la stima precedentemente svolta nella mappa delle utenze piuttosto che andare ad aggiungere un ulteriore contatore dedicato, in modo da coprire meglio, in maniera più "analitica", i consumi energetici e, migliorare, quindi la percentuale di ripartizione tra i contatori installati, rendendola più uniforme nella mappa dell'impianto.

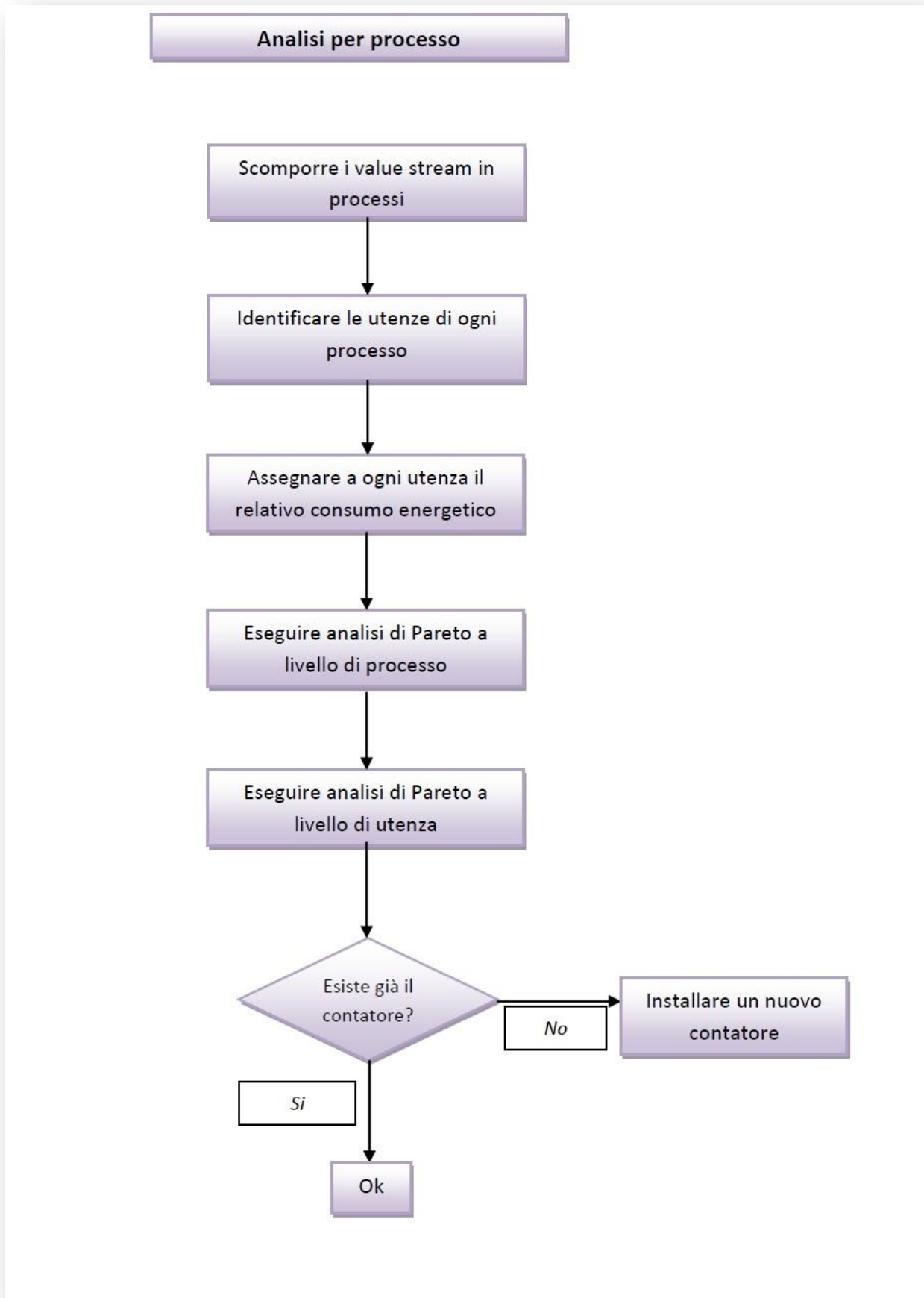


Figura 2.5 – Metodologia per processo

Invece, il modello da seguire per l'analisi per fonte energetica è indicato in figura 2.6.

La metodologia per fonte energetica è composta da cinque fasi:

1. In primis bisogna scomporre la realtà in esame valutando le fonti energetiche e quindi identificare quali processi ne fanno uso per il loro regolare funzionamento.
2. Dopo aver scomposto per processo si identificano le utenze del processo che usano la suddetta fonte di energia.
3. Il seguente passo sarà quindi l'analisi di Pareto a livello di fonte energetica, cioè l'identificazione di quali utenze consumano maggiormente la tipologia in esame.
4. Come è stato fatto per la metodologia per processo anche in questo caso bisogna verificare l'eventuale esistenza di un contatore; per le varie considerazioni si rimanda a quanto esplicitato precedentemente.

Questa seconda tecnica permette di individuare quelle utenze che utilizzano maggiormente un tipo di fonte energetica anche se questa non ha un peso consistente nella valutazione per processo, siccome il valore in euro è basso. Questa seconda metodologia permette così di coprire anche quelle fonti a basso impatto economico ma consente così di tener monitorato tutte le energie, qualora altre siano le ragioni di efficientamento (i.e. migliorare il footprint ambientale attraverso l'eliminazione di fonti "non verdi").

In entrambe le metodologie, le analisi di Pareto, si basano sui consumi realizzati dall'utenza, se conosciuti, o se assenti si dovrà realizzare delle stime partendo dai dati di targa.

Dopo aver svolto le fasi "per processo" e "per fonte" si dovrà verificare se la copertura garantita dall'installazione di ulteriori contatori d'utenza arriva alla percentuale di soglia precedentemente determinata, il tutto rivalutato in euro; se così non fosse allora bisognerà rieseguire le precedenti fasi andando ad espandere i valori soglia per l'analisi di Pareto (es. passando da 80/20 a 90/30) e quindi allargare la forbice di utenze da considerare.

Una volta verificato che la copertura sia superiore al valore imposto si dovranno definire degli specifici KPI per ogni contatore che entreranno a far parte del cruscotto di indicatori di monitoraggio dell'andamento dei consumi energetici.

Il cruscotto dovrà esser strutturato su più livelli di dettaglio, partendo dalla fabbrica fino ad arrivare alla singola utenza, così da poter esser utilizzato sia dall'industrial manager che dall'operatore gestore d'impianto.

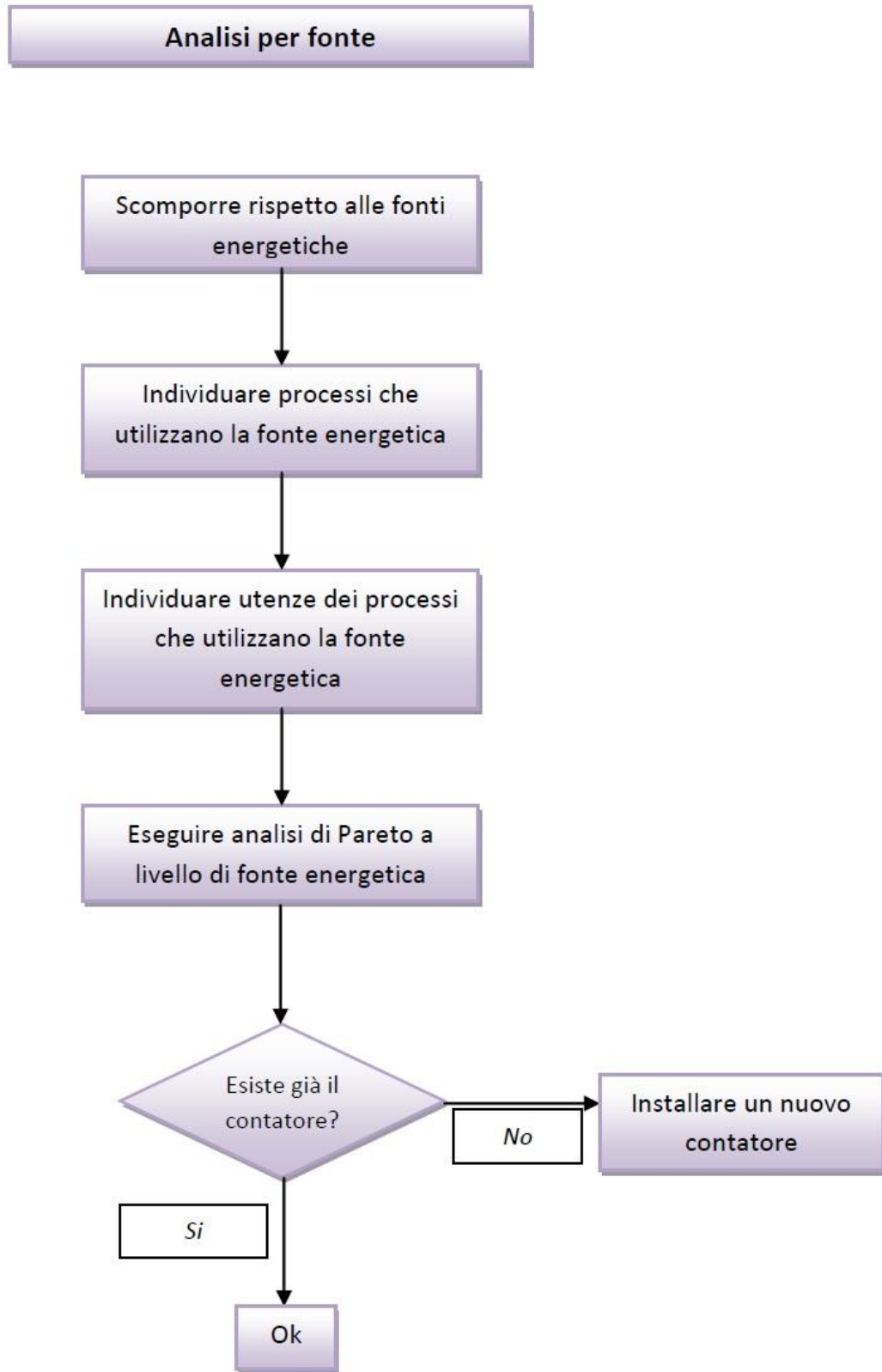


Figura 2.6 – Metodologia per fonte

2.4. KPI

L'analisi delle serie storiche è molto importante siccome rende consapevoli sull'andamento dei consumi energetici correlandoli con i parametri più influenti su di essi, cioè i volumi produttivi ed i giorni lavorati; la granularità temporale dei dati potrà essere dall'anno fino al giorno, chiaramente il tutto dovrà esser dimensionato in modo adeguato alle proprie necessità



Figura 2.7 – Serie storiche

Al termine dell'analisi delle serie storiche e quindi nell'individuazione delle componenti (media, trend, stagionalità) si creeranno i KPI di fabbrica, incrociando i dati ricavati; tipicamente si tenderà a definire indicatori che servono a misurare il contributo del consumo energetico alla produttività aziendale (Fattor in Output/ Fattori in Input). Ad es. l'output è il numero di pezzi prodotto o di giorni lavorati (come approssimante dei pezzi prodotti), l'input è il consumo energetico. Da cui derivano i due indicatori di base:

- $\frac{\text{consumo energetico}}{\text{giorni lavorati}}$
- $\frac{\text{consumo energetico}}{\text{pezzi prodotti}}$

Si comprende come il monitoraggio strutturato, attraverso l'uso di contatori energetici, e l'utilizzo di KPI aiuti a comprendere meglio la realtà.

Per effettuare una valutazione energetica di una realtà industriale occorre poi definire una serie di specifici indicatori di performance che entrino più nel dettaglio.

I dati assoluti di consumo di energia, in un determinato periodo, non forniscono immediate indicazioni rispetto all'efficienza energetica di un processo, se non rapportati rispetto un altro parametro. I Key Performance Indicator sono dunque utili per ovviare a questo problema; possono essere calcolati secondo due diverse modalità:

- sulla base dei dati raccolti: ad esempio i consumi di energia sono dedotti dall'analisi delle bollette oppure definiti in conformità a misurazioni effettuate sul campo;
- sulla base di un modello opportunamente costruito.

A differenza delle diagnosi energetiche in campo residenziale, dove la modellizzazione del comportamento energetico di un edificio è realizzata utilizzando programmi di calcolo presenti sul mercato, nel caso di diagnosi in campo industriale occorre costruire un modello ad hoc per la specifica situazione. I KPI dovranno quindi essere creati ed adeguati alle diverse realtà, oltre che ai diversi livelli aziendali e quindi profili decisionali. (Cannata, 2011)

In particolare, per quanto riguarda la modellizzazione dei consumi elettrici e termici, per potere definire i kWh annui consumati vanno definiti e stimati i seguenti parametri:

- quantità di apparecchiature che assorbono energia;
- potenza assorbita e coefficienti di carico;
- ore giornaliere e giorni annui di utilizzo.

Ogni singolo indicatore sarà dunque calcolato partendo da dati letti da contatore o dati nominali..

Confrontando questi due valori è possibile validare il modello creato, qualora i due indici siano simili tra loro. Se ciò non dovesse accadere, occorre ripercorrere tutte le fasi che hanno portato alla strutturazione del modello, così da individuare gli errori commessi nella sua definizione. Una volta certificato il modello, gli indicatori specifici della realtà oggetto di analisi andranno confrontati con i consumi medi specifici del settore in cui opera l'azienda, oppure il raffronto potrà essere eseguito tra le diverse factory.

Il reperimento di tali indicatori, tutt'altro che semplice, può avvenire da diverse fonti: studi di settore, studi ENEA, pubblicazioni delle associazioni di categoria, ecc.; da tale confronto è possibile definire degli interventi migliorativi con l'obiettivo di riallineare l'azienda alla media di settore oppure portarla verso l'eccellenza. L'impatto degli interventi sarà tarato rispetto al modello, dal quale si calcoleranno i nuovi consumi e dunque le nuove performance energetiche.

È quindi necessario implementare un sistema di monitoraggio e controllo dell'andamento dei KPI così da sviluppare un processo di Plan Do Check Act (ciclo di Deming); senza la creazione di KPI adeguati non si può pensare di implementare nessuna attività di risparmio energetico.

Di seguito è possibile trovare una lista di indicatori che possono essere utilizzati dal decision maker per implementare un esaustivo sistema di misura; sono stati definiti quattro raggruppamenti:

- Ambientali;
- Impiantistici;
- Economici;
- Composti.

Le suddivisioni sopra proposte a volte sono molto labili e alcuni KPI si trovano a cavallo tra due gruppi. In letteratura esistono altre classificazioni, come si può vedere in (Cannata, 2011):

- Indicatori termodinamici
- Indicatori fisico-termodinamico
- Indicatori economico-termodinamico
- Indicatori economico-fisico

2.4.1. KPI ambientali

Gli indicatori di performance ambientali sono focalizzati sull'impatto ambientale prodotto.

- Produzione energia con impianti da fonti rinnovabili / Consumo totale energia;
- Emissioni di gas nocivi / anno;
- Emissioni di gas nocivi / produzione;
- Emissioni di gas nocivi / valore aggiunto creato. (Intensità Energetica)

Le emissioni in aria di gas nocivi possono provocare:

- Effetto serra: misurato in CO₂ equivalente calcolato attraverso l'uso del parametro di Global Warming Potential (GWP);
- Acidificazione: misurato in potenziale acido equivalente;
- Ozono troposferico: misurato in potenziale di ozono troposferico (Ozone Depletion Potential).

2.4.2. KPI impiantistici

I KPI impiantistici sono focalizzati sull'andamento della produzione negli impianti e ricoprono un ruolo molto importante per l'azienda.

- Consumo annuo di energia / Produzione annua PF;
- Consumo annuo di energia / Produzione annua MP;
- Consumo annuo di energia per lavoro utile² / Consumo annuo di energia;
- (Produzione annua PF * Consumo standard energia a pezzo) / Consumo annuo di energia;
- Consumo annuo di energia / m² di superficie lavorativa;
- EEM (Energy Efficiency of Management) = energia diretta impiegata per la produzione / energia totale.

L'ultimo indicatore qui sopra riportato valuta la quantità di energia consumata durante gli stati a valore aggiunto del sistema di produzione in un arco di tempo definito con a denominatore la quantità totale consumata nello stesso arco di tempo. L'indicatore rappresenta quindi l'efficienza con cui vengono utilizzate le risorse in quanto più esso è alto, più l'energia è direttamente destinato all'output finale del sistema produttivo.

2.4.3. KPI economici

Gli indicatori economici possono essere costruiti mediante la combinazione di input di energia, ma in valore economico, ed output di produzione sia in valore economiche che tecnico nelle misure fisiche relative.

- Costo annuo per energia / Costo industriale di produzione;
- Costo annuo per energia / Fatturato annuo;
- Costo annuo per energia / Valore aggiunto creato; (Intensità Energetica)
- € investiti per interventi efficienza energetica / Fatturato annuo;
- Costo annuo per energia / Produzione annua PF.

² Per lavoro utile si intende lavoro diretto per la produzione

2.4.4. KPI composti

I KPI definiti “composti” sono creati andando ad integrare più Kpi insieme così da valutare più componenti.

Un innovativo KPI, o meglio definito TPI (Total Performance Indicator), è stato introdotto per poter valutare simultaneamente aspetti ambientali ed economici dei prodotti e dei processi in un unico indicatore di prestazioni. Il TPI è una misura che rappresenta l'efficienza di produzione combinata al valore dal punto di vista ambientale ed economico. TPI è definita come il saldo del valore per il cliente (UV) ed i carichi derivanti sia sotto il profilo ambientale (LCE) che dei costi dei prodotti (LCC):

$$TPI = \frac{UV}{\sqrt{(LCE * LCC)}}$$

Dove LCE e LCC rappresentano rispettivamente il carico ambientale e i costi per tutto il ciclo di vita. Utilizzando TPI come una funzione obiettivo e come indicatore di performance comune, dei prodotti e dei processi di progettazione, si possono valutare insieme aspetti ambientali ed economici.

Per calcolare il valore di UV, LCE e LCC si utilizzano tre diversi metodi.

- LCE: stesso metodo per calcolare LCA (Life Cycle Assessment)
- LCC: convenzionale a Life Cycle Costing

Invece, per il calcolo del parametro UV, si deve impiegare una funzione multi-attributo derivante dalla teoria MAUT (Multi Attribute Utility Theory), la quale considererà il degrado e l'obsolescenza di un valore prodotto lungo il tempo di vita. UV rappresenta quindi il valore di utilità di un prodotto per il cliente, come somma ponderata del suo fabbisogno funzionale dominante. I fattori di ponderazione di ciascun fabbisogno sono generalmente calcolati con il metodo di analisi congiunta che è una tecnica di statistica multivariata (Shinsuke Kondoh et al, 2010). Lo studio degli effetti combinati sui consumatori degli elementi che compongono un prodotto o un servizio permette di estrapolare l'importanza relativa di tali elementi. Perciò, essendo un modello additivo, permette la stima delle utilità totali per i diversi profili o le combinazioni degli attributi, e di conseguenza, consente l'identificazione della configurazione ottimale per un prodotto o un servizio nuovo o già esistente. (Wikipedia, 2010).

2.5. Barriere allo sviluppo del sistema di misura

Il sistema di misura sopra proposto presenta chiaramente dei limiti e delle barriere al suo sviluppo che lo possono rendere di difficile, ma non impossibile, implementazione. Sono stati individuati cinque punti critici:

- Difficoltà nello stimare i consumi annui delle utenze;
- Difficoltà nel reperire le serie storica dei consumi energetici;
- Difficoltà nel mappare le utenze a valle di un contatore;
- Difficoltà nel definire la corretta percentuale di copertura dei consumi;
- Difficoltà nel reperire i dati necessari per ostruzionismo e conflitti da parte di diverse funzioni aziendali.

La prima criticità riguarda la difficoltà nello stimare i consumi delle utenze siccome può essere difficile poter reperire i dati necessari all'analisi, perché ad esempio vi possono essere dei contatori che offrono poco dettaglio per via delle molte utenze ad essi associati. Ciò rende chiaramente più complessa l'analisi.

In seguito, nelle realtà aziendali, soprattutto quelle più piccole, la conservazione di dati di serie storiche di lungo periodo (fino a cinque anni) può non essere implementata e compresa siccome si tende a focalizzare il core business e non i fattori collaterali, come l'energia. In più è possibile incorrere nel dilemma del lavorare con "energie aggregate" siccome possono essere gestite da un solo operatore o peggio non essere state monitorate da un contatore (es. vapore creato con caldaie a metano in cui si ha il consumo di metano da bolletta ma non esiste un contatore di calorie per il vapore); un altro rischio non marginale è di lavorare su dati di costo e non di volumi, avendo così dei dati contaminati dalle fluttuazioni dei costi unitari dell'energia.

Il terzo e quarto punto critico riguardano la mappatura delle utenze e la definizione della ripartizione dei consumi: può capitare di non avere dei layout impiantistici in cui vengono inserite le linee di distribuzione dell'energia e le relative componenti fondamentali (tra cui il contatore e le utenze). Il lavoro che si dovrà svolgere sarà dunque più complesso e richiederà dell'ulteriore tempo per eseguire le corrette analisi ed individuare così le utenze e calcolarne le percentuali di consumo dell'energia rispetto alle altre componenti collegate al contatore.

L'ultima, ma non meno importante barriera, è quella più sottovalutata e taciuta, cioè l'ostruzionismo tra funzioni aziendali. Questo spiacevole e sempre presente fenomeno, riscontrabile soprattutto al crescere della realtà analizzata, porta a difficoltà nel reperire tutte le informazioni necessarie all'implementazione di un corretto sistema di misura.

2.6. Conclusioni

Un corretto sistema di misurazione dei consumi energetici porta a sicuri ed indubbi vantaggi tra cui:

- Maggiore conoscenza del proprio sistema organizzativo e produttivo;
- Chiara attribuzione di responsabilità e competenze;
- Coinvolgimento e partecipazione di tutti i dipendenti al raggiungimento degli obiettivi;
- Controllo e riduzione dei costi e degli sprechi energetici;
- Controllo e riduzione dell'impatto ambientale collegato al proprio sistema energetico;
- Maggiore facilità ad uniformarsi a vincoli legislativi e/o regolamentari;
- Maggiore disponibilità ad impegni volontari e/o accordi sociali;
- Miglioramento dell'immagine aziendale e/o esigenze di Marketing.

Per garantire un approccio orientato al miglioramento continuo delle prestazioni energetiche, le analisi dovranno inoltre includere:

- Identificazione delle aree di consumo energetico significativo, in particolare delle variazioni rilevanti registrate nell'utilizzo dell'energia;
- Stima del consumo di energia previsto e la stesura del budget energetico diviso per mesi;
- Identificazione di tutti coloro che operano alle dipendenze o per conto dell'Organizzazione, le cui azioni siano in grado di modificare significativamente il consumo dell'energia;
- Identificazione delle opportunità per migliorare l'efficienza energetica e la definizione delle relative priorità.

2.7. Bibliografia

Francesco Bernardini, 1996. *Efficienza energetica. Monitoraggio continuo*. Energia e Materie prime

Julie L. Hass, 2003. *Results from the Norwegian Environmental and Economic Accounts and issues arising from comparisons to other Nordic NAMEA-air emission systems*. Statistics Norway

Regione Lombardia, 2004. *RAPPORTO SULLO STATO DELL'AMBIENTE IN LOMBARDIA*. Regione Lombardia

Gorke F., Madsen T., Sargent R., 2005. *Energy Efficiency: The Smart Way To Reduce Global Warming*. National Association of State PIRGs.

R. Kemna, M. van Elburg, W. Li, R. van Holsteijn, 2005. *Methodology Study Eco-design of Energy-using Products*. Van Holsteijn en Kemna BV

Regione Piemonte, 2006. *INDICATORI PER L'ANALISI DI CONTESTO energia*. Regione Piemonte

Provincia di Torino, 2007. *5° rapporto sull'energia*. Provincia di Torino

Alessandro Lanza, 2007. *EFFICIENZA ENERGETICA ruolo e contributo dell'industria dell'energia*. Fondazione Eni Enrico Mattei

Zoran K. Morvay, Dušan D. Gvozdenac, 2008. *Applied Industrial Energy and Environmental Management*. JohnWiley & Sons Ltd

V. Carminati, G. Barigozzi, S. Ierace, S. Terzi, 2008. *La ricerca dell'efficienza energetica: leva competitiva per i moderni impianti industriali*. @meGMI

Martin Dittmer, Jeffrey Soplop, 2009. *Automate to Get Energy Costs Under Control*. Rockwell Automation (www.pharmamanufacturing.com)

Emanuele Vallo, 2009. *Metodi di gestione della produzione per il miglioramento dell'efficienza energetica*. Politecnico di Milano

Regione Emilia-Romagna, 2009. *Relazione sullo Stato dell'Ambiente della Regione Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna

Andreassi L., Ciminelli M.V., Di Silvio B., Introna V., Ubertini S., 2009. *Systematic approach to Energy Saving: an integrated methodology for industrial plant*. In: *Proceedings of the Fourth International Exergy, Energy and Environment Symposium*. AUS, Sharjah, UAE

Jeffrey Soplop, 2010. *An Algorithmic Approach to Enterprise Energy Management*. Rockwell Automation

Wikipedia, 2010. *Analisi congiunta*. Wikipedia

J. Heilala, K. Klobut, T. Salonen, P. Järvinen, P. Siltanen, J. Shemeikka, 2010. *Energy Efficiency Enhancement in Discrete Manufacturing Process with Energy Use Parameters*. VTT Technical Research Centre of Finland

Michael Ameling, Daniela Wuensch, Frank Nietzold, 2010. *Energy management in manufacturing based on plant integration*. SAP Research Center Dresden

British Standards Institution, 2010. *Energy management systems*. BSI

Katharina Bunse, Matthias Vodicka, Christian Oliver Schneider, 2010. *Enhanced Production Management Approaches – Integrating Energy Efficiency Performance into Companies Decision Making Processes*. BWI Center for Industrial Management

Daiane Pandolfo, 2010. *IMPLEMENTING AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM*. Politecnico di Milano

Vittorio Cesarotti, Simone Deli Orazi, Vito Introna, 2010. *Improve Energy Efficiency in Manufacturing Plants through Consumption Forecasting and Real Time Control*. Università degli Studi di Roma

F. Colombo, G. Ripamonti, 2010. *La sostenibilità nel settore manifatturiero: un modello di valutazione*. Politecnico di Milano

Rockwell Automation, 2010. *PRODUCTION AND PERFORMANCE MANAGEMENT*. Rockwell Automation

Sandro Picchiolotto, 2010. *SISTEMI DI GESTIONE DELL'ENERGIA la norma e la sua implementazione*. UNI

Shinsuke Kondoh, Nozomu Mishima, 2010. *Toward an integrated eco-design method of products and processes - Utilization of TPI as a glue to combine multiple tools*. National Institute of Industrial Science and Technology

Alessandro Cannata, 2011. *A Methodology to enhance Energy Efficiency at Factory Level: Improvements for Sustainable Manufacturing*. Politecnico di Milano

Capitolo 3

Realtà in analisi

3.1. Whirlpool Corporation

La Whirlpool Corporation è un'azienda multinazionale statunitense produttrice di elettrodomestici. Viene fondata nel 1911 a St. Joseph, nel Michigan, dai fratelli Louis, Frederick ed Emory Upton, con la denominazione Upton Machine Company. Il primo prodotto a marchio Whirlpool viene lanciato nel 1950. La sua sede principale viene trasferita a Benton Harbor nel 1956, sempre nel Michigan. Nei decenni successivi l'azienda cresce, si espande a livello internazionale, e nel 1988, insieme a Philips, crea una joint-venture denominata Whirlpool International, poi acquisita totalmente dalla società americana nel 1991. Dal 2006, con l'acquisizione della Maytag Corporation, fino ad allora, sua principale concorrente nel mercato statunitense, Whirlpool è divenuto il maggior produttore mondiale di elettrodomestici, sorpassando la Electrolux. È presente in tutto il mondo attraverso diversi marchi e società, tra cui Maytag, KitchenAid, Jenn-Air, Amana, Gladiator Garage Works, Inglis, Estate, Brastemp, Bauknecht, Consul, Ignis e Polar, acquisite nel corso degli anni; è inserita nella lista Fortune 500 ed è quotata in Borsa al New York Stock Exchange e festeggia nel 2011 l'anniversario dei 100 anni di vita.

Attualmente produce ricavi superiori a 18,4 bilioni di dollari all'anno e conta 71.000 dipendenti sparsi in tutto il mondo; i suoi prodotti vengono venduti in 170 paesi nel mondo. L'organizzazione fonda il suo successo soprattutto sull'R&D, difatti ha installato 67 centri di ricerca tecnologica sul globo. Solo in Europa sono presenti 32 stabilimenti produttivi con 12.000 dipendenti in trentadue paesi; il centro di coordinamento europeo è situato a Comerio, in provincia di Varese, a nord di Milano.

L'azienda è un sostenitore principale di Habitat for Humanity, un'organizzazione non-profit dedicata alla costruzione a basso costo di alloggi a prezzi accessibili. L'impegno dell'azienda per Habitat for Humanity ha superato i 34 milioni di dollari e ha donato oltre 73.000 elettrodomestici. La società prevede di sostenere ogni casa Habitat costruita a livello mondiale entro il 2011, sia attraverso donazioni di prodotti, in denaro o sponsorizzazioni.

La Whirlpool Corporation è impegnata dal 1970 nella protezione dell'ambiente e delle risorse naturali anche con la creazione di un ufficio interno per il controllo ambientale. Vista la crescita globale sono stati sviluppati e applicati degli standard globali per la protezione dell'ambiente anche in quei paesi dove non erano obbligatori. Questo impegno è iniziato con un focus sulla produzione, estendendo l'impatto ambientale sui prodotti. L'impegno è dimostrato non solo attraverso il design e la produzione, ma anche attraverso gli altri aspetti dell'organizzazione, come ad esempio la partecipazione ai programmi ENERGY STAR in Stati Uniti e Canada, la partnership con l'EPA e l'impegno nella Global Greenhouse Gas reduction, un obiettivo che verrà in parte realizzato attraverso la produzione e vendita degli elettrodomestici efficienti. Whirlpool è stato uno dei 13 membri fondatori del Business Environment Leadership Council, un gruppo di studiosi del cambiamento climatico globale. Il Pew Center conduce studi e programmi internazionali educativi sul cambiamento climatico globale; in accordo con l'opinione degli scienziati del Business Environment Leadership cerca operativamente di limitare le conseguenze negative sul cambiamento climatico.

3.2. Lo stabilimento Whirlpool Europe a Cassinetta di Biandronno

Lo stabilimento produttivo della Whirlpool Europe a Cassinetta di Biandronno, in provincia di Varese, è la realtà produttiva più grande per dimensione e volumi produttivi di tutta Europa del prestigioso marchio americano. In questa sede è presente anche il Manufacturing Excellence, cioè il centro di ingegneria centrale che coordina i progetti di tutte le fabbriche sparse sul territorio italiano ed europeo. Il complesso produttivo è stato realizzato dalla Ignis, famoso e rinomato brand italiano creato dal brillante imprenditore milanese Giovanni Borghi che fondò nel 1946 a Comerio la SIRI S.p.A., acronimo di Società Industria Refrigeranti Ignis. Il termine Ignis, che diventò il marchio, deriva dal latino "fiamma", e di fatto, l'azienda iniziò la propria attività costruendo fornelli elettrici. Nel corso degli anni cinquanta l'azienda crebbe in termini di produttività, ampliandola alle cucine a gas, ai ferri da stiro, agli scaldabagni elettrici e ai frigoriferi, questi ultimi prodotti anche per conto terzi con alcuni marchi. Nello stesso periodo creò altri stabilimenti, a Gavirate, Napoli e Cassinetta di Biandronno (quello in esame). L'azienda, negli anni sessanta e settanta proseguì la propria espansione creando stabilimenti a Siena e Trento, e anche all'estero, due in Spagna ed uno in Grecia. Venne pure avviata la produzione di lavatrici, lavastoviglie e forni a microonde. Dal punto di vista commerciale Ignis fu una delle aziende leader nel mercato italiano degli elettrodomestici, detenendo nel 1960 una quota del 38%. Nel 1970, il 50% del capitale della società fu rilevato dalla Philips, che ne acquisì il pieno controllo nel 1972; Ignis fu in quegli anni, dopo la Zanussi, il secondo produttore italiano di elettrodomestici, e nel 1973 le sue fabbriche contavano oltre 10 mila addetti solo in Italia. Con il passaggio di proprietà alla multinazionale olandese, fu anche mutata la denominazione sociale dell'azienda che divenne IRE S.p.A. (Industrie Riunite Eurodomestici). Nel 1988, IRE-Ignis divenne una joint-venture tra Philips e Whirlpool, che entrò nel capitale sociale con il 53% delle azioni, divenendo socio di maggioranza. L'azienda americana nel 1991, rilevò per intero la Ignis, che divenne Whirlpool Italia s.r.l., e successivamente Whirlpool Europe, e da allora è un marchio facente parte del gruppo, con il quale vengono prodotti elettrodomestici negli stabilimenti italiani, a tutt'oggi attivi.

In particolare lo stabilimento di Cassinetta di Biandronno è composto al suo interno da numerose fabbriche e funzioni aziendali; i prodotti finiti che escono da questa sede sono: frigoriferi singola e doppia porta, forni e piani cottura. Il periodo di stage da me intrapreso è stato svolto su queste tre fabbriche ed in particolare su quelle del Cooking, ove si assemblano gli elettrodomestici utili alla cottura e preparazione dei cibi.

3.3. Le fabbriche Cooking

3.3.1. Fabbrica Forni

La fabbrica dove avviene la produzione di forni a resistenza elettrica è composta principalmente da tre macro aree:

- Stampaggio;
- Smalteria;
- Assemblaggio.

Le prime due fanno parte dei processi primari e richiedono due turni lavorativi (da quattordici ore) per soddisfare la richiesta di domanda del mercato all'attuale livello di throughput; invece, l'assemblaggio, riesce a produrre con regime di giornata (a un turni da otto ore). Attualmente il regime produttivo finale è pari a circa 250 forni/ora.

L'area di stampaggio è suddivisibile al suo interno tra le macchine ad isola e le presse in linea che sono direttamente collegate attraverso una catena aerea alla smalteria.

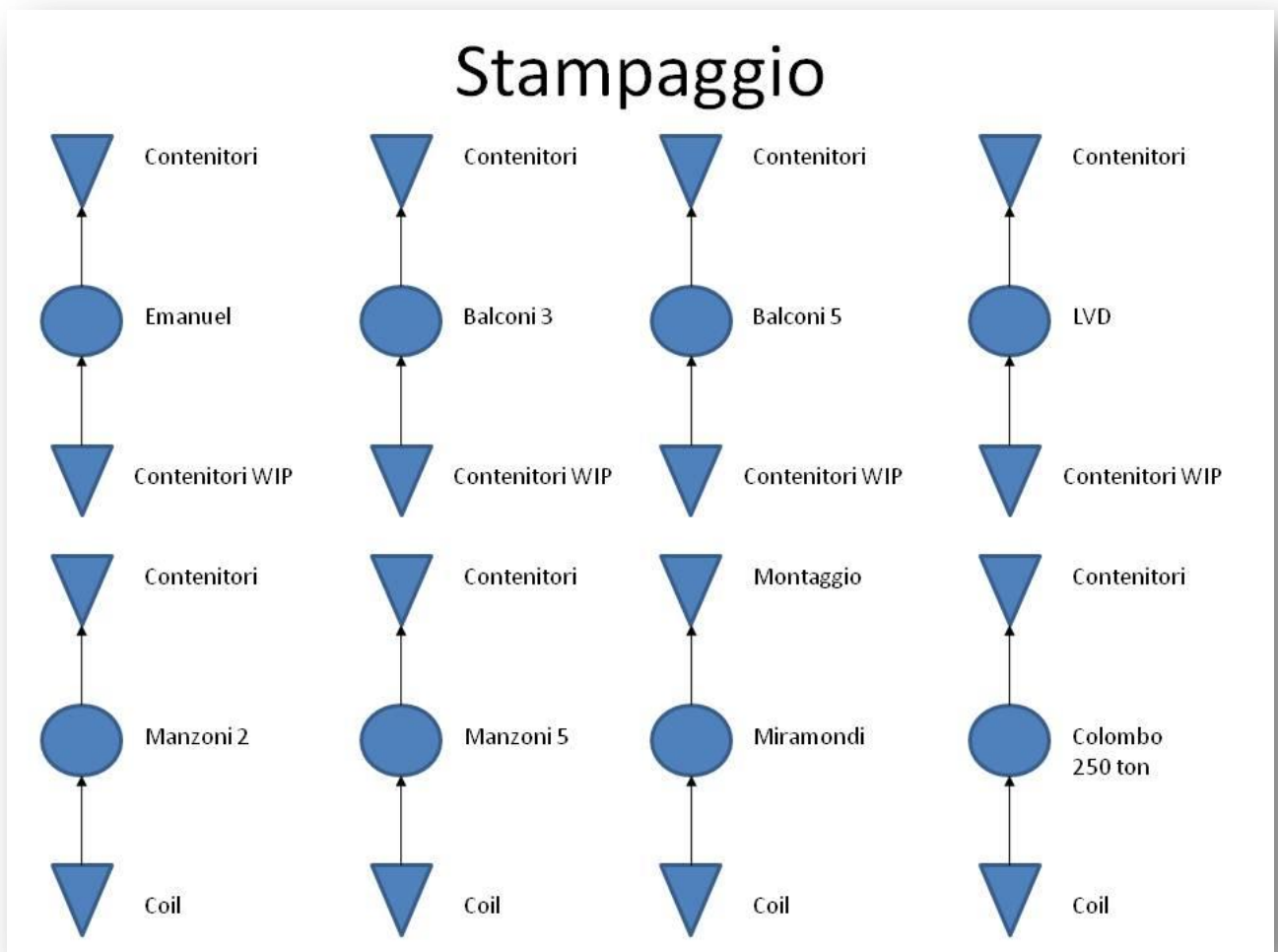


Figura 3.1 – Macchine di stampaggio ad isola

Le macchine Manzoni 2 (1000 tonnellate), Manzoni 5 (1000 tonnellate), Miramondi (linea di presse) e Colombo (250 tonnellate) svolgono lavorazioni partendo direttamente dal coil di materia prima e producono componenti per i forni ed i piani cottura; il caricamento ed avanzamento avviene in automatico. Le altre presse ad isola eseguono principalmente lavorazioni di tranciatura ed imbutitura eseguendo così riprese di pezzi già lavorati e singole fasi; a differenza delle precedenti queste sono a caricamento manuale e dalla minor produttività. In figura 3.1 sono state rappresentate in modo schematico le macchine di stampaggio.

Invece, la linea “Nuova Sares” e “Vecchia Sares”, stampano, saldano e assemblano le cavità dei forni modello Minerva e modello Stromboli; le cavità all’uscita da quest’area sono trasportate attraverso catena aerea all’interno dell’area di smalteria e più precisamente nella macchina Lavo e Triton, macchine di lavaggio e asciugatura.

Lo stampaggio in linea è rappresentato schematicamente in figura 3.2.

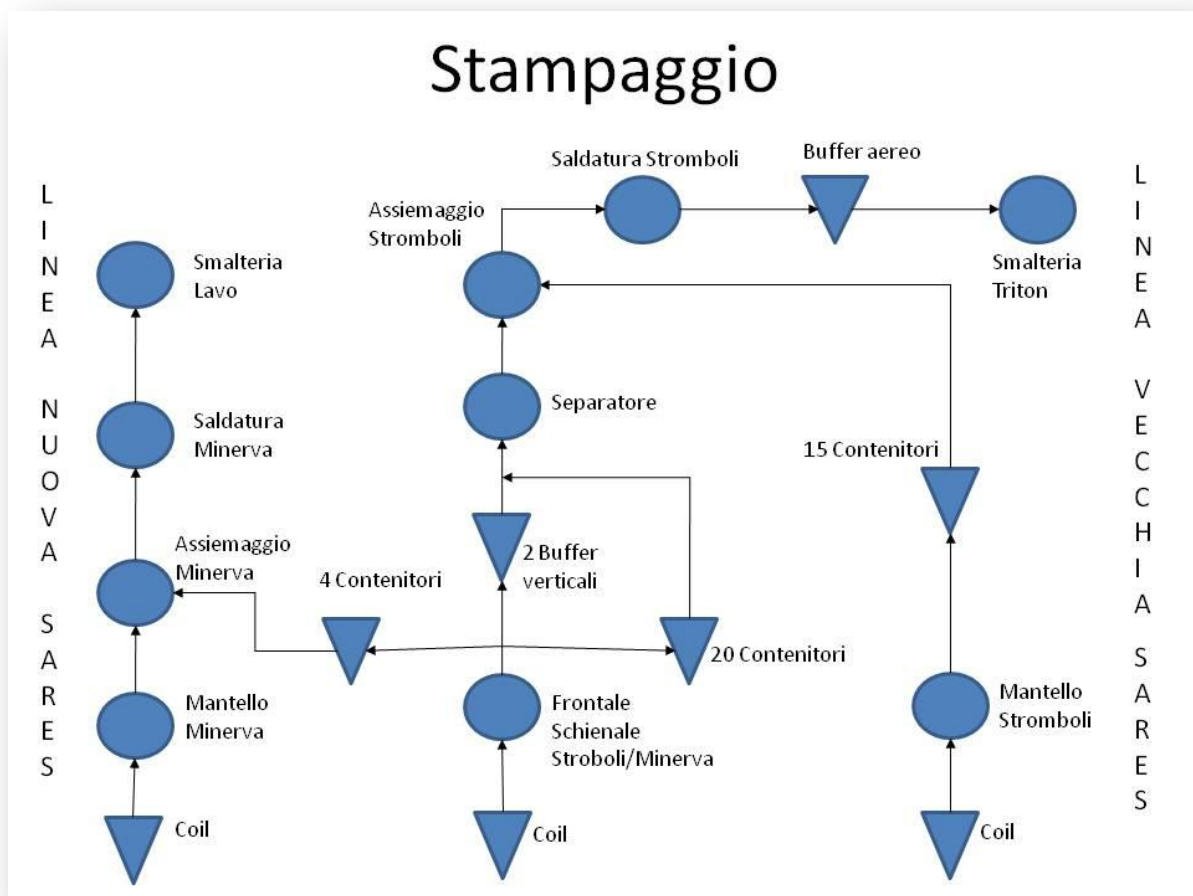


Figura 3.2 – Macchine di stampaggio in linea

I componenti, dopo esser stati stampati, una parte andrà direttamente in montaggio invece un'altra dovrà essere smaltata o verniciata. Le componenti da smaltare sono le cavità interne del modello Minerva e Stromboli, leccarde, mascherine e pannellame vario; i montanti interni delle porte dei forni vengono verniciati, come alcuni tipi di mascherine.

In figura 3.3 è rappresentata una parte della smalteria tra cui il trattamento delle cavità che arrivano direttamente dallo stampaggio attraverso la catena aerea; i pezzi subiranno un lavaggio, decapaggio e successiva asciugatura così da eliminare oli residui lasciati dallo stampaggio attraverso gli impianti “Lavo” e “Triton”. “Lavo” è un impianto di ultima generazione che sfrutta la tecnologia ad ultrasuoni installata nelle diverse vasche di lavaggio. Dopo esser state pulite le cavità subiranno il deposito dello smalto per elettrodeposizione attraverso due cabine con differenti colori. Il semilavorato a cui è stata aggiunta la polvere sarà trasbordato attraverso un robot sulla catena che lo porterà nel forno di cottura, “New Fornace”, il quale opera ad una temperatura di 800 °C; avvenuto il processo di vetrificazione dello smalto la cavità subisce un controllo visivo da parte di un operatore, in modo da eliminare eventuali pezzi non in specifica e quindi da scartare. Superato il check si svolgeranno tre veloci passaggi di assemblaggio: la cavità sarà così pronta per esser immagazzinata in un polmone aereo o esser inserita all’interno del “Traslo”, un magazzino completamente automatizzato da circa 1500 posti.

Il pannellame vario subirà un processo di smalteria uguale alle cavità a differenza della sola cabina di deposito dello smalto di colore nero; i pezzi saranno poi depositati in appositi contenitori e trasportati con muletto fino alle linee di assemblaggio.

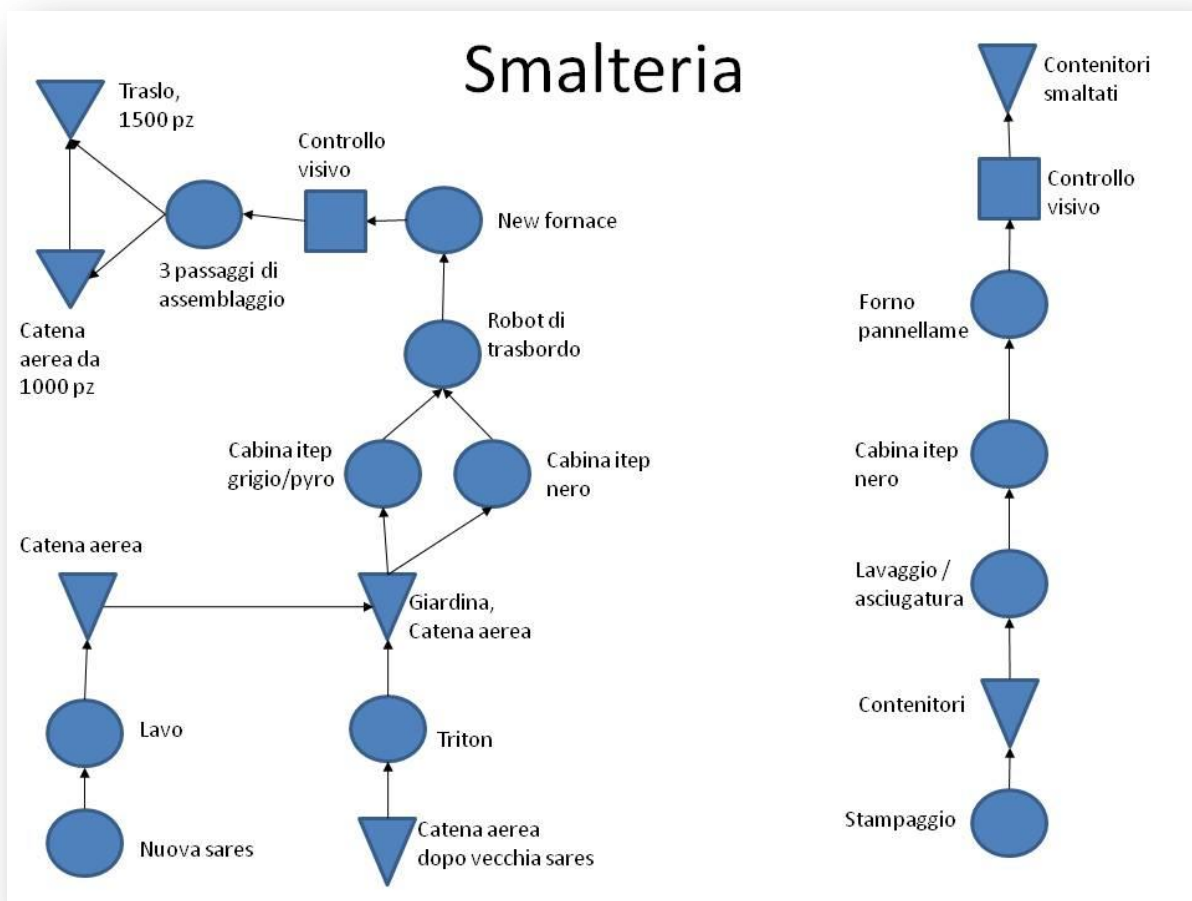


Figura 3.3 – Smalteria cavità e pannellame

Invece la seconda parte, quella schematizzata in figura 3.4, è un impianto molto versatile basato fondamentalmente su una parte di verniciatura e su una parte di smalteria vera e propria. Attraverso una sola macchina di lavaggio – decapaggio – asciugatura dei pezzi si riesce a processare componenti di acciaio inox, subito pronti per il montaggio, oppure componenti da verniciare o ancora pezzi che andranno per la linea “2 mani ed 1 cottura”. La verniciatura avviene sempre per elettrodeposizione della povere che verrà successivamente cotta in un apposito forno a metano ad una temperatura di circa 230 °C.

La porzione di smalteria invece si compone di due linee:

- Applicazione “Pyro”, con lavaggio e asciugatura dedicati, oltre al deposito di smalto caratterizzante
- “2 mani e 1 cottura”, contraddistinta da due mani di smalto ed una sola cottura

Questi due diversi processi condividono lo stesso forno, in questo caso però le temperature variano in base ai pezzi realizzati passando dai 580 °C fino a 850°C del Pyro; dopo che lo smalto si è vetrificato per cottura i componenti vengono controllati e riposti negli appositi contenitori.

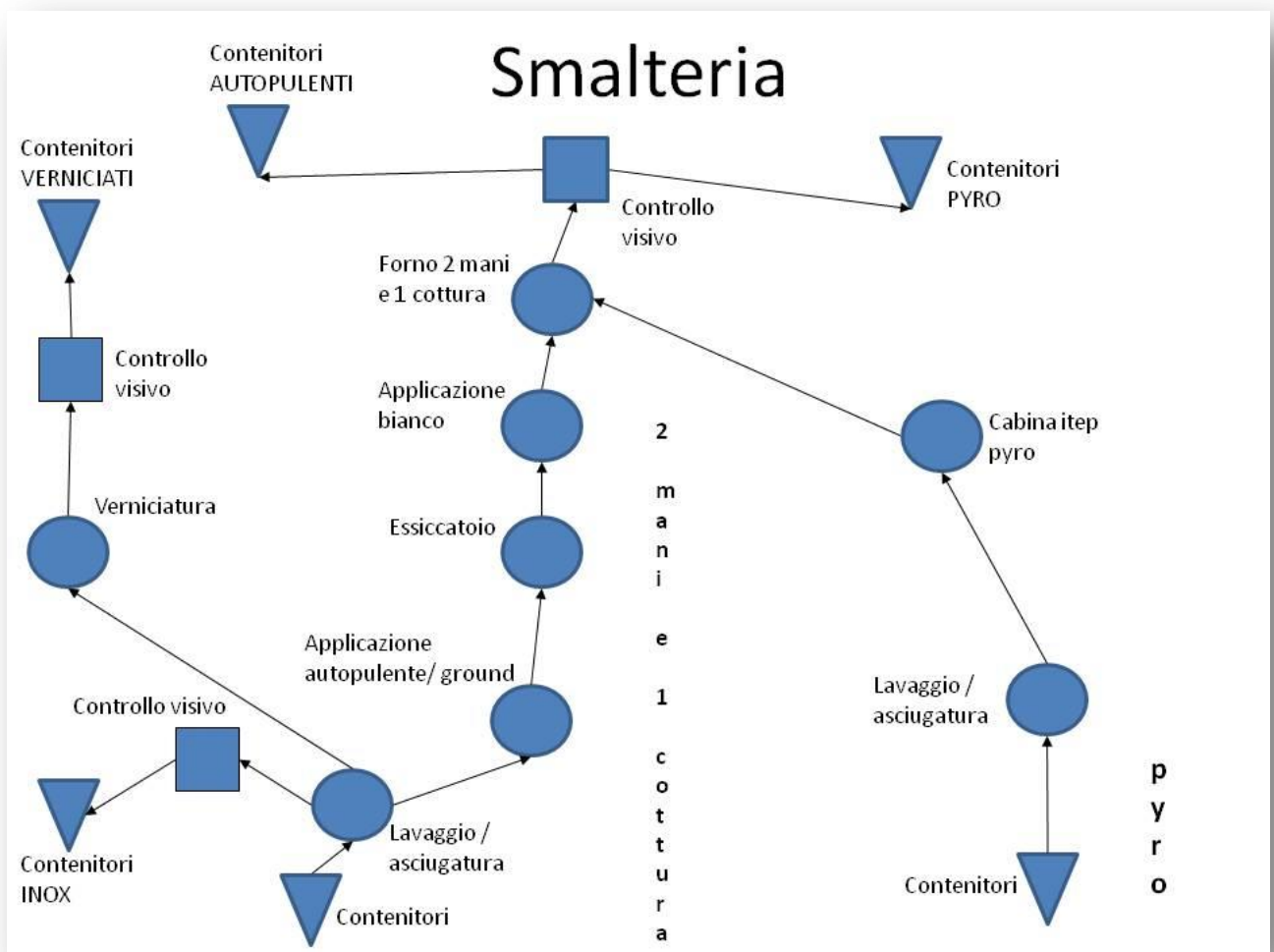


Figura 3.4 – Smalteria 2 mani ed una cottura, Pyro, verniciatura

I trattamenti “Pyro” e “2 mani ed 1 cottura” si differenziano rispetto al processo standard, descritto in figura 3.3, per la tipologia di polvere di smalto la quale garantirà delle caratteristiche supplementari sui pezzi prodotti e quindi anche sui forni finiti. Una volta che tutte le componenti sono state trattate dal reparto di stampaggio e successivamente di smalteria saranno pronte per andare in montaggio ed essere così assemblate sul prodotto finale. Le cavità saranno stoccate all’interno del Traslo, il magazzino automatizzato, pronte per esser estratte a batch di richiesta variabile rispetto al piano di produzione; una volta uscita dal magazzino, la cavità dovrà essere “vestita” con la lana di roccia isolante attraverso le stazioni di più robot. In seguito, avanzerà in una rulliera, che funge da polmone di accumulo, prima di arrivare direttamente sulle tre linee a tapparella ove avviene l’assemblaggio globale di tutti i componenti; una volta completato il montaggio i prodotti finiti dovranno subire il controllo estetico e funzionale così da esser validati e mandati attraverso una catena aerea all’imballaggio e successivo magazzino di spedizione. I prodotti finiti realizzati sulle linee di assemblaggio precedentemente descritti vengono definiti runner, cioè forni a grande richiesta e assimilabili tra loro; invece i prodotti di alta gamma (high end e Pyro), di brand diversi, vengono realizzati su linea dedicata, dal minor throughput, ma dalla grande flessibilità così da poter realizzare batch ancora più piccoli e differenti. In figura 3.5 è descritta l’area di assemblaggio forni.

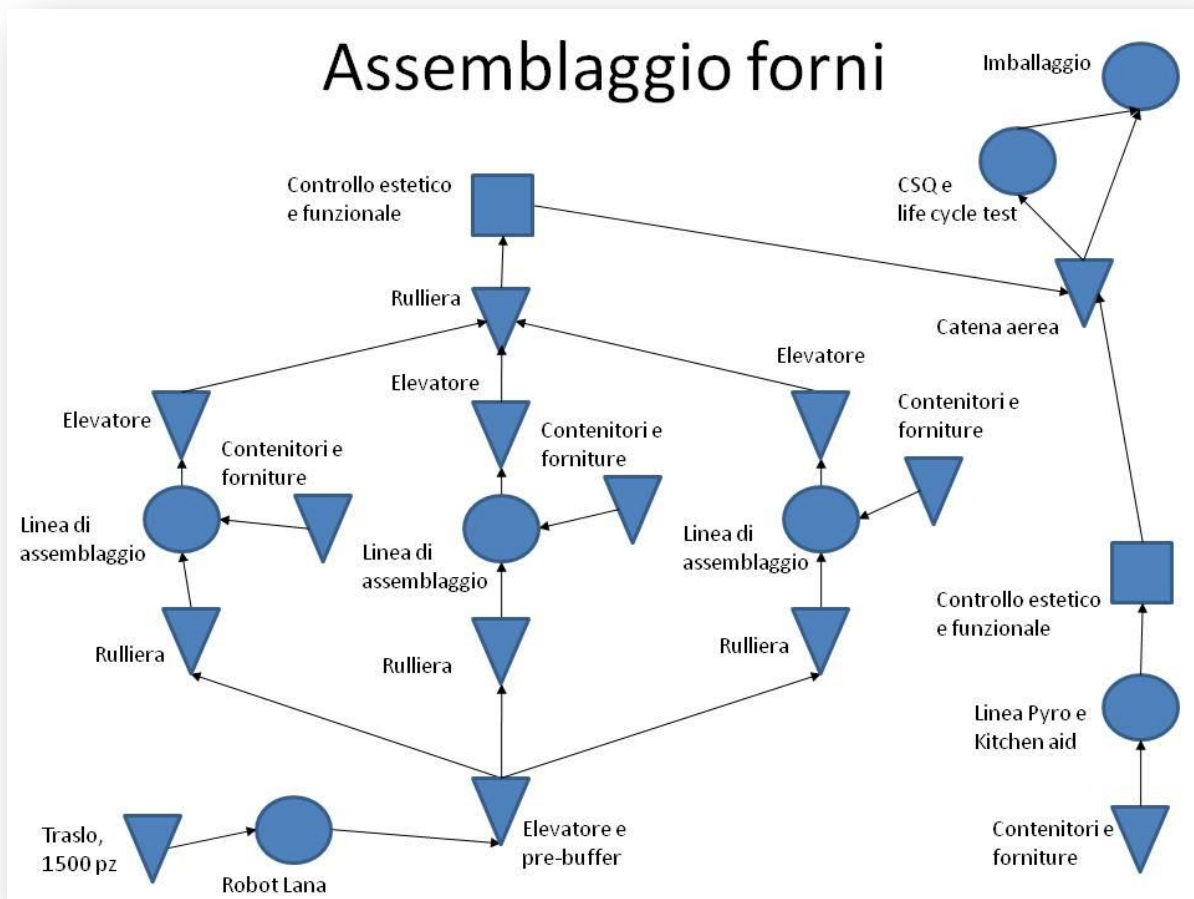


Figura 3.5 – Assemblaggio forni runner e high end

3.3.2. Fabbrica Piani cottura

Nella seconda fabbrica del Cooking, presente a Cassinetta, vengono assemblati i piani cottura di tecnologia a bruciatori di gas naturale, piani elettrici e ad induzione. In figura 3.6 è rappresentato schematicamente il sistema di produzione; è facilmente capibile come questo sia un esclusivo processo di assemblaggio dei prodotti. Le linee di montaggio sono otto:

- Linea 20 e 28, piani cottura elettrici in vetroceramica;
- Linea G7 e G8, piani cottura ad induzione;
- Linea G.O.G. (Gas On Glass), Thor, Aphrod e Domino, piani cottura a gas.

Per poter soddisfare le richieste provenienti dal mercato bisogna essere sempre più flessibili e rapidi nel rispondere ed è per questo che i turni lavorativi variano da linea a linea e, a volte, anche di settimana in settimana; gli operatori sono addestrati per potersi spostare ed interagire coi diversi prodotti, così da garantire la maggior adattabilità possibile.

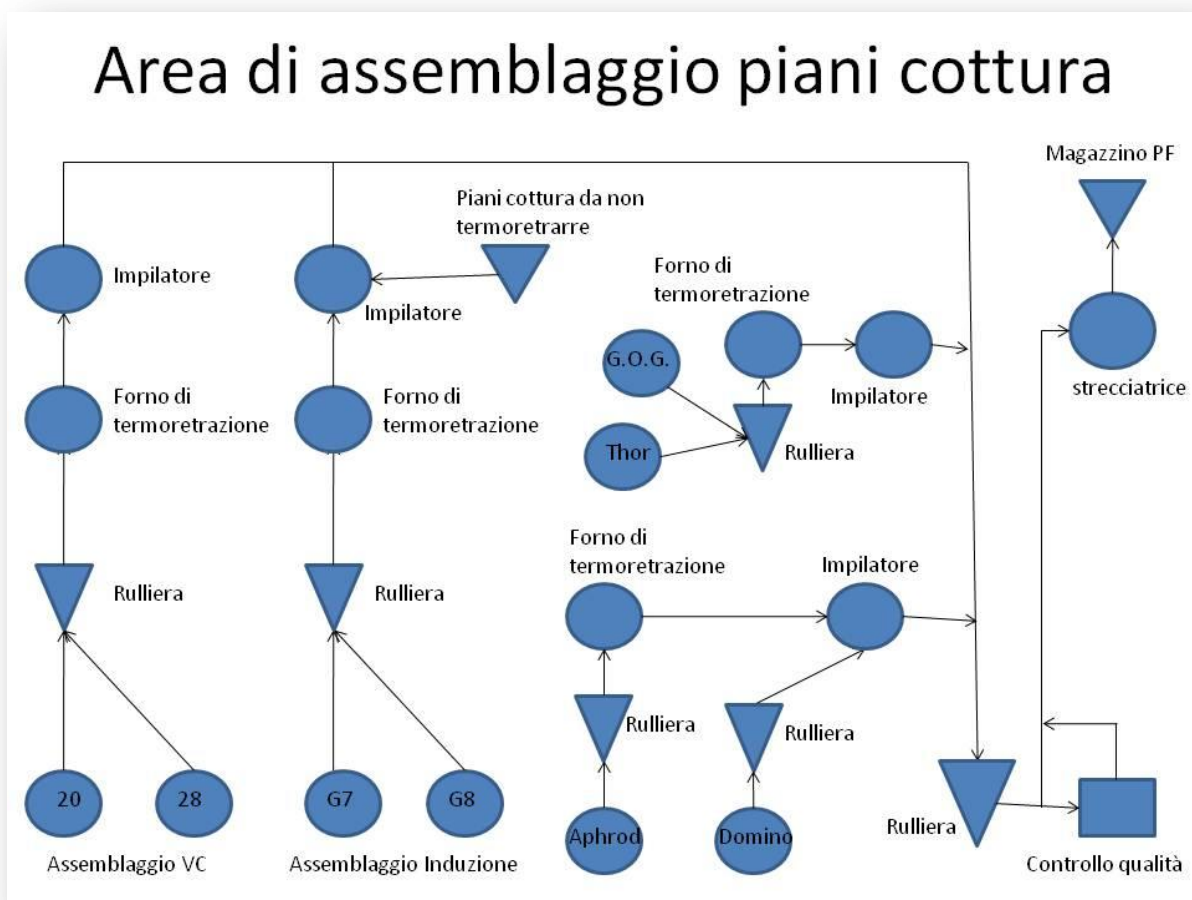


Figura 3.6 – Assemblaggio piani cottura

Per semplicità si descriverà un singolo processo e sarà replicabile, a meno di piccole variazioni, anche alle altre linee.

Il montaggio dei piani cottura vetroceramica su linea 20 è realizzato attraverso quattro/cinque postazioni manuali rifornite delle diverse componentistiche, attraverso dei contenitori; in house sono realizzati tutti i particolari di lamiera stampata (come presentato in figura 3.1), il resto della distinta base è acquistato presso fornitori.

Il prodotto finito, dopo esser stato assemblato, viene avvolto da un apposito film di plastica come imballo primario, il quale viene fatto aderire all'imballo attraverso la sua cottura in forni di termoretrazione; la produzione è gestita a batch così da poter impilare i prodotti uguali ed esser meglio trasportati, ottimizzando i costi logistici.

Una volta che i trenini sono stati impilati vengono trasportati attraverso rulliera al controllo qualità ma solo alcuni a campione subiscono i test necessari; in seguito verrà riportata l'ultima parte di packaging, cioè sarà avvolto con lo stretch di plastica finale.

I piani cottura così impilati ed imballati saranno caricati su catena aerea e trasportati al magazzino dei prodotti di spedizione. Il throughput finale è pari a circa 3800 pezzi al giorno.

3.4. Analisi del processo produttivo in ottica di efficienza energetica

Nel capitolo 3.3 sono state valutate qualitativamente le diverse tipologie di impianti installati per la produzione dei forni e piani cottura. Analizzando i processi in ottica di efficienza energetica è facile comprendere come la fabbrica forni sia una energy intensive industry, per via dei suoi processi primari (stampaggio e smalteria).

L'area dello stampaggio, data la quantità e la portata delle presse installate, ha un consumo di energia elettrica considerevole, più della metà del consumo globale di tutta la fabbrica.

Invece la smalteria, visti i forni ad alte temperature di cottura e le loro dimensioni, proporzionati alle produttività richieste, copre la quasi totalità del consumo di metano.

L'aria compressa è distribuita ad una pressione di 6 bar ed è utilizzata per lo più dalle linee di montaggio per via delle diverse movimentazioni, oltre ai numerosi robot presenti in linea.

L'acqua industriale viene impiegata in modo diretto o trattata attraverso un impianto di filtraggio e successiva demineralizzazione, così da renderla priva di fanghi ed alghe e poterne in seguito ridurre la conducibilità in microsiemens. Questo fluido è utilizzato principalmente per le vasche di lavaggio e decapaggio, oltre alle centraline di raffreddamento delle presse e di alcune movimentazioni.

Il consumo delle energie sopra riportato è direttamente collegato con la quantità di pezzi prodotti e quindi può esser assimilato a costo variabile di produzione; invece, il vapore, ha una componente variabile ed una

fissa. Il vapore saturo è utilizzato come veicolo di calore e viene trasportato ad una pressione di 10 bar, pari a circa 184 °C, a meno delle perdite di carico distribuite e localizzate, fino alle macchine di lavaggio e decapaggio di smalteria, oltre che esser utilizzato per l'impianto HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). La componente fissa è strettamente correlata all'utilizzo dell'impianto HVAC ovvero alle macchine ausiliarie di trattamento aria e quindi ai giorni di apertura della fabbrica.

I costi variabili delle energie influiscono per circa il 75% del totale, per i forni, invece la componente fissa e ineliminabile raggiunge il 25%, quindi la parte variabile ha un peso maggiore in questa realtà.

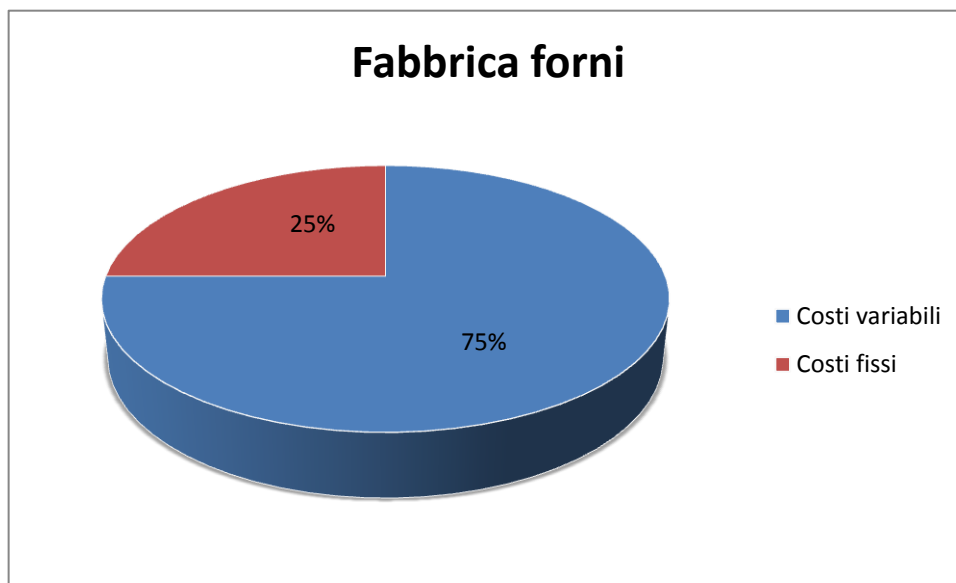


Figura 3.7 – Suddivisione costi energetici fabbrica forni

La componente energetica nel costo del prodotto assume un valore importante ed è dunque necessario intervenire in ogni modo per ridurre gli sprechi e quindi migliorare l'efficienza energetica di tutte le aree.

Progetti in atto rivolti al risparmio energetico sono numerosi e sono anche frutto dell'analisi svolta attraverso la metodologia illustrata nel secondo capitolo, tra cui:

- Revamping di forni di smalteria;
- Sostituzione dei motori delle presse con altri più efficienti o dotati di inverter;
- Automatizzazione accensione/spengimento impianto d'illuminazione;
- Auto regolazione impianto HVAC;
- Ricerca di perdite di aria compressa lungo le linee di montaggio.

Invece, per quanto riguarda la fabbrica dei piani cottura, le energie utilizzate sono solo:

- Energia elettrica, utilizzata per azionamenti vari ed impianto d'illuminazione;
- Aria compressa, utile alle movimentazioni presenti sulle linee di assemblaggio;
- Vapore saturo, utilizzato esclusivamente per il trattamento dell'aria.

In questo processo i costi variabili per le energie sono pari invece al 40% contro quelli fissi dati dal riscaldamento delle aree che contano circa il 60%; questa è quindi una fabbrica dal basso valore di intensità energetica.

Le attività in corso per ridurre il consumo energetico sono:

- Miglioramento dell'isolamento delle strutture e ricerca di ponti termici;
- Ricerca di perdite d'aria compressa e stacco dell'alimentazione della linea durante il weekend;
- Riorganizzazione delle aree produttive ed abbassamento delle temperature di riscaldamento in magazzino.

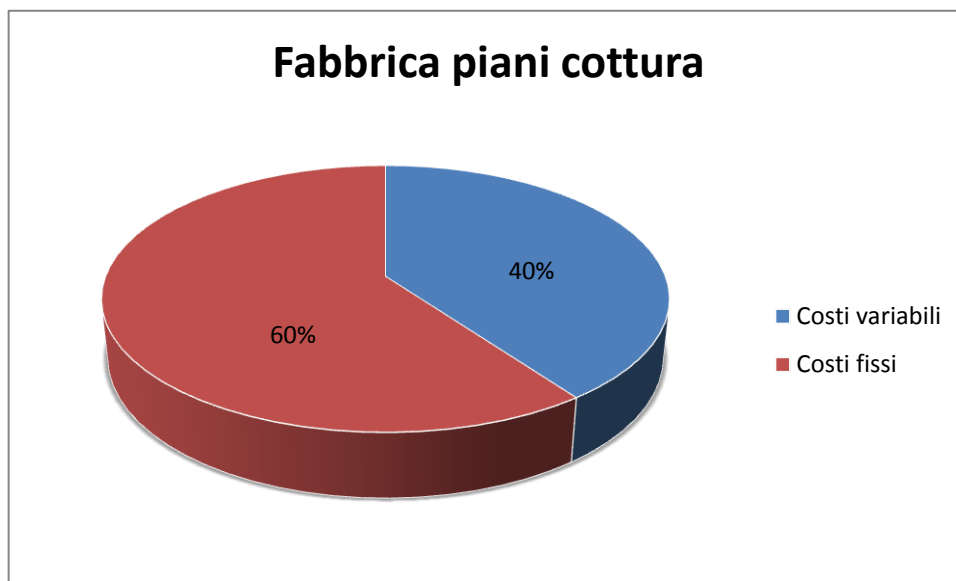


Figura 3.8 – Suddivisione costi energetici fabbrica piani cottura

3.5. Applicazione della metodologia di costruzione del sistema di misura

Il modello strutturato nel precedente capitolo 2 è stato applicato alla realtà in analisi.

In primis sono stati definiti i value stream e le relative utenze, che corrispondono a quanto già presentato nel paragrafo 3.3.

In seguito, attraverso una collaborazione con la fabbrica degli impianti generali, sono stati individuati i contatori di fabbrica ed elaborata la mappa delle utenze con i relativi consumi.

In molti casi è stato necessario eseguire delle letture dei consumi direttamente dai punti di ingresso dell'energia, per le diverse utenze, siccome non era presente una knowledge base solida; così facendo è stato possibile allineare le stime dei consumi e la mappatura delle utenze, ricostruendo attraverso delle stime le ripartizioni percentuali degli utilizzi e quindi anche i pesi dei diversi centro di costo.

L'analisi ha rintracciato dei consumi anomali registrati da alcuni contatori che sono stati in seguito sostituiti ed in alcuni casi sono stati richiesti dei nuovi, così da meglio scorporare le diverse utenze e monitorare in modo più puntuale l'efficienza di diversi impianti dall'alto utilizzo di energia, come il trattamento dell'aria.

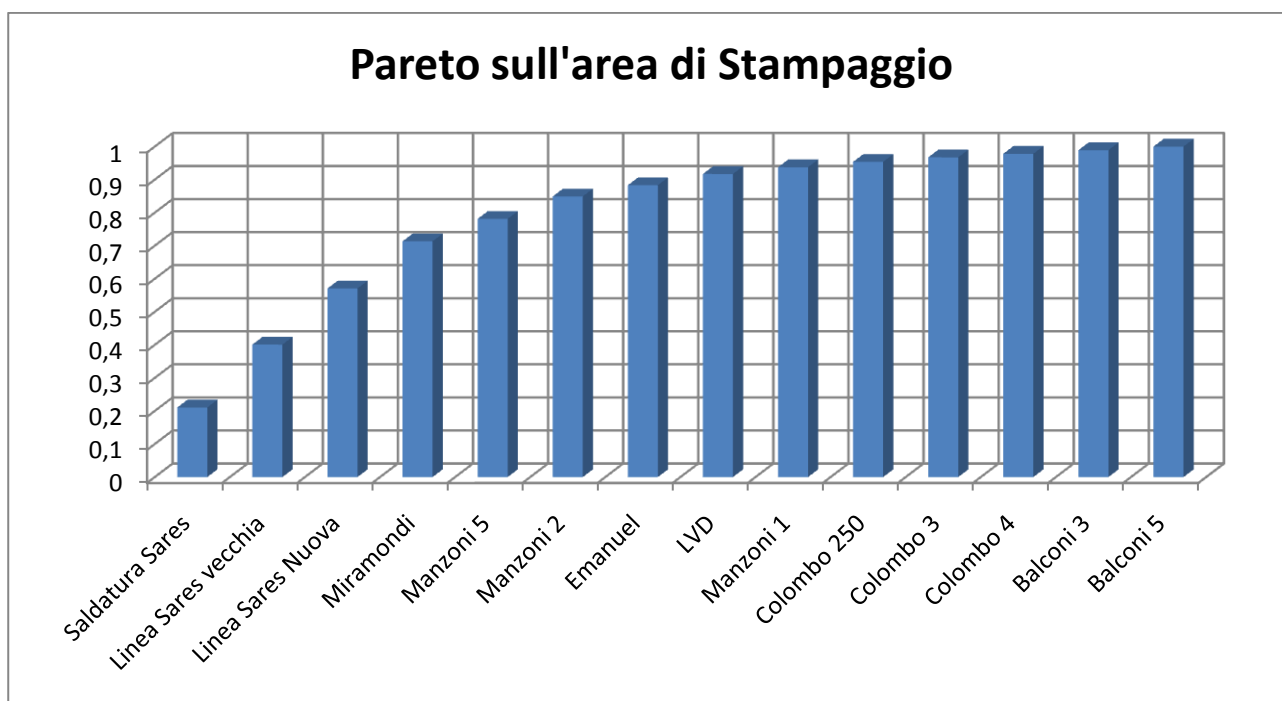


Figura 3.9 – Analisi di Pareto sui consumi del reparto Stampaggio

Attraverso questa analisi è stato anche possibile trovare le utenze più energivore, quindi che pesano di più sul totale della bolletta energetica; incrociando gli usi con i livelli di saturazione e produttività si è rintracciata un'utenza dall'alto consumo e allo stesso tempo dall'alta produttività e non completa saturazione. Il modello creato ha individuato la macchina di stampaggio "Manzoni 2" (gemella della "Manzoni 5") come candidata ideale siccome non è collo di bottiglia per la produzione e allo stesso tempo, avendo una potenzialità di 1000 tonnellate nominali, necessità di un'alta quantità di energia elettrica per poter operare, oltre a processare componenti per entrambe le fabbriche forni e piani cottura. La pressa sarà oggetto di analisi nel capitolo 4 attraverso uno studio approfondito e guidato dalla modellizzazione all'interno di un software di simulazione.

Non sono state prese in considerazione le linee di stampaggio, come le linee "Sares" e "Miramondi", siccome sono risorse critiche e dell'alto livello di saturazione operativa, oltre ad esser direttamente inserite all'interno del flusso produttivo; una modifica di politiche produttive su questi impianti implicherebbe ricadute a valle sulla smalteria.

3.6. Bibliografia

Gianni Spartà, 2002. *Mister Ignis - Giovanni Borghi nell'Italia del miracolo*. Mondadori

Whirlpool, 2008. *Vivi Cassinetta - Dicembre 2008*. Whirlpool

Whirlpool, 2009. *Vivi Cassinetta - Luglio 2009*. Whirlpool

Wikipedia, 2011. *Ignis*. Wikipedia.

Wikipedia, 2011. *Whirlpool Corporation*. Wikipedia

Capitolo 4

Modello della macchina in analisi

4.1. Introduzione

Nel presente capitolo si descriverà come è stato costruito e, quindi, utilizzato un modello di simulazione d'impianto, fatto con lo scopo di stimare diverse variabili di prestazione e analizzarne l'andamento in varie soluzioni sperimentate, cercando di evidenziarne le relazioni ed i *tradeoff*. Particolare attenzione è stata data all'efficienza energetica, per integrare questo aspetto nell'analisi dei *tradeoff*, al fine ultimo di garantire al decisore uno strumento di supporto più completo, capace di andare al di là delle "classiche" prestazioni di produttività (ad esempio, throughput, OEE).

Attraverso la tecnica della simulazione è possibile analizzare in modo più accurato il funzionamento nel tempo di un sistema produttivo e delle sue variabili prestazionali, riuscendo inoltre ad arrivare ad un grado maggiore di approssimazione rispetto al calcolo a valori medi e modelli analitici più complessi. Nel caso in esame, per le molteplici variabili in gioco, la scelta della simulazione appare opportuna, allo scopo di evitare semplificazioni modellistiche che sembrano non accettabili con un modello analitico.

Le simulazioni sono uno strumento di analisi potente, utilizzato in molti ambiti, da scientifici-sperimentali a tecnologici-produttivi. Una simulazione è la trasposizione in termini logici – matematici – procedurali di un "modello concettuale" della realtà. Questo cosiddetto "modello concettuale" può essere definito attraverso un insieme di processi/funzioni/attività che hanno luogo nel sistema reale ed il cui insieme permette di comprendere le logiche di funzionamento del sistema stesso; l'uso della simulazione è quindi diffuso nell'analisi dei diversi scenari del sistema produttivo, quanto più questi scenari implicano la misura ed analisi di molte variabili. In altri termini, acquisisce notevole importanza la simulazione del funzionamento dei processi produttivi/logistici, quando questi sono caratterizzati da numerose interrelazioni (tra i diversi processi) e comportamento stocastico dei parametri caratterizzanti (di ciascun processo).

I progettisti d'impianto possono avere interesse a valutare con anticipo l'effetto delle loro scelte sul sistema produttivo e su sue prestazioni (ad esempio: capacità di produzione, tempo di attraversamento, scorte, ...). L'interesse di questa tesi è, invece, più di natura gestionale concentrandosi su decisioni di *operations management*, e mettendo in gioco nel problema decisionale anche l'aspetto energetico.

4.2. Le variabili di prestazione

Il comportamento della macchina in analisi nella tesi può essere sintetizzato attraverso un modello analitico che spiega l'andamento dei KPI nel tempo rispetto alle diverse politiche di produzione scelte.

Data la natura analitica, il modello non potrà tener conto della totale complessità e variabilità del processo produttivo. L'utilizzo di questo modello, nel lavoro di tesi, è pertinente alla validazione del modello di simulazione, soprattutto per politiche più statiche (i.e. non dipendenti dalla dinamica nel tempo) e, quindi, più facilmente sintetizzabili in una struttura matematica semplice. Il modello analitico è presentato brevemente nel par. 4.6.1, con obiettivi di validazione del modello di simulazione.

I KPI che si è deciso di elaborare (per via analitica e simulativa) sono principalmente due:

- EEM (Energy Efficiency Management),
- OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Usando questi indicatori si può avere una misura della produttività delle ore di lavoro e dell'energia consumata. In tal senso si potrà alla fine anche conoscere, volendolo, il valore del costo delle risorse impiegate (i.e. in particolare la risorsa energia) sul costo industriale di produzione. Attraverso le funzioni di seguito presentate, si può stimare il loro valore al variare delle diverse variabili di stato in ingresso. I modelli analitici e di simulazione permetteranno di stimare dette variabili di stato.

$$EEM \text{ (Energy Efficiency Management)} = \frac{Energy_{working}}{Energy_{tot}}$$

L'indice EEM è composto da:

- numeratore: energia consumata direttamente nelle lavorazioni (durante lo stato *working*);
- denominatore: energia totale impiegata per il funzionamento della macchina (compreso i diversi stati a non valore aggiunto, i.e. *setup*, *idle*, *switch on* e *activation*).

$$Energy_{working} = \sum_i Energy_{working_{product_i}} * N^{\circ} product_i$$

$$Energy_{tot} = (Energy_{idle} + Energy_{setup} + Energy_{working} + Energy_{switch_{on}} + Energy_{activation})$$

L'energia consumata dalla macchina è scomponibile nei diversi stati di funzionamento della macchina:

$$Energy_{idle} = T_{idle} * Power_{idle}$$

$$Energy_{setup} = N^{\circ} setup * Consumption_{setup}$$

$$Energy_{switch_{on}} = N^{\circ} switch_{on} * Consumption_{switch_{on}}$$

$$Energy_{activation} = N^{\circ} activation * Consumption_{activation}$$

$$OEE \text{ (Overall Equipment Effectiveness)} = \left(\frac{Time_{work}}{Time_{tot}} \right) * Quality$$

L'indice OEE è composto da:

- numeratore: tempo necessario per la lavorazione, in qualità
- denominatore: tempo totale per il funzionamento della macchina

$$Time_{work} = \sum_i Time\ for\ production_i * N^{\circ}\ product_i$$

$$Time_{tot} = Time\ of\ simulation$$

$$Quality = 99,9\%$$

Nell'indice OEE sopraindicato è stata volutamente omessa la componente legata ai guasti; inoltre, si è assunto di poter estrapolare, nel sistema informativo aziendale, il parametro di qualità del processo nella macchina in analisi; infine, altre perdite come le micro fermate sono direttamente tenute in considerazione nel computo del *time for production* effettivamente speso da un prodotto. I tempi di idle, che nella formula classica dell'OEE vengono sottratti dal tempo complessivo (i.e. nel nostro caso dal *time of simulation*), sono stati omessi per via della struttura del modello che li ha resi non significativi, come verrà meglio esplicitato in seguito nel par. 4.6.2.

4.3. Modello di simulazione

4.3.1. Software di simulazione

Il modello è stato realizzato attraverso il software "AnyLogic" creato da "XJ Technologies".

Questo strumento permette di creare modelli di simulazione - prototipi virtuali - di sistemi durante le fasi di studio, progettazione o sviluppo; è così possibile esplorare aspetti e dettagli della progettazione o della implementazione di detti sistemi in modo semplice e privo di qualsiasi rischio.

AnyLogic utilizza un linguaggio di modellazione grafico e permette agli utenti di estendere la simulazione di modelli realizzati con codice Java. I modelli creati possono essere basati su uno qualsiasi dei paradigmi di modellazione simulazione principali: eventi discreti o process-centric (DE), la system dynamics (SD), e la simulazione agent-based (AB).

La simulazione ad eventi discreti è basata sul cambiamento di stato del sistema ad istanti di tempo discreto e gli eventi rappresentano gli istanti temporali in cui ha luogo l'inizio o il termine di una o più attività; gli eventi possono essere interni o esterni al sistema. Questi sistemi sono caratterizzati da uno spazio di stato discreto e non necessariamente numerico, ed il loro comportamento dinamico è guidato dall'occorrenza di

eventi anch'essi discreti che, verificandosi con andamento stocastico, determinano istantanei cambiamenti di stato. Le attività delimitate dagli eventi sono tipicamente concorrenti e richiedono, perciò, strategie di sincronizzazione e controllo dei processi in corso; esempi di utilizzo di questa tecnica si ritrovano nelle simulazioni di processi produttivi, nelle reti di elaboratori elettronici, di trasporto, di comunicazioni.

La simulazione ad eventi discreti e anche quella di system dynamics sono approcci più tradizionali, invece è di nuova concezione la programmazione dei modelli basati di simulazione su agenti.

La simulazione ad agenti era, fino a poco tempo fa, dedicata quasi esclusivamente ad argomenti puramente accademici. Tuttavia, la crescente domanda per l'ottimizzazione dei processi di business ha portato la necessità di analizzare con approcci combinati e di acquisire una più profonda comprensione dei processi complessi ed interdipendenti, anche con natura molto diversa.

La modellazione basati su agenti si è quindi dimostrata una opzione percorribile interessante, e viene utilizzata in tutti i livelli di astrazione. L'agente può modellare oggetti di natura molto diversa e scala: dal comportamento di pedoni, automobili o robot, passando per un livello intermedio (come la propensione dei clienti) fino ai livelli più alti di astrazione (come le strategie di business delle imprese concorrenti).

AnyLogic consente all'analista di combinare questi approcci di simulazione all'interno dello stesso modello; non esiste una gerarchia di modellistica prestabilita.

L'approccio agent based è direttamente applicabile a una vasta gamma di problemi di progettazione, anche molto complessi, che possono essere modellati tramite qualsiasi strategia all'interno di un solo modello. Il linguaggio di simulazione AnyLogic è composto da i seguenti elementi:

- Stock and Flow Diagrams: utilizzati per la modellazione dinamica del sistema (system dynamics).
- Statecharts: usati per lo più nella modellazione agente, per definire il comportamento dell'agente. Sono anche spesso utilizzati nei modelli di eventi discreti, ad esempio per simulare lo state chart per guasto ad una macchina.
- Action charts: utilizzati per definire algoritmi.
- Process flowcharts: per definire il modello dei processi ad eventi discreti.

Il linguaggio comprende anche costrutti a basso livello di modellazione (es., variabili, equazioni, parametri, eventi, ecc), forme di presentazione (linee, polilinee, ovali, ecc), strumenti di analisi (set di dati, istogrammi, diagrammi,...), strumenti di connettività (...), immagini standard, ecc..

4.3.2. Modello logico

Il modello utilizzato per l'analisi di simulazione vuole spiegare l'andamento dei flussi e delle prestazioni all'interno del ciclo produttivo dei "Piani cottura", forni "Minerva" e forni "Stromboli"; queste sono le tre famiglie principali prodotte all'interno delle fabbriche del Cooking di Cassinetta. I nomi sono stati presi dai prodotti reali, tuttavia i tempi di stampaggio, assemblaggio, volumi produttivi e numeri di turni lavorativi non rappresentano la realtà dello stabilimento produttivo ma sono comunque realistici.

Di seguito verranno descritte le parti che compongono il sistema modellato.

4.3.2.1. La "Manzoni 2"

Il cuore dell'analisi è la macchina utensile di stampaggio "Manzoni 2" da 1000 tonnellate, la quale realizza parte dei laminati che servono per le fasi di montaggio dei prodotti prima elencati; questa è una pressa progressiva che permette, attraverso una serie di passaggi (tre o quattro), di poter realizzare prodotti finiti partendo direttamente dalla lamiera d'acciaio.

Su questa pressa sono stati rilevati i valori di consumo di energia elettrica per le diverse fasi:

- Switch_on
- Activation
- Stand_by
- Idle
- Working (fast or slow)
- Setup

Il consumo energetico è stato rilevato direttamente dal quadro elettrico della macchina così da comprendere tutte le diverse utenze ed asservimenti che entrano in funzione insieme con e per la pressa.

All'interno del software di simulazione si è modellata la transizione tra i diversi stati e diversi consumi, così da poter ricavare dati utili allo studio dell'efficienza energetica della macchina utensile.

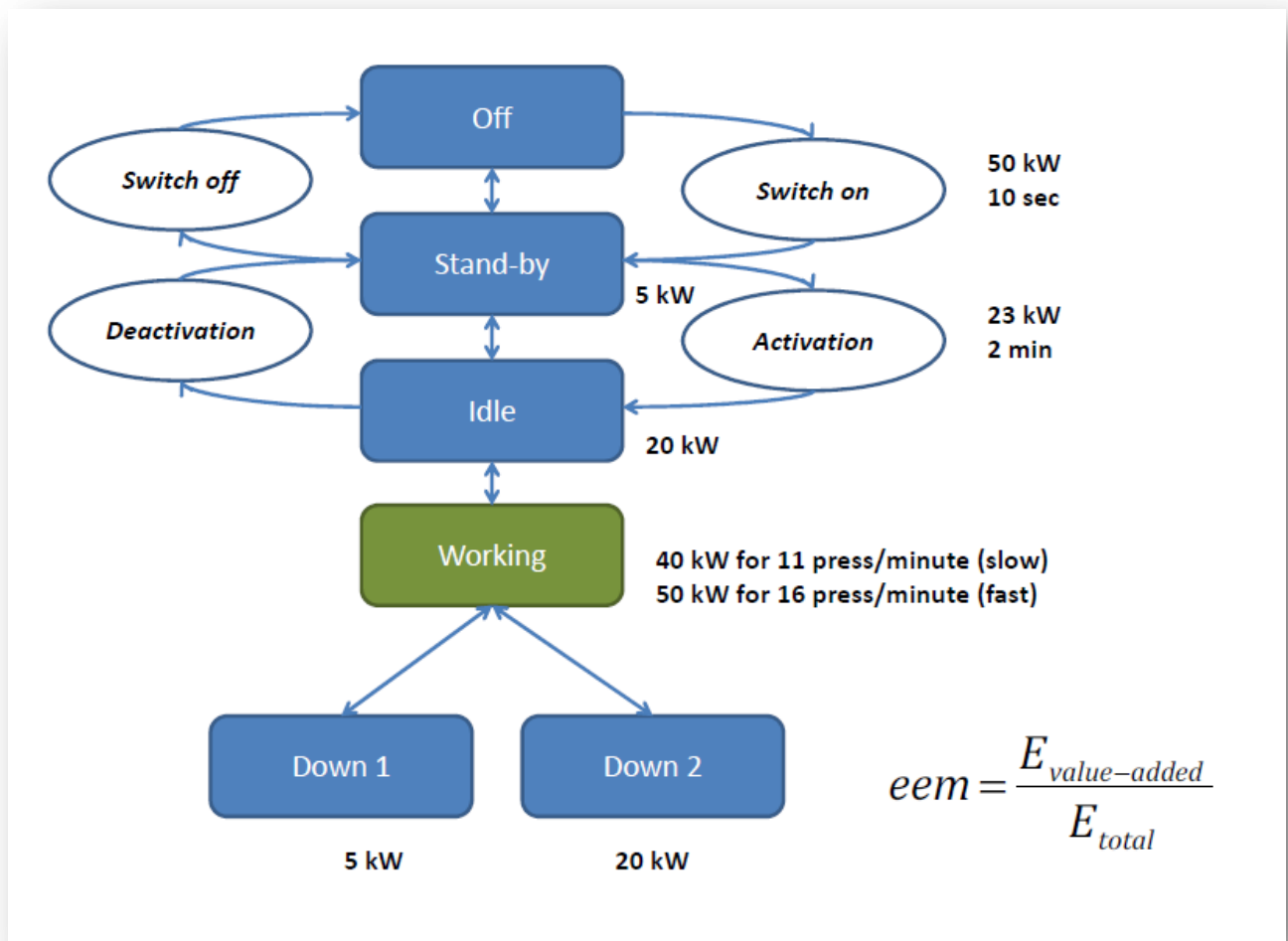


Figura 4.1 – Stati della macchina con relative potenze e tempi

In figura 4.1 sono mostrati i passaggi di stato con le relative potenze e tempi³. Lo stato di working può essere modulato rispetto a due diverse regolazioni delle frequenze di discesa degli stampi, così come relative diverse potenze in gioco.

Attraverso una valutazione a valori medi sarebbe già possibile definire il consumo medio a pezzo ma, attraverso la simulazione, è possibile includere anche la variabilità nei tempi di lavorazione data da piccole inefficienze locali.

L'indice EEM, Energy Efficiency (of) Management, è utilizzato per identificare la percentuale di consumi attribuibili in modo diretto alla fase di produzione, rispetto ai consumi finali. Per la sua struttura, si può affermare che questo indice è un corrispettivo, per l'aspetto energetico, dell'indice OEE (Overall Equipment Effectiveness), usato per l'aspetto produttività di macchina. Per dettagli, si rimanda alla struttura matematica dell'indice già presentata al par. 4.2.

In seguito, sono stati inseriti i diversi tempi di processamento dei tre prodotti.

³ Lo stato di deactivation è considerato a costo nullo

4.3.2.2. Le linee di montaggio

A valle della pressa sono state modellate le linee di montaggio dei prodotti presi in considerazione; ogni linea è dedicata per una famiglia di prodotti diversi.

Si è ipotizzato che la fabbrica in analisi abbia una capacità produttiva pari a 3800 “Piani cottura”, 1000 “Forni Minerva” e 800 “Forni Stromboli” in un tempo pari a 2 turni lavorativi, corrispondenti a 870 minuti.

4.3.2.3. I magazzini interoperazionali del sistema

A valle e a monte della “Manzoni” sono stati inseriti dei magazzini interoperazionali, buffer che servono per disaccoppiare la macchina dal sistema e studiarne così il suo comportamento.

La pressa riceve in ingresso dal magazzino di ricevimento il materiale sotto forma di coil di acciaio (con diverse designazioni e composizioni) che verrà lavorato e trasformato in wip prodotto. Il caricamento del coil avviene attraverso uno srotolatore automatico che fornisce nastro in continuo alla macchina.

Nel modello il coil caricato sullo srotolatore viene modellizzato attraverso il buffer a monte della pressa, chiamato “buffer_wip_in”.

A valle della “Manzoni” i wip vengono immagazzinati in contenitori; nel modello si rappresentano le tre diverse famiglie di prodotti con wip dedicati, essendo prodotti dalle caratteristiche, dimensioni, volumi produttivi e tempi di processamento diversi. Questi semilavorati vengono rappresentati sul modello come i tre diversi buffer che precedono le linee di montaggio e sono stati identificati, pertanto, come: “Buffer_piani”, “Buffer_minerva” e “Buffer_stromboli”.

Il dimensionamento di questi buffer, siccome determina il numero massimo di componenti immagazzinabili e quindi la lunghezza dell’attesa prima del task produttivo, crea un vincolo nella gestione della produzione e nello scheduling operativo. Una produzione tipicamente guidata da approcci di *lean production*, e quindi da una gestione a flusso snella, richiede buffer di minor capacità. Invece, una produzione con basso numero di setup implica una grande capacità di immagazzinamento. I buffer sono quindi definiti con determinate caratteristiche di capacità, consistente con le strategie di operations scelte.

4.3.2.4. I prodotti analizzati

La famiglia dei “Piani cottura” rappresenta i prodotti “piano cottura da cucina da incasso”.

I piani cottura possono essere suddivisi principalmente secondo la tecnologia impiegata per fornire calore alle pietanze da cuocere:

- Fiamma a gas naturale
- Resistenze elettriche
- Induzione

La gamma prodotti realizzata in questi stabilimento è molto ampia e, quindi, anche le linee di assemblaggio sono state realizzate col focus sulla flessibilità, senza però rinunciare alle alte capacità produttive che uno stabilimento di questa entità deve garantire. Oltre ai principi fisici sfruttati per trasportare calore al cibo, i piani cottura si differenziano per:

- Dimensioni
- Numero e potenze dei fuochi
- Modularità
- Trattamenti superficiali o smaltatura

Per poter modellare questo prodotto si è creato un così detto “pezzo standard”, con valori medi di stampaggio ed assemblaggio. La macchina “Manzoni” realizza il piano d’acciaio ove vengono montati i componenti necessari alla realizzazione del prodotto finito “Piano cottura”.

Invece, per quanto riguarda i forni, questi si differenziano per anzianità: la famiglia “Stromboli” è quella che da lungo tempo è realizzata in questi stabilimenti e che ha fatto la storia di Cassinetta. I volumi produttivi di questo prodotto sono in continuo ed inesorabile calo, destinati a morire, per via dell’ingresso crescente e sempre più marcato della famiglia “Minerva”.

L’introduzione dei nuovi forni ha portato anche all’ingresso di impianti tecnologicamente evoluti (es.: linea di stampaggio e montaggio completamente automatizzato, lavaggio ad ultrasuoni delle cavità, ecc..) ed una nuova metodologia di progettazione, la quale rappresenta la massima espressione, allo stato dell’arte, di flessibilità e modularità, tipica di una distinta base a clessidra. La gamma prodotti dei forni sta subendo una continua evoluzione e trasformazione dai vecchi prodotti “Stromboli” ai nuovi modelli basati sulla più innovativa famiglia.

Nel modello è stato inserito, per ogni tipo di prodotto, un pezzo standard con valori medi di stampaggio ed assemblaggio; i forni di ultima generazione (“Minerva”) garantiscono tempi minori di processamento. La macchina “Manzoni” realizza alcuni particolari per queste famiglie.

4.3.2.5. Il caricamento dei materiali

All'inizio della simulazione, cioè all'istante $t=0$, vengono caricati i buffer di sistema, così da ricreare una situazione ciclica, cioè di avanzamento del lavoro partendo dal ciclo di lavoro del giorno precedente. Così facendo, andando ad eliminare i tempi morti di transitorio si può partire da una situazione di regime e, perciò, si riesce a valutare il sistema durante il suo normale utilizzo. Alla partenza della simulazione si andrà a caricare i buffer precedenti alle linee di montaggio; il numero di pezzi al termine simulazione sarà uguale al numero di pezzi presenti all'inizio, così da garantire l'assunzione di ciclicità nella produzione day by day.

Così, come vedremo in seguito, lo scheduling di ogni politica di produzione testata andrà ad influenzare il numero di pezzi contenuti nel buffer ad inizio simulazione, siccome si dovrà anche evitare che le linee vadano in starvation. Col termine starvation si intende l'impossibilità, da parte di un processo pronto all'esecuzione, di ottenere i materiali di cui necessita per lavorare. Il numero di pezzi inseriti nel buffer sarà dimensionato in modo tale da evitare la situazione in cui le linee, non ricevendo materiale, non possono lavorare, ciò che creerebbe una forte inefficienza produttiva.

Oltre a soddisfare il consumo da parte delle linee produttive, infine, il numero di pezzi iniziale messi a buffer deve garantire anche la copertura per un eventuale guasto alla macchina, ciò che manderebbe in starvation le linee, nel caso di una gestione della produzione tipica della lean production, quindi a flusso continuo.

Si è deciso di mantenere una copertura operativa di almeno 45 minuti, con una finestra di range min-max pari a 5 minuti; attraverso i valori medi dei ritmi di consumo delle linee, si sono infatti ottenuti il numero di pezzi che dovranno essere presenti nei buffer. I dati ricavati sono mostrati in tabella 4.1.

	Throughput	40 minuti	45 minuti	50 minuti
<i>u.d.m.</i>	pz/minuti	pz	Pz	Pz
<i>Piani</i>	0,22	182	205	227
<i>Minerva</i>	0,86	47	52	58
<i>Stromboli</i>	1,075	37	42	47

Tabella 4.1 – Numero minimo di pezzi presenti nei buffer pre linee di montaggio

4.3.2.6. Il modello dati dei tempi delle operazioni

La variabilità dei processi produttivi, tipici nella realtà, è stata implementata attraverso delle distribuzioni triangolari con asimmetria a sinistra, come mostrato in figura 4.2.

In teoria delle probabilità la distribuzione triangolare è una distribuzione continua la cui funzione di densità descrive un triangolo, ovvero: è nulla sui due valori estremi (min max) ed è lineare tra questi ed ha un valore intermedio, chiamato moda.

Nella pratica è tipico stabilire un valore più frequente di processamento (la moda) anche se, per affinamento della lavorazione e/o aumento dell'esperienza da parte degli operatori, è possibile che il tempo effettivo risulti inferiore. L'asimmetria a sinistra serve per modellizzare anche quelle che sono le micro-fermate ed inefficienze produttive che portano a tempi più lunghi, e code a destra, per lo svolgimento dell'operazione.

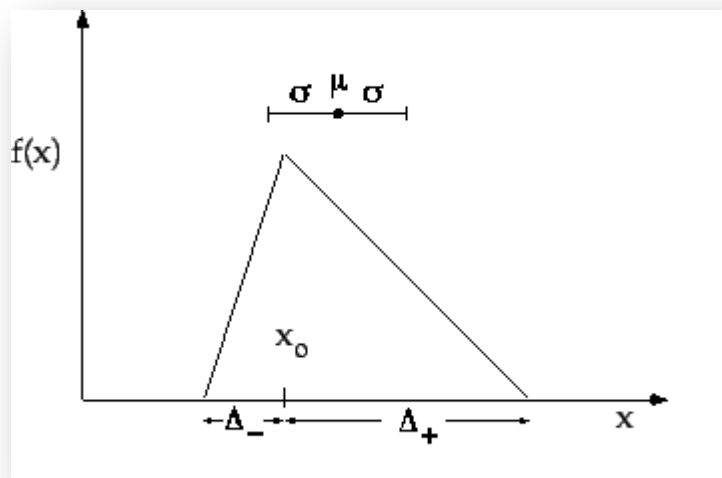


Figura 4.2 – Distribuzione asimmetrica a sinistra

4.3.3. Modello nel software

Il sistema di produzione è stato riprodotto all'interno del modello di simulazione, con le macro componenti sopra elencate nel modello logico. Nella figura 4.3 si può apprezzare quanto realizzato in Any Logic.

Oltre alle macro componenti del modello, possiamo descrivere altre parti non meno importanti del modello, soprattutto per quanto concerne la parte d'implementazione ed analisi:

- I diversi oggetti ("Source", "SelectOutput", "Plain Variable", "Statistics")
- I diversi oggetti grafici ("Bar Chart", "Time Plot", "Pie Chart")

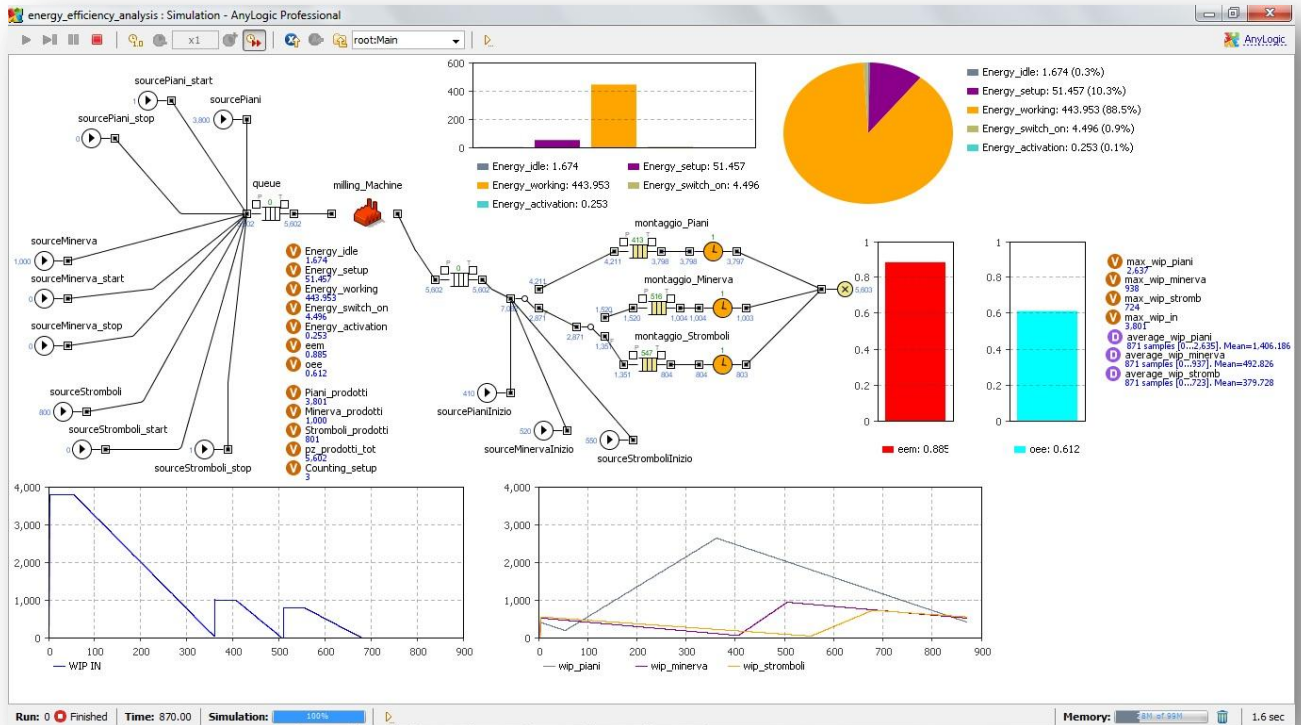


Figura 4.3 – Modello all’interno del simulatore

Come anticipato nell’introduzione, il software “AnyLogic” si basa sul linguaggio di programmazione “Java”. Questo linguaggio è basato su una logica ad oggetti; gli oggetti sopra riportati sono quindi stati utilizzati per la realizzazione del modello.

L’oggetto “Source” serve per creare le entità che entrano nel sistema, le quali, vengono create al tempo ed in numero stabilito attraverso una tabella di caricamento del materiale (*alias* piano di caricamento). Sono stati definiti tre tipi diversi di source, come diverse saranno le entità da creare: start, stop, pezzi da lavorare. I pezzi creati attraverso il primo di questi source sono entità “virtuali” per attivare la macchina (i.e. sono quindi dei comandi), cioè far passare la “Manzoni” da uno stato di off allo stato di on. Invece, per corrispettivo, il source di tipo stop serve per avviare lo spegnimento (altro comando). L’ultimo tipo di source serve effettivamente per comandare il caricamento dei pezzi da dover lavorare; questo source, quindi, è ciò che realmente simula l’ingresso dei prodotti nel sistema produttivo.

Ognuno di questi tipi di source passa all’entità anche il tipo di famiglia che deve rappresentare, quindi se rappresenta un “Piani cottura” o “Forni Minerva” o “Forni Stromboli”.

In figura 4.4 è possibile vedere quanto appena spiegato; in questo caso sono i tre tipi diversi di “source” per la famiglia dei “Piani cottura”. Il numero di colore blu, a sinistra dell’oggetto, indica il numero di entità create sino al momento dello screenshot.

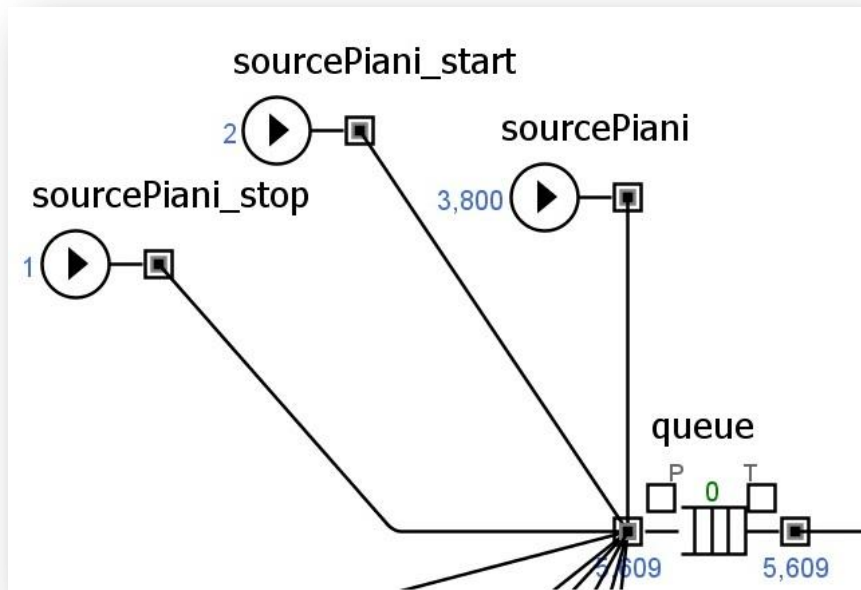


Figura 4.4 – Diverse tipologie di “Source”

Quanto si può osservare nella figura sopra è stato duplicato anche per le altre famiglie. Invece, per poter inizializzare la quantità corretta di pezzi all’interno dei buffer prima delle linee di montaggio (cfr. concetti già espressi per quanto riguarda il caricamento materiali secondo un ciclo di funzionamento d’impianto, par. 4.3.2.5), sono stati inseriti solo dei source di creazione pezzi per le diverse tipologie di prodotti, identificati con la dicitura di “inizio”, come mostrato in figura 4.5. Questo source servono solo per creare le condizioni iniziali volute.

Nella figura 4.5 è possibile osservare il segmento del flusso produttivo dedicato ai montaggi dei prodotti. Prima di ogni linea è possibile osservare i magazzini (buffer) pre-linee in cui vengono scaricati i wip uscenti dalla macchina Manzoni.

Sono state create tre diverse linee di montaggio, ognuna dedicata ad una famiglia, siccome si hanno buffer dedicati ed i tempi di lavorazione sono diversi per ogni tipologia. L’indirizzamento sulle linee è gestito attraverso l’oggetto “SelectOutput” il quale, in base al parametro identificativo dell’entità, invia nella corretta linea il prodotto.

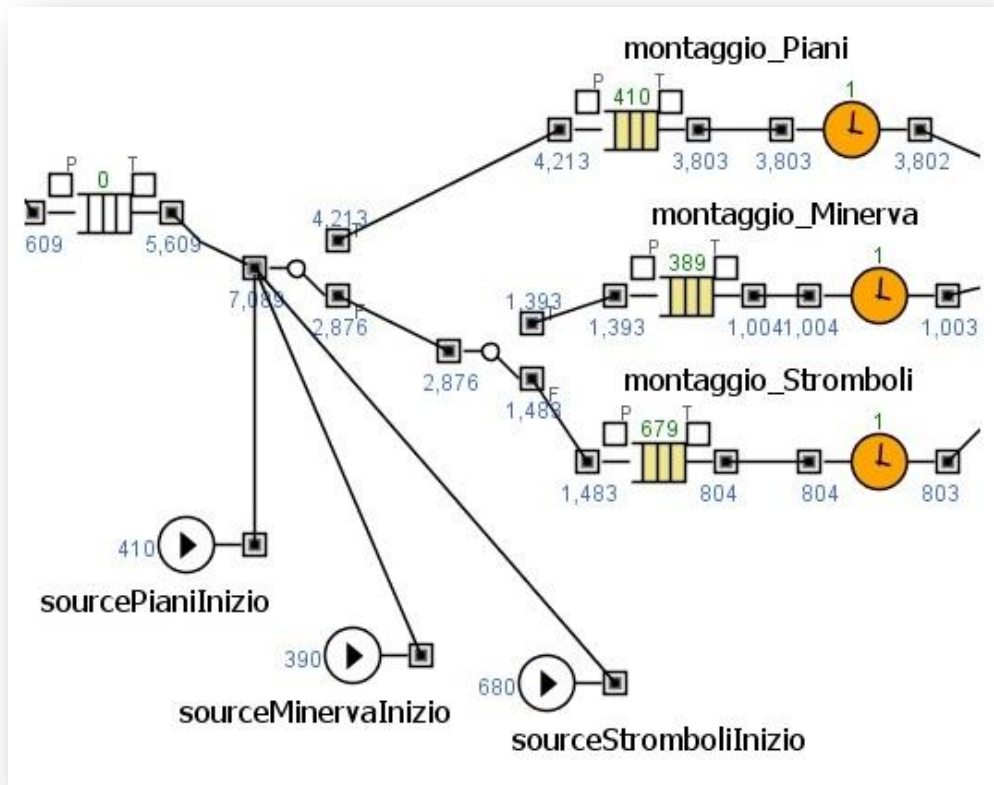


Figura 4.5 – “Source” per caricamento wip all’inizio della simulazione

Un altro oggetto utilizzato, fondamentale per l’analisi finale, è “Plain Variable” il quale mostra il risultato di una funzione o di un’espressione matematica e viene aggiornato in tempo reale durante la simulazione. Come è possibile vedere in figura 4.6, sono state utilizzate diverse variabili, alcune direttamente visibili ed altre invisibili, cioè che possono o no essere mostrate nell’interfaccia utente d’animazione dell’esecuzione della simulazione. Le variabili visibili all’utente sono quelle che hanno un significato ai fini della risoluzione e dell’analisi dei *tradeoff* oggetto di studio nel sistema produttivo.



Figura 4.6 – Variabili di processo

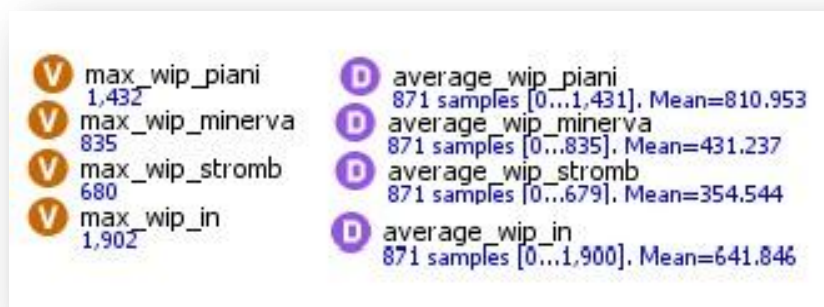


Figura 4.7 – Variabili di analisi dei buffer

In figura 4.7 sono mostrate le variabili che interessano l'andamento del valore massimo dei buffer, valore di ritorno da una specifica funzione; invece, le medie del numero di pezzi contenuti nei buffer, sono realizzate attraverso l'oggetto "Statistics". Il valore, ritornato da questi oggetti, è calcolato attraverso l'estrapolazione delle statistiche dei buffer precedenti alle linee di montaggio, dopo apposita abilitazione.

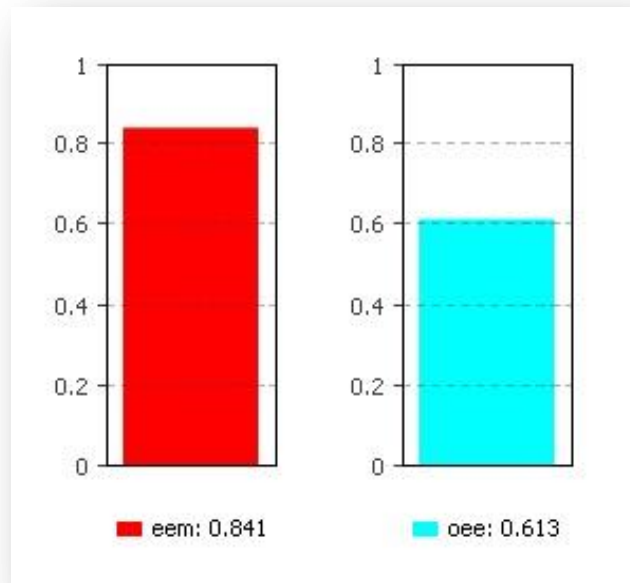


Figura 4.8 – Grafici a barre degli indici EEM ed OEE

La figura 4.8 mostra i due grafici a barre “bar chart” introdotti per visualizzare il valore degli indici EEM ed OEE. Questi grafici, durante l’esecuzione della simulazione, variano in modo continuo rispetto all’andamento della produzione nella macchina “Manzoni”.

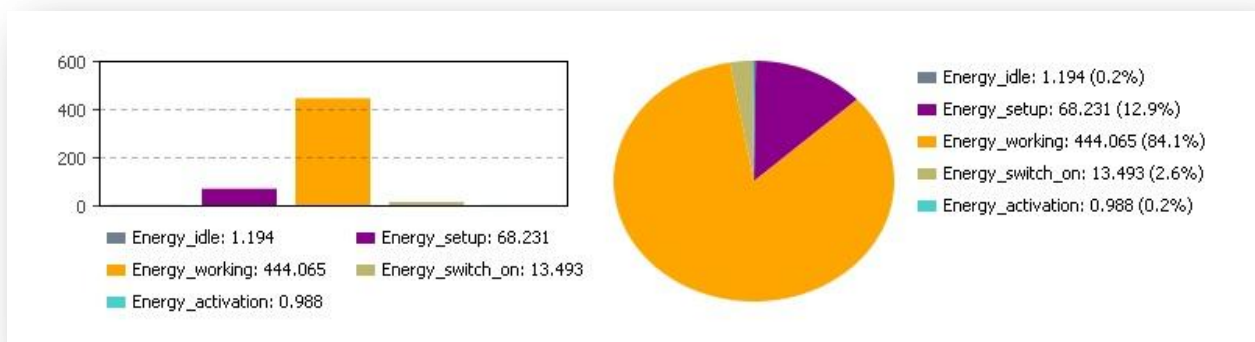


Figura 4.9 – Grafico a torta ed istogramma della ripartizione dei consumi

L’analisi e la ripartizione dei consumi viene mostrata attraverso un grafico a torta “pie chart” ed un istogramma; attraverso queste rappresentazioni grafiche si riesce ad analizzare la suddivisione dei consumi dei diversi stati della macchina Manzoni.

Per poter seguire l'andamento del numero di pezzi nei buffer è stato necessario creare due appositi grafici detti Time plot. Questa tipologia di grafico permette di visualizzare il tracciato temporale e poter così valutare graficamente il comportamento del sistema.

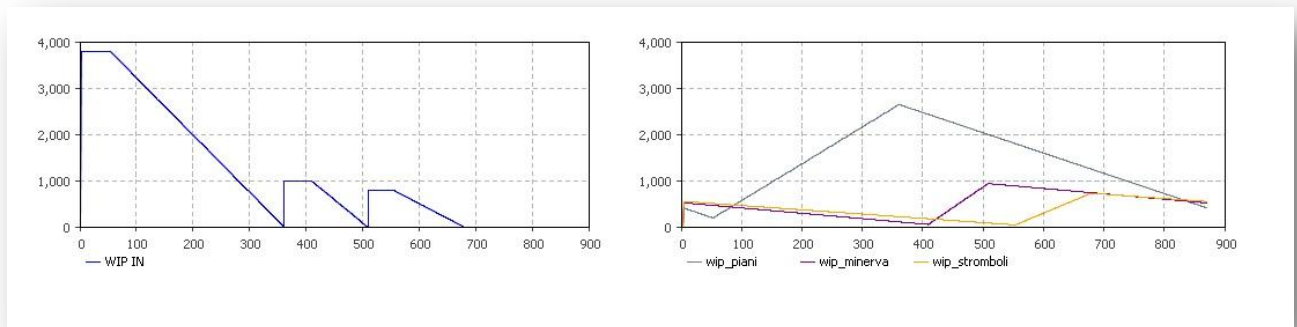


Figura 4.10 – Grafici dell'andamento temporale della quantità di pezzi nei buffer

In figura 4.10 si possono osservare i grafici sopra descritti:

- A sinistra, viene monitorato il wip in ingresso alla macchina
- A destra, viene visualizzato il wip prima delle tre linee

L'asse delle ordinate costituisce il numero di prodotti nel buffer mentre quello delle ascisse rappresenta l'andamento nel tempo delle variabili in esame.

4.3.3.1. Rappresentazione della “Manzoni 2” nel simulatore

Sino ad ora sono state descritte tutte le componenti all'interno della funzione principale del programma, chiamata “Main”. Una sottofunzione, o sottoprogramma, è quella dedicata esclusivamente alla descrizione della macchina di stampaggio “Manzoni”.

In figura 4.11 è possibile valutare quanto creato in “Anylogic”.

Il modello di macchina sfrutta la modellistica Agent based resa disponibile in “Any Logic” and è basato sul passaggio tra stati di funzionamento della macchina, correlato con relative potenze energetiche. Oltre alla potenza energetica, lo stato di lavorazione (stato *working*) ha un tempo di permanenza che viene definito attraverso la distribuzione triangolare asimmetrica a sinistra (cfr. par. 4.3.2.6); i tempi e le potenze sono gli

input misurati direttamente sulla macchina, così da poterne ricavare, di conseguenza, i consumi. I consumi energetici sono infatti calcolati attraverso la moltiplicazione della potenza per il tempo (kWatt * ora).

Le entità che vengono generate nella funzione “Main”, attraverso l’oggetto “Source”, entrano all’interno del sottoprogramma (agente) macchina Manzoni ed essendo caratterizzate da dei parametri caratteristici trasmettono alla macchina queste informazioni. Il modello riconosce il tipo di entità che rappresenta, quindi la famiglia di prodotti, o se viene dato il comando di accensione o spegnimento. Nel caso l’entità non trasporti con sé informazioni di ON/OFF allora la macchina andrà a processare il pezzo e quindi ad occupare la risorsa, con i tempi indicati dal pezzo generato.

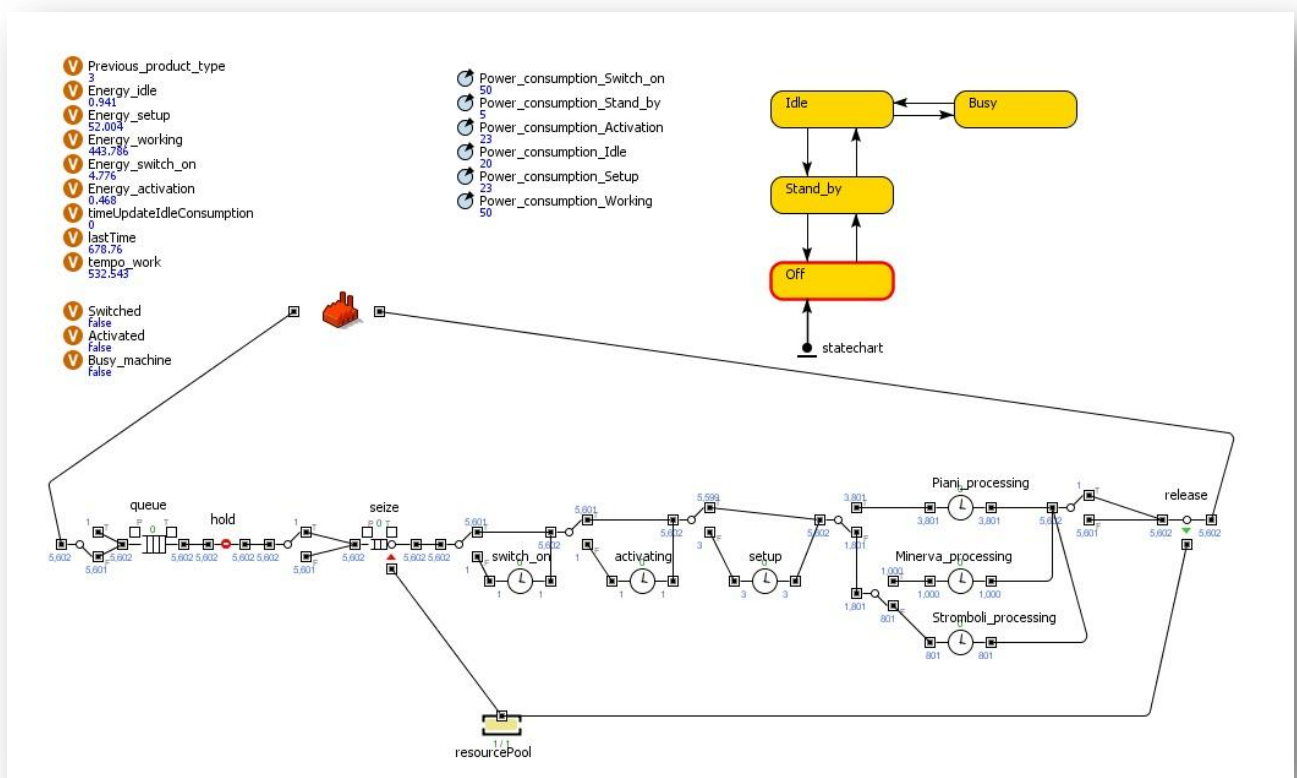


Figura 4.11 – Modello della macchina Manzoni

La modellazione dei passaggi di stato è stata creata partendo dalla macchina fisica, quindi con riscontro di validazione rispetto alla realtà. Il passaggio tra uno stato e l’altro è realizzata attraverso delle “Transizioni” che permettono il concatenarsi di azioni (cfr. le linee di connessione tra gli stati, in fig. 4.11). Le transizioni sono:

- Switch-on (dallo stato di OFF a Stand-by)
- Activation (dallo stato di Stand-by a Idle)
- Busy_machine (dallo stato di Idle a Busy)

È chiaro come questa sequenza logica di passaggi porti dalla macchina spenta a macchina accesa; è quindi modellizzato anche il percorso a ritroso, da macchina accesa a spenta (switch-off, deactivation, idle_machine).

La “Manzoni”, quando non processa entità, passa automaticamente allo stato di Idle e quindi di attesa di pezza da lavorare (i.e. idle_machine).

Nel caso in cui i pezzi in ingresso nella macchina siano di una famiglia differente rispetto a quella precedentemente processata, il modello riconosce in automatico il cambio prodotto e imposterà la fase di setup simulato, così da tener conto del tempo e risorsa impiegata per il cambio stampo e controstampo.

In figura 4.12 è possibile osservare quanto descritto.

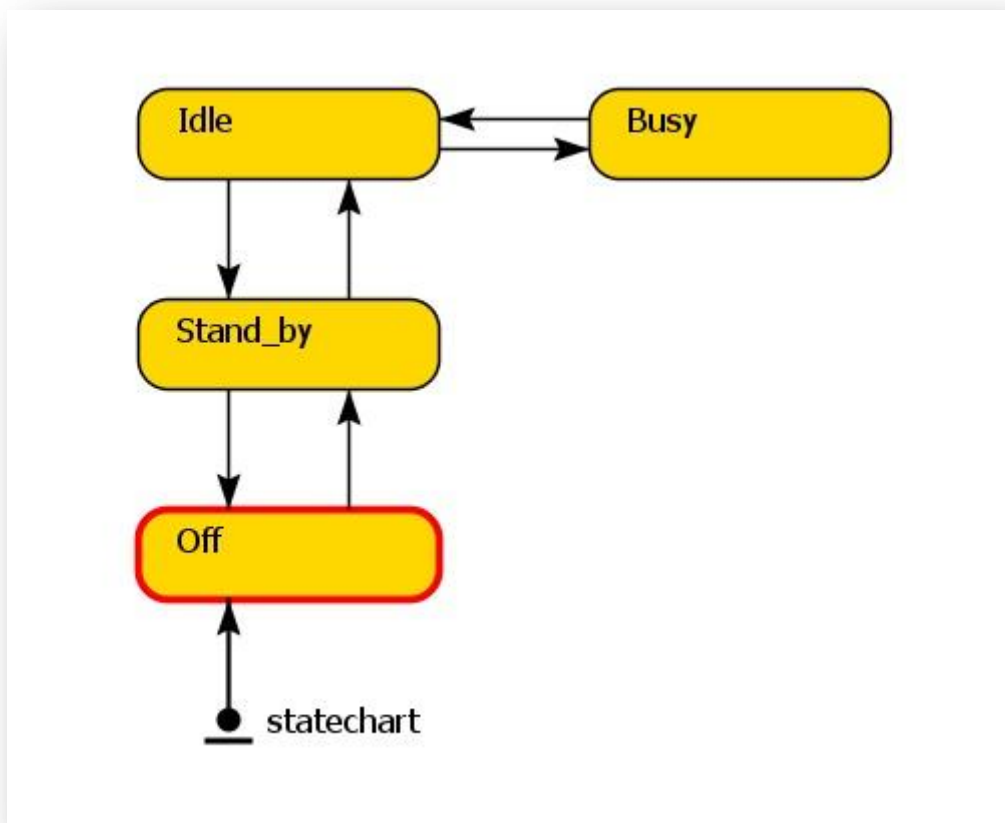


Figura 4.12 – Modellazione degli stati della Manzoni

Le tipologie di famiglie analizzate hanno tempi di processamento su macchina diversi, quindi si è dovuto creare nel modello una logica di selezione delle durate di lavorazione all’interno della pressa. Questo passaggio è stato gestito attraverso l’oggetto “SelectOutput” il quale, in base al parametro identificativo dell’entità, può determinare quale deve essere la distribuzione dei tempi d’attesa nello stato di Busy.

La figura 4.13 mostra la parte di modello in cui avviene la selezione.

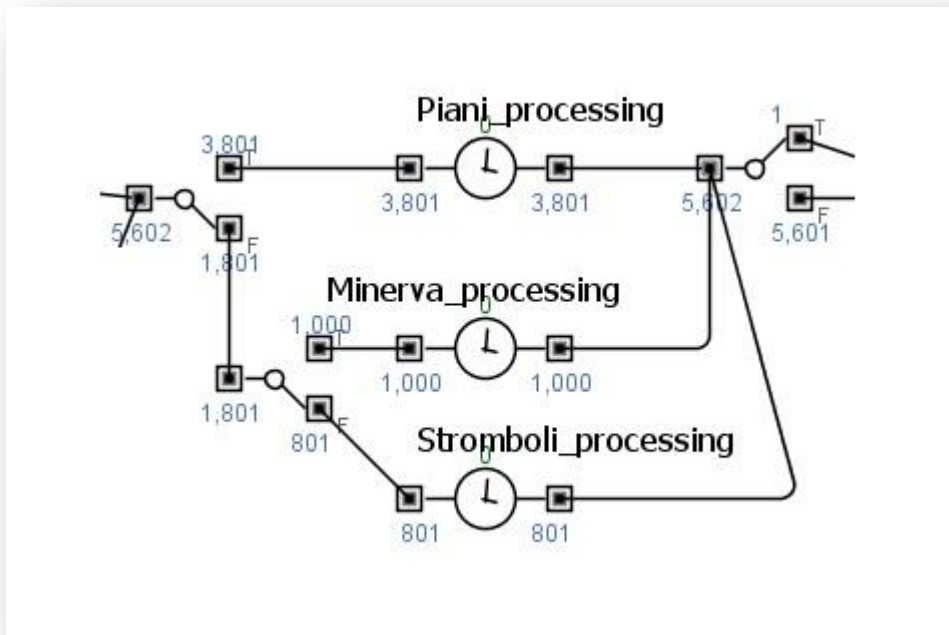


Figura 4.13 – Diversificazione di tempi di elaborazione all'interno della macchina Manzoni

4.4. I parametri di lavoro del modello

Il sistema produttivo in analisi è caratterizzato da alcuni parametri di lavoro standard che saranno mantenuti uguali anche al variare delle diverse politiche di produzione che verranno simulate.

In particolare, nella tabella 4.2 sono riportate le potenze di lavoro della Manzoni nei diversi stati.

STATO DELLA MACCHINA	POTENZA [kWatt]
Power_consumption_Stand_by	5
Power_consumption_Idle	20
Power_consumption_Activation	23
Power_consumption_Setup	23
Power_consumption_Working_slow	40
Power_consumption_Working_fast	50
Power_consumption_Switch_on	50

Tabella 4.2 – Potenze della macchina di stampaggio Manzoni

I tempi di funzionamento della macchina sono riportati in tabella 4.3; come descritto nel par. 4.3.6, la distribuzione utilizzata è una triangolare, quindi sono stati definiti i tempi minimi, massimi e la moda.

STATO DELLA MACCHINA	TEMPO [minuti]		
	Minimo	Moda	Massimo
Setup	40	45	50
Activation	0,5	1	1,5
Switch_on	4	5	6
Piani_processing_fast	0,078	0,08	0,085
Minerva_processing_fast	0,095	0,098	0,105
Stromboli_processing_fast	0,13	0,15	0,19
Piani_processing_slow	0,098	0,1	0,105
Minerva_processing_slow	0,14	0,15	0,17
Stromboli_processing_slow	0,19	0,2	0,23

Tabella 4.3 – Tempi di processamento degli stati della Manzoni

La macchina può operare in due velocità predefinite, identificate come fast e slow. Diverse velocità di processamento dei pezzi significa un diverso numero di colpi al minuto, conseguentemente anche un diverso consumo energetico della macchina (come riportato in tabella 4.2).

Le linee di montaggio dei prodotti sono state anche loro modellate usando una distribuzione triangolare; in tabella 4.4 sono riportati i tempi di assemblaggio.

MONTAGGIO PRODOTTI	TEMPO [minuti]		
	Minimo	Moda	Massimo
Montaggio_piani	0,215	0,22	0,25
Montaggio_minerva	0,84	0,86	0,89
Montaggio_stromboli	1,05	1,075	1,11

Tabella 4.4 – Tempi ciclo sulle linee di montaggio

I tempi riportati nelle tabelle 4.3 sono approssimabili alla realtà mentre quelli di tabella 4.4 sono valori medi spalmati sul tempo di simulazione. Nello stabilimento produttivo ci sono più linee di montaggio diverse per ogni famiglia di prodotto ed i turni lavorativi sono differenziati in base alle esigenze produttive. Si può così comprendere come, per esigenze di modellazione, i dati siano valorizzati sui due turni lavorativi e su singola linea di produzione standard per tipo di famiglia prodotto.

I volumi produttivi globali per tipo famiglia sono approssimati alla realtà riscontrata sul campo quando si è proceduto alla creazione del modello; per continui aggiornamenti e modifiche, possono non rispecchiare più la realtà.

PRODOTTI	PEZZI/GIORNO	PEZZI/ANNO
Piani cottura	3.800	874.000
Minerva	1.000	230.000
Stromboli	800	184.000

Tabella 4.5 – Volumi produttivi

4.5. Le politiche di produzione sperimentate nel modello

La finalità del modello di simulazione è principalmente quella di studiare l'andamento del consumo di energia al variare della programmazione della produzione. Sono state create otto diverse politiche, ognuna con delle peculiarità e caratteristiche diverse, così da meglio modellare quelle che sono le diverse linee di pensiero che in questi anni si sono avvicinate e che influenzano, soprattutto, il mondo della produzione manifatturiera in serie (es. Toyota Production System).

I diversi scenari sono improntati su diverse metodologie di gestione della pressa Manzoni la quale andrà ad alimentare, con i suoi pezzi prodotti, le linee di montaggio, le quali lavorano in continuo per il tempo stabilito.

POLITICA	MINUTI SIMULAZIONE	N° SETUP
3_setup	870	3
3_setup_no_off	870	3
3_setup_slow	870	3
7_setup	870	7
10_setup_870min	870	10
10_setup_1000min	1000	10
on_off	870	3
on_off_scheduling	870	4

Tabella 4.6 – Parametri delle diverse politiche di produzione

In tabella 4.6 è possibile valutare in primis quelli che sono i parametri di massima dei diversi scenari. Tutte le politiche sono pensate per soddisfare la domanda produttiva delle linee di montaggio entro il tempo di simulazione prestabilito di 870 minuti, cioè due turni lavorativi; solo la politica col più alto numero di setup, dieci, non riesce a soddisfare i volumi imposti e quindi dovrà arrivare a produrre in 1000 minuti, con circa

due ore di straordinario, per soddisfare la domanda. Durante queste due ore supplementari, le linee di montaggio saranno comunque ferme, quindi si andrà ad accumulare a monte delle linee il wip creato, così da alimentare adeguatamente i buffer per la ripartenza del giorno lavorativo successivo.

Tutte le politiche sono comunque improntate sulla filosofia della produzione in flow, in flusso, siccome tutti i prodotti realizzati dalla pressa Manzoni vengono utilizzati dalle linee di produzione durante il tempo di simulazione.

Di seguito sono descritte le politiche attraverso la tabella dello scheduling e mostrando il grafico Time Plot di caricamento del wip precedente alla macchina. Dai grafici del wip è possibile comprendere lo stato in cui si trova la pressa:

- Linea orizzontale (*alias* nessun consumo di materiale nel buffer) = stato di setup
- Linea obliqua (*alias* consumo di materiale nel buffer) = stato di working

4.5.1. Prima politica

POLITICA	SCHEDULING		
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO
3_setup	Piani	3800	1
	Minerva	1000	360
	Stromboli	800	510

Tabella 4.7 – Scheduling della 1° politica

La prima politica di gestione della macchina Manzoni è improntata su una tipica gestione “Make to stock”. I pezzi vengono realizzati tutti insieme in un unico task per famiglia prodotto; una volta completato il task si andrà ad eseguire il setup, cambio stampo, così da poter realizzare la famiglia prodotto seguente. Al completamento dell’ultimo task / famiglia si andrà a spegnere la pressa.

Questa politica non andrà a saturare i due turni lavorativi della pressa siccome le lavorazioni termineranno circa a 680 minuti. Così facendo si avranno poco più di tre ore libere nella parte finale della programmazione (verificabile in figura 4.14); questo tempo può essere utilizzato per far eseguire altre attività al personale impiegato sulla macchina (es. manutenzione preventiva, pulizia, TPM, circoli della qualità, ecc..).

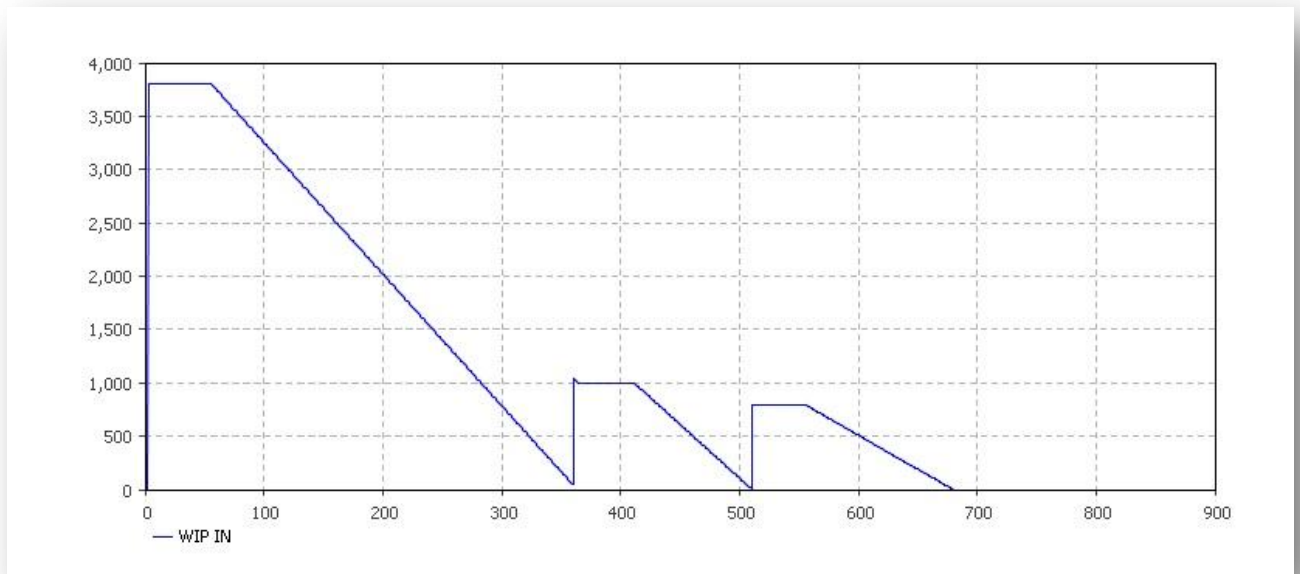


Figura 4.14 – Andamento temporale del Wip-in nella 1° politica

4.5.2. Seconda politica

POLITICA	SCHEDULING		
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO
3_setup_no_off	Piani	3800	1
	Minerva	1000	360
	Stromboli	800	510

Tabella 4.8 – Scheduling della 2° politica

La seconda politica differisce dalla prima esclusivamente per lo spegnimento finale della macchina. In questo caso lo scheduling rimane identico ma si ipotizza che l'operatore mantenga in stato di accensione la macchina fino a fine del turno lavorativo.

Si è deciso di introdurre questa variante alla prima politica per capire quanto i tempi morti di non lavorazione, in cui la macchina si mantiene in Idle, vadano ad incidere sul consumo energetico totale.

In figura 4.15 è possibile valutare l'andamento temporale del wip-in, ovviamente simile a quello di figura 4.14 a meno di qualche variante per via della variabilità dei tempi di processamento generati in questa seconda simulazione.

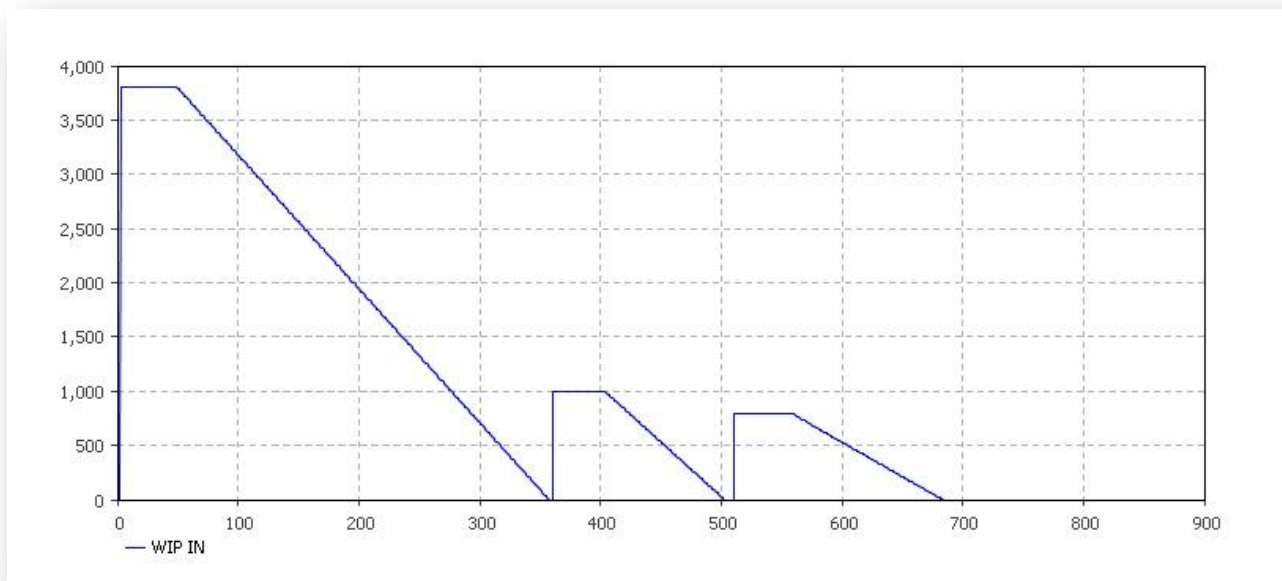


Figura 4.15 – Andamento temporale del Wip-in nella 2° politica

4.5.3. Terza politica

POLITICA	SCHEDULING		
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO
3_setup_slow	Piani	3800	1
	Minerva	1000	430
	Stromboli	800	625

Tabella 4.9 – Scheduling della 3° politica

La terza politica mantiene l'impostazione a tre setup ma con una velocità di lavorazione lenta che porta alla quasi totale saturazione di tempo dei due turni lavorativi. L'ultimo componente dovrebbe uscire dalla pressa circa al 840° minuto, lasciando così 30 minuti liberi; al termine delle lavorazioni la macchina verrà spenta risparmiando così energia. In questo caso, a differenza delle precedenti politiche, si ritiene che questo "buffer" temporale possa essere facilmente riassorbito da eventuali guasti o inefficienze da parte del personale (es. pause caffè troppo prolungate, ecc.).

In tabella 4.9 è possibile osservare come lo scheduling differisca dalle due precedenti politiche solo per il tempo in cui vengono caricati i pezzi, vi è infatti un differente throughput di uscita dalla macchina (dovuto alla sua velocità più lenta) che condiziona quindi l'istante in cui dovranno eseguire i caricamenti.

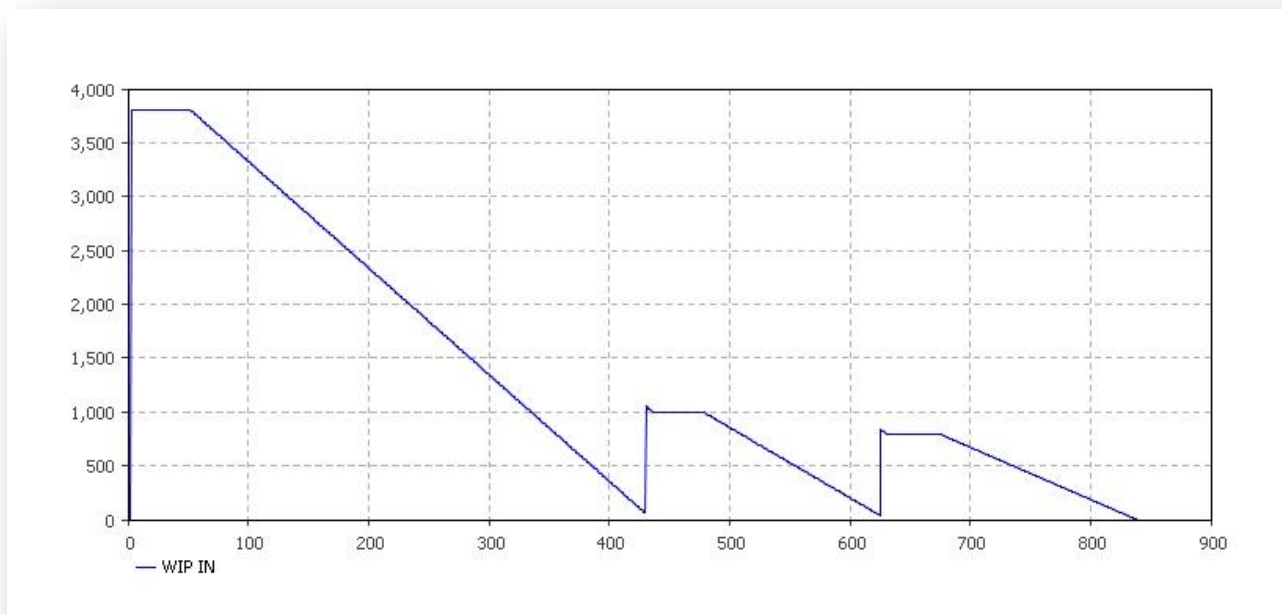


Figura 4.16 – Andamento temporale del Wip-in nella 3° politica

4.5.4. Quarta politica

POLITICA	SCHEDULING						
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO
7_setup	Piani	1300	1	1300	360	1200	720
	Minerva	500	160	500	510		
	Stromboli	400	250	400	610		

Tabella 4.10 – Scheduling della 4° politica

La quarta politica riduce i lotti dei task portando allo spaccettamento (splitting) dei job da eseguire in tre parti, per i piani cottura, ed in due parti per i forni. Si è deciso di dividere in modo equo ogni job così da mantenere il più costante possibile l'andamento del wip in uscita.

L'aumentare del numero di setup porta alla piena saturazione dei due turni lavorati della pressa, lavorando così anche più in "sincronia" (a meno del wip, comunque minore) di flusso rispetto al montaggio dei prodotti a valle.

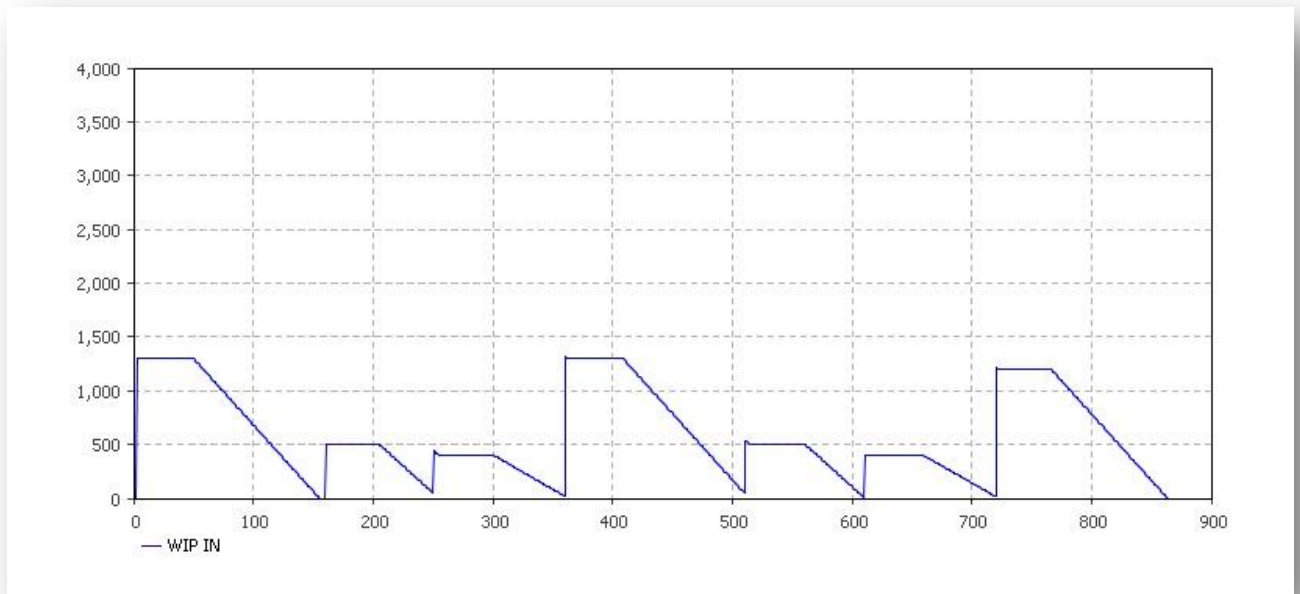


Figura 4.17 – Andamento temporale del Wip-in nella 4° politica

4.5.5. Quinta politica

POLITICA	SCHEDULING								
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO
10_setup_870min	Piani	1000	1	1000	300	1000	595	800	875
	Minerva	350	130	350	425	300	720		
	Stromboli	275	210	275	505	250	790		

Tabella 4.11 – Scheduling della 5° politica

Nella quinta politica si è aumentato ancor più il numero di setup portandolo fino a 10. Un numero così alto di cambi stampo determinerà un ancor più basso numero di componenti per job e quindi un conseguente abbassamento dei wip in ingresso ed in uscita alla macchina. Un'impostazione di questo tipo rispecchia molto quella che è la gestione tipica a "Lean Production", promossa dal "Toyota Production System".

Questa programmazione della produzione porta però a sfiorare dai due turni lavorativi; in questa politica si è deciso comunque di simulare i normali 870 minuti così da verificare quanto sopra scritto.

Come possibile osservare in figura 4.18 non è stato possibile completare il task numero nove (terza parte dei forni stromboli) e, conseguentemente, nemmeno iniziare il task numero dieci (quarta parte dei piani cottura).

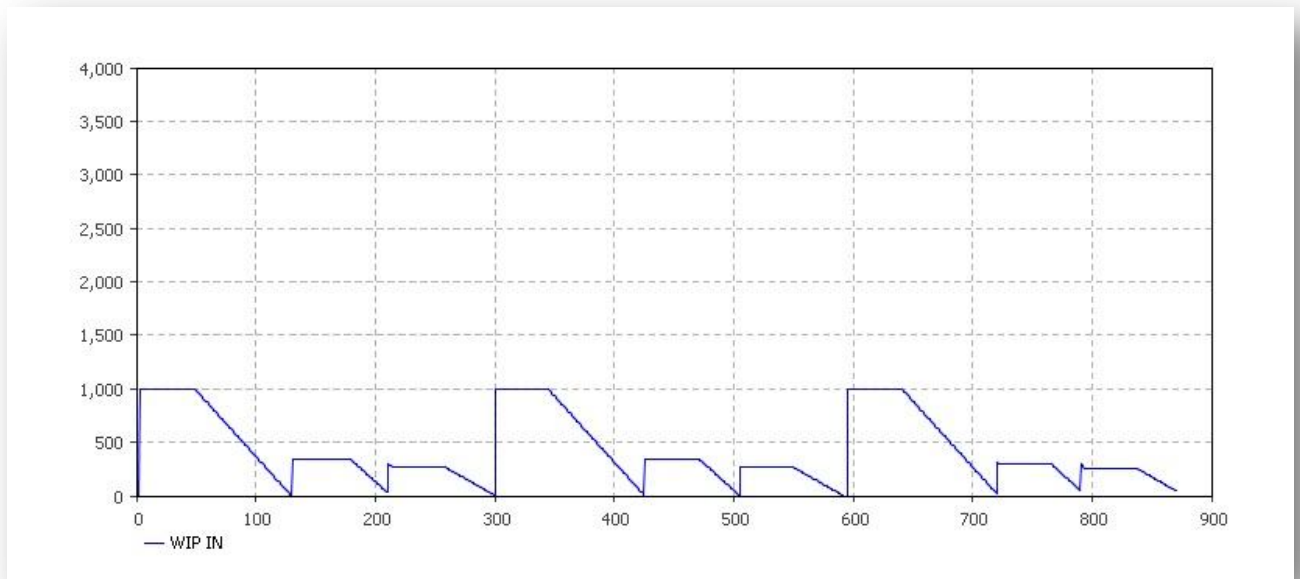


Figura 4.18 – Andamento temporale del Wip-in nella 5° politica

4.5.6. Sesta politica

POLITICA	SCHEDULING								
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO
10_setup_1000min	Piani	1000	1	1000	300	1000	595	800	875
	Minerva	350	130	350	425	300	720		
	Stromboli	275	210	275	505	250	790		

Tabella 4.12 – Scheduling della 6° politica

In questa sesta politica si è mantenuta l'impostazione data dalla precedente, quindi identico scheduling, ma con un tempo di simulazione di 1000 minuti, cioè con circa 2 ore di straordinario per poter eseguire i prodotti rimanenti.

In questo caso solo la macchina "Manzoni" lavorerà per 1000 minuti mentre i montaggi lavoreranno sempre per due turni, siccome non varierà il numero di prodotti realizzati dalle linee ma solo il tempo per produrre i necessari componenti per l'assemblaggio.

In figura 4.19 si osserva come l'asse delle ascisse arrivi al nuovo periodo di simulazione e comprenda tutti i task.

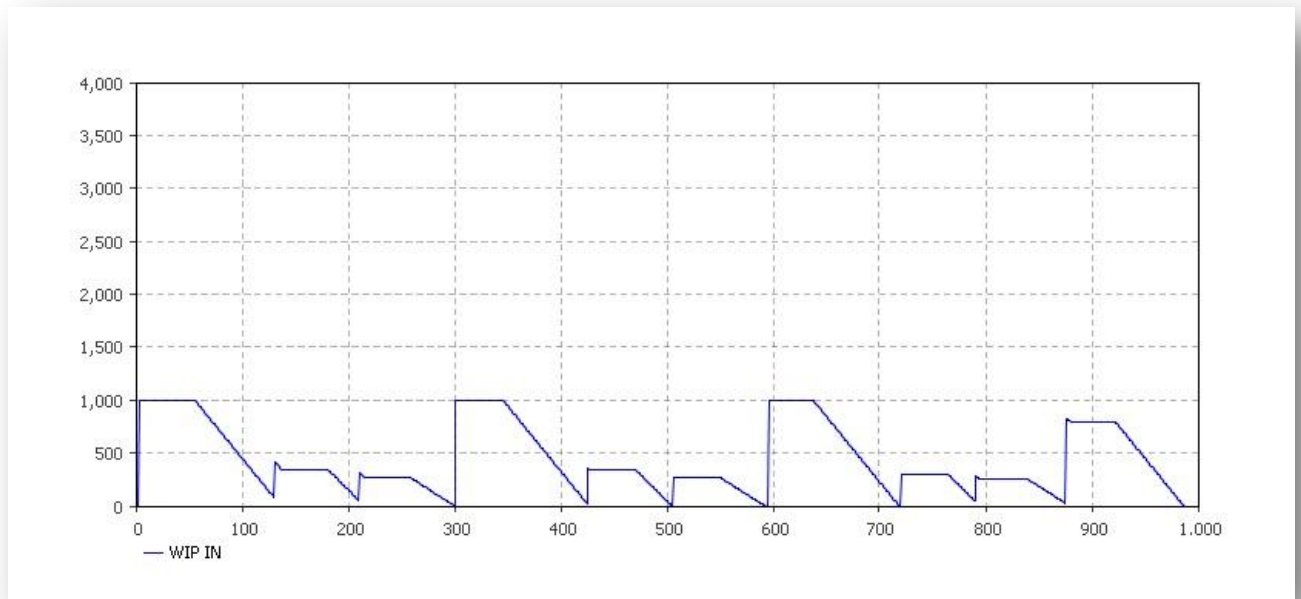


Figura 4.19 – Andamento temporale del Wip-in nella 6° politica

4.5.7. Settima politica

POLITICA	SCHEDULING				
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO
on_off	Piani	2000	1	1800	280
	Minerva	600	430	400	600
	Stromboli	500	650	300	815

Tabella 4.13 – Scheduling della 7° politica

La settima politica si orienta ad un nuovo modo di concepire la produzione in cui non conta solo produrre in volume adeguato ma anche farlo in modo efficiente sotto il punto di vista energetico.

Numerosi studi stanno dimostrando che buona parte dei consumi energetici delle macchine utensili sono dati da tempi morti, tempi di non creazione di valore aggiunto sul prodotto. L'indice che descrive il livello di efficienza energetica di una macchina utensile è l'EEM (come descritto nel paragrafo 4.3.1). Sarà interessante capire come si comporterà l'indice con questa politica (e con le precedenti, laddove la politica di gestione non pensava al problema energetico in maniera così esplicita).

In tabella 4.13 è possibile capire come lo scheduling sia fondamentalmente basato su tre setup, come una gestione tipicamente “make to stock”, in questa politica però ogni lotto sarà diviso in due job consequenziali. Il task sarà quindi così composto:

- Accensione della macchina (se necessario)
- Montaggio stampi dedicati al prodotto
- Produzione del 1° job di ogni task
- Spegnimento macchina
- Accensione macchina
- Produzione del 2° job di ogni task
- Spegnimento macchina (se necessario)

Le accensioni e spegnimenti all’inizio e fine dei task sono opzionali, dipende cioè dalle tempistiche e dallo stato precedente o successivo della macchina. Osservando la figura 4.20 risulta chiaro la dinamica del sistema in accordo a quanto definito nella tabella di scheduling: nei periodi di spegnimento, il WIP in è a valore nullo.

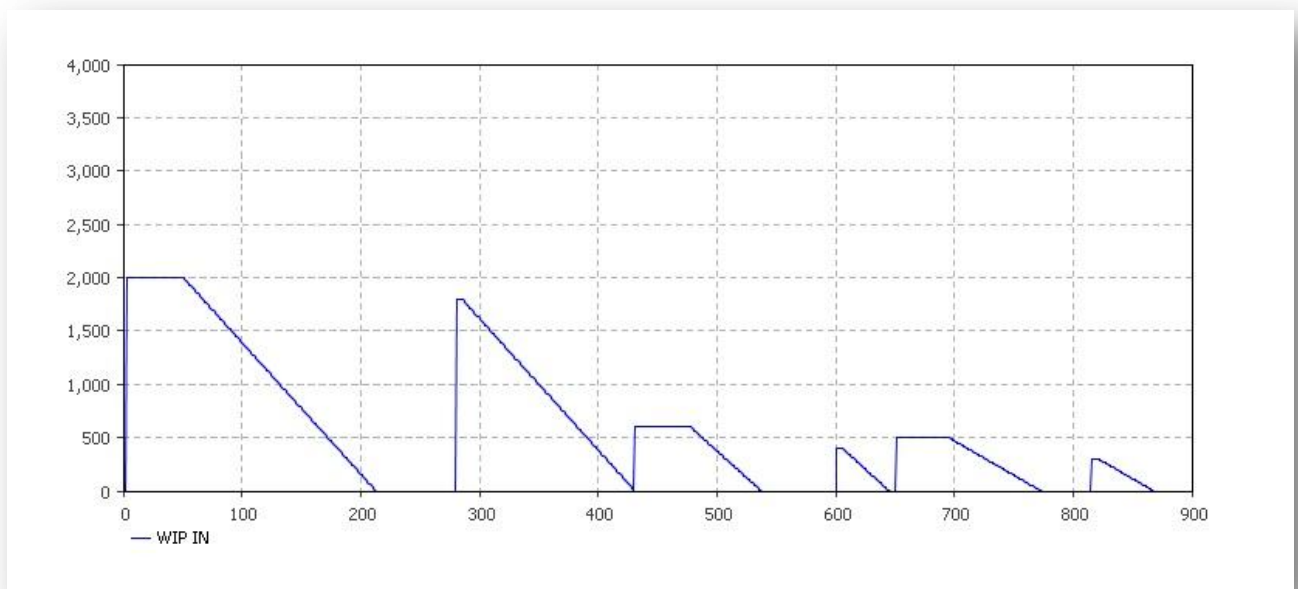


Figura 4.20 – Andamento temporale del Wip-in nella 7° politica

Più precisamente, all’inizio del turno si accenderà la pressa e si monteranno gli stampi adeguati per i “Piani cottura”; dopo aver prodotto il numero di pezzi determinato si spegnerà la macchina. Si creerà così un intervallo temporale in cui gli operatori non dovranno seguire la produzione ma potranno eseguire attività contingenti. Al termine di questo periodo si riaccenderà la macchina e si proseguirà con la parte finale del job; finito di produrre i piani cottura non si spegnerà la macchina ma si monteranno gli stampi per il prodotto successivo. La procedura andrà così avanti fino alla produzione di tutti i wip necessari per il montaggio. Alla fine dello scheduling si andrà a spegnere la macchina utensile.

I vantaggi di questa politica sono numerosi:

- diminuisce il wip in ingresso alla macchina
- diminuisce il wip prima delle linee di montaggio
- spezza la monotonia di un lavoro ripetitivo (per gli operatori)
- libera delle risorse per poter svolgere altre attività in parallelo alla normale produzione
- diminuisce i consumi energetici attraverso lo spegnimento macchina
- aumenta l'indice EEM attraverso la riduzione dei consumi

Con il modello di simulazione si testano alcuni di questi vantaggi.

Ci si aspetta anche che questa politica di accensione e spegnimenti della macchina porterà anche ad un aumento dell'indice OEE siccome si andrebbe a diminuire la grandezza dei task, spaccettandoli in job più piccoli, ma diminuendo nel contempo il numero di setup.

4.5.8. Ottava politica

POLITICA	SCHEDULING				
	PRODOTTI	PEZZI	TEMPO	PEZZI	TEMPO
on_off_scheduling	Piani	1900	1	1900	440
	Minerva	400	205	600	375
	Stromboli	300	640	500	785

Tabella 4.14 – Scheduling della 8° politica

L'ultima politica si rifà sulla precedente ma con un ulteriore affinamento della programmazione in ottica di riduzione del work in progress, con conseguente diminuzione della dimensione dei buffer, sacrificando però in parte la minimizzazione del numero di setup, portati così a quattro.

Il miglioramento è stato ottenuto andando ad aumentare l'intervallo di tempo tra la produzione delle due parti che compongono ogni task produttivo, cercando anche di meglio sfruttare il wip presente ad inizio il miglioramento è stato ottenuto a seguito di una serie di test di simulazione che hanno permesso di studiare l'andamento dei wip e scegliere l'opzione più opportuna in termini di timing degli spaccettamenti rischiesti.

Un'ulteriore leva sulla quale si è agito è stato il numero di pezzi che compongono le due parti del task: si è osservato come l'aumento del secondo job di ogni task porta a una diminuzione del wip prima delle linee.

Nel rispetto di questi due criteri si è ottenuta la tabella di scheduling proposta.

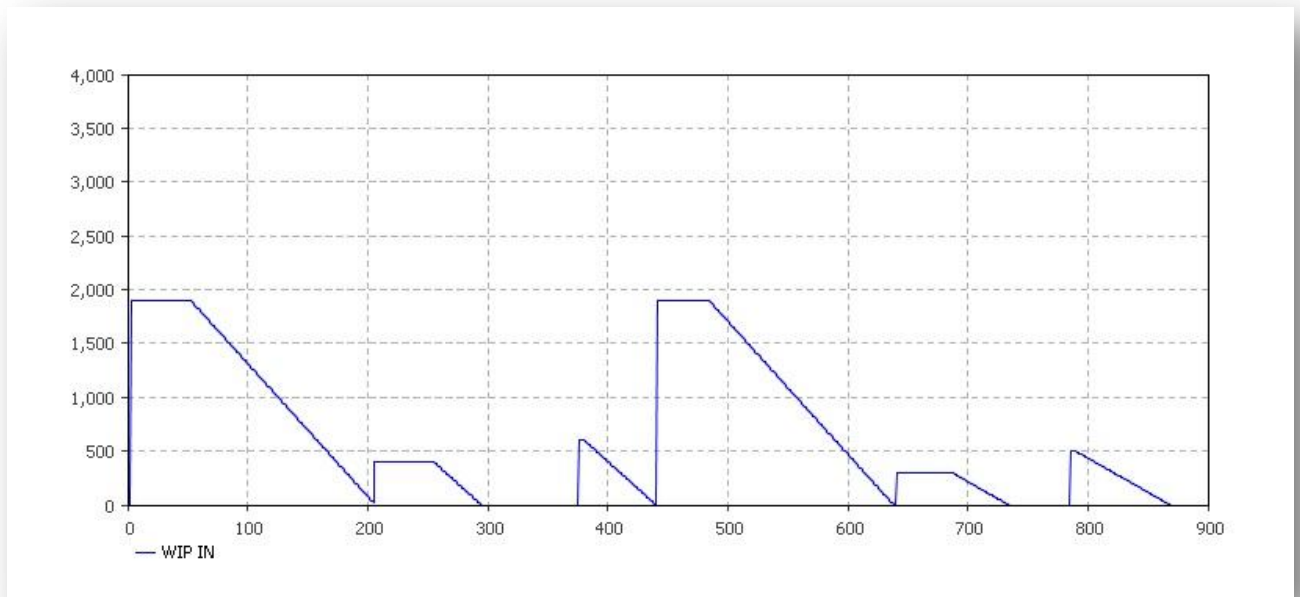


Figura 4.21 – Andamento temporale del Wip-in nella 8° politica

L'aumento del numero di cambi stampo è stato determinato dallo spostamento del 2° job dei piani cottura dal 280° minuto al 440°. Così facendo si è liberato un arco temporale più che adeguato per poter produrre entrambe le parti del task dei forni Minerva. Da ultimo è opportuno osservare che la programmazione delle produzioni, così proposta, è stata basata sul vincolo di produzione dei piani cottura: sono in numero più grande rispetto agli altri prodotti e quindi occupano maggiormente la risorsa, lo scheduling dei diversi job deve tenere ovviamente in considerazione questo aspetto.

4.5.9. Numero di pezzi nei buffer ad inizio simulazione

NOME POLITICA	START_PIANI	START_MINERVA	START_STROMBOLI
3_setup	410	520	550
3_setup_no_off	410	520	550
3_setup_slow	410	605	675
7_setup	940	285	320
10_setup_870min	1000	255	285
10_setup_1000min	1000	255	285
on_off	410	600	680
on_off_scheduling	410	340	680

Tabella 4.15 – Numero di prodotti presenti nei buffer all'inizio della simulazione

In tabella 4.15 sono riportati il numero di work in progress prima delle linee caricate nei buffer ad inizio giornata lavorativa, che saranno presenti anche a fine giornata per via della ciclicità giornaliera. Come riportato nel paragrafo 4.3.5, la quantità è stata determinata in modo da poter garantire un arco temporale di lavoro anche senza produzione da parte della pressa.

Si può osservare come le politiche di produzione influenzino molto anche questo importante parametro produttivo.

4.6. Analisi dei risultati ottenuti

Il modello è stato inserito nel software di simulazione, come precedentemente illustrato, ed è stato così possibile sperimentare le diverse politiche produttive. I risultati ottenuti sono stati numerosi e differenti da scenario a scenario.

4.6.1. Modello analitico

Il modello analitico che è stato implementato è il seguente:

$$\begin{aligned}
 & \bullet \text{ } Energy_{idle_m} = Time_{idle_m} * Power_{idle_m} \\
 & \bullet \text{ } Energy_{setup_m} = \sum_i N^{\circ} setup_i * Power_{setup_{i,m}} * Time_{setup_{i,m}} \\
 & \bullet \text{ } Energy_{switch_{on}_m} = N^{\circ} switch_{on}_m * Power_{switch_{on}_m} * Time_{switch_{on}_m} \\
 & \bullet \text{ } Energy_{activation_m} = N^{\circ} activation_m * Power_{activation_m} * Time_{activation_m} \\
 & \bullet \text{ } Energy_{working_m} = \sum_i Power_{product_{i,m}} * Time_{work_{product_{i,m}}} * \frac{n^{\circ} product_i}{waste_i} \\
 & \bullet \text{ } Energy_{tot_m} = \\
 & \quad \left(Energy_{idle_m} + Energy_{setup_m} + Energy_{working_m} + Energy_{switch_{on}_m} + Energy_{activation_m} \right)
 \end{aligned}$$

I parametri sono stati ricavati direttamente dalla macchina in analisi, qui indicata con il pedice 'm'. In particolare, per le misure è necessario conoscere: (i) le potenze in gioco (lettte da quadro elettrico) ed (ii) i tempi delle attività / stati in cui si trova ad operare la macchina (tempi misurati con cronometro, ad es. il tempo di switch).

Quando si è reso necessario esprimere le variabili di stato in dipendenza dei prodotti processati sulla macchina 'm', è stato introdotto il pedice 'i', per distinguerne il diverso tipo (prodotto i-esimo). I consumi energetici per setup e per lavorazioni sono quindi dipendenti da driver di prodotto (i.e. quanti lotti vengono eseguiti e, quindi, quanti setup e quanti prodotti vengono realizzati, compresi gli scarti). Le diverse campagne di produzione portano a diversi valori del modello.

4.6.2. Validazione mediante soluzione analitica

Le prestazioni, introdotto al par. 4.2, sono state stimate mediante modellazione analitica nel caso delle prime due politiche produttive così da validare le simulazioni svolte. Di seguito i risultati ottenuti rispetto alla politica numero uno:

- $Energy_{idle} = Time_{idle} * Power_{idle} = \frac{5 \text{ minutes}}{60 \text{ minutes}} * 20 \text{ kWatt} = 1,67 \text{ kWatth}$
- $Energy_{setup} = N^{\circ} \text{ setup} * Consumption_{setup} = 3 * \frac{45 \text{ minutes}}{60 \text{ minutes}} * 23 \text{ kWatt} = 51,75 \text{ kWatth}$
- $Energy_{switch_{on}} = N^{\circ} \text{ switch}_{on} * Consumption_{switch_{on}} = 1 * \frac{5 \text{ minutes}}{60 \text{ minutes}} * 50 \text{ kWatt} = 4,17 \text{ kWatth}$
- $Energy_{activation} = N^{\circ} \text{ activation} * Consumption_{activation} = 1 * \frac{5 \text{ minutes}}{60 \text{ minutes}} * 23 \text{ kWatt} = 0,38 \text{ kWatth}$
- $Energy_{working} = \sum_i Energy_{working_{product_i}} * N^{\circ} \text{ product}_i =$
 $50 \text{ kWatt} * \frac{5 \text{ second}}{3600 \text{ second}} * 3800 \text{ piani cottura} + 50 \text{ kWatt} * \frac{6 \text{ second}}{3600 \text{ second}} * 1000 \text{ minerva} + 50 \text{ kWatt} * \frac{9 \text{ second}}{3600 \text{ second}} * 800 \text{ stromboli} = 447,22 \text{ kWatth}$
- $Energy_{tot} = (Energy_{idle} + Energy_{setup} + Energy_{working} + Energy_{switch_{on}} + Energy_{activation}) = 505,19 \text{ kWatth}$
- $EEM \text{ (Energy Efficiency Management)} = \frac{Energy_{working}}{Energy_{tot}} = \frac{447,22 \text{ kWatth}}{505,19 \text{ kWatth}} = \mathbf{88,53 \%}$

L'indice OEE è così composto:

- $Time_{work} = \sum_i Time_{for\ production_i} * N^{\circ} \text{ product}_i = 5 \text{ second} * 3800 \text{ piani} + 6 \text{ second} * 1000 \text{ minerva} + 9 \text{ second} * 800 \text{ stromboli} = 536,67 \text{ minutes}$
- $Time_{tot} = Time \text{ of simulation} = 870 \text{ minutes}$
- $Quality = 99,9\%$
- $OEE \text{ (Overall Equipment Effectiveness)} = \left(\frac{Time_{work}}{Time_{tot}} \right) * Quality = \frac{536,67 \text{ minutes}}{870 \text{ minutes}} * 99,9\% = \mathbf{61,62\%}$

Di seguito i risultati ottenuti rispetto alla politica numero quattro:

- $Energy_{idle} = Time_{idle} * Power_{idle} = \frac{15 \text{ minutes}}{60 \text{ minutes}} * 20 \text{ kWatt} = 5 \text{ kWatth}$

- $Energy_{setup} = N^{\circ} setup * Consumption_{setup} = 7 * \frac{45 minutes}{60 minutes} * 23 kWatt = 120,75 kWatth$
- $Energy_{switchon} = N^{\circ} switchon * Consumption_{switchon} = 1 * \frac{5 minutes}{60 minutes} * 50 kWatt = 4,17 kWatth$
- $Energy_{activation} = N^{\circ} activation * Consumption_{activation} = 1 * \frac{5 minutes}{60 minutes} * 23 kWatt = 0,38 kWatth$
- $Energy_{working} = \sum_i Energy_{working_{product_i}} * N^{\circ} product_i =$
 $50 kWatt * \frac{5 second}{3600 second} * 3800 piani cottura + 50 kWatt * \frac{6 second}{3600 second} * 1000 minerva + 50 kWatt *$
 $\frac{9 second}{3600 second} * 800 stromboli = 447,22 kWatth$
- $Energy_{tot} = (Energy_{idle} + Energy_{setup} + Energy_{working} + Energy_{switchon} + Energy_{activation}) =$
 $577,52 kWatth$
- $EEM (Energy Efficiency Management) = \frac{Energy_{working}}{Energy_{tot}} = \frac{447,22 kWatth}{577,52 kWatth} = 77,44 \%$

L'indice OEE è così composto:

- $Time_{work} = \sum_i Time_{for production_i} * N^{\circ} product_i = 5 second * 3800 piani + 6 second *$
 $1000 minerva + 9 second * 800 stromboli = 536,67 minutes$
- $Time_{tot} = Time_{of simulation} = 870 minutes$
- $Quality = 99,9\%$
- $OEE (Overall Equipment Effectiveness) = \left(\frac{Time_{work}}{Time_{tot}}\right) * Quality = \frac{536,67 minutes}{870 minutes} * 99,9\% = 61,62\%$

4.6.3. Risultati mediante soluzione numerica

NOME POLITICA	N° SETUP	MINUTI SIMULAZIONE	PZ_PRODOTTI TOT	MINUTI LAVORATI
3_setup	3	870	5600	670
3_setup_no_off	3	870	5600	670
3_setup_slow	3	870	5600	840
7_setup	7	870	5600	870
10_setup_870min	10	870	4700	870
10_setup_1000min	10	1000	5600	1000
on_off	3	870	5600	680
on_off_scheduling	4	870	5600	730

Tabella 4.16 – Risultati ottenuti dalla simulazione

I risultati ottenuti rispecchiano le ipotesi stilate in fase di costruzione delle politiche di produzione; dalla tabella 4.16 è possibile osservare i primi dati di analisi di massima:

- tutte le simulazioni sono state svolte per un arco temporale di 870 minuti, solo la settima politica è basata su 1000 minuti;

- la produzione è stata garantita sempre tranne che con un alto numero di setup e normale tempo di simulazione;
- gli effettivi minuti lavorati sono inferiori rispetto ai due turni lavorativi nelle politiche ove il numero di setup è basso.

Visti i risultati sopra riportati si può capire come, per poter studiare il comportamento di uno scenario ad alto numero di setup, sia stato necessario estendere la simulazione a 1000 minuti così che possa garantire i volumi predeterminati.

È interessante notare come il numero di setup influisca in modo significativo sul reale tempo lavorato nell'arco della giornata e quindi di occupazione delle risorse, anche per attività a non valore aggiunto.

NOME POLITICA	EEM	OEE	kWattH WORK	kWattH TOTALI
3_setup	88,5%	61,3%	443,66	501,31
3_setup_no_off	78,6%	61,3%	444,15	565,08
3_setup_slow	89,2%	80,8%	468,33	525,03
7_setup	77,6%	61,2%	443,92	572,06
10_setup_870min	69,2%	51,1%	370,85	535,91
10_setup_1000min	71,3%	53,2%	443,64	622,22
on_off	85,7%	61,4%	444,33	518,47
on_off_scheduling	83,8%	61,3%	444,91	530,92

Tabella 4.17 – Indici rilevati a fine simulazione

In tabella 4.17 sono riportati gli indici puntuali che sintetizzano in parte anche quanto precedentemente descritto nelle descrizioni di ogni singola politica.

La prima osservazione che si può fare è sull'andamento del consumo energetico per produrre: si riscontra come il consumo durante la fase di lavorazione (kWATTh WORK) sia comunque compreso in un intervallo di variabilità molto stretto; solo il terzo scenario, impiegando la macchina con la bassa velocità, risulta sconsigliato. Questo risultato era ottenibile anche dal calcolo a valori medi.

Nella quinta politica i kWattH consumati per le lavorazioni risultano essere inferiori siccome i pezzi prodotti sono minori, come già illustrato in precedenza (i.e. non si arriva al throughput richiesto dal montaggio).

Gli indici EEM ed OEE sono molto simili concettualmente ma rappresentano due funzioni ben diverse siccome il primo è basato sui consumi energetici nei diversi stadi a differenza del secondo che è basato sui tempi.

In particolare l'OEE si mantiene stabile per la maggior parte delle politiche siccome è costruito tenendo a denominatore il tempo totale della simulazione, così facendo non si differenzia il tempo di Idle da quello per i setup perché sono entrambi periodi a non valore aggiunto. I tempi di idle in tutte le politiche di produzione, a meno della seconda, sono approssimabili a zero time siccome la macchina non rimarrà mai in

attesa perché verrà spenta al termine delle lavorazioni. Solo nella seconda politica, in cui volutamente è stato imposto un tempo di fermata, si avrebbe una variazione significativa dell'indice.

L'Overall Equipment Effectiveness del terzo scenario risulta essere maggiore siccome la macchina impiegherà maggior tempo per la produzione data dalla bassa velocità lavorativa: la macchina è quindi vista come inefficiente dal punto di vista della tempistica di produzione (i.e. per performance a bassa velocità). Nelle due politiche a dieci setup l'indice è invece più basso siccome il tempo dedicato alla produzione è inferiore rispetto ai precedenti, il che ne determina un valore minore.

I valori degli indici ottenuti nelle diverse politiche seguono linearmente quanto preventivato e prestabilito in fase di stesura degli scenari.

La differenza tra i primi due scenari è solo nello spegnimento finale della macchina al termine della produzione. La diversità è riscontrabile negli indici siccome gli OEE sono uguali, invece gli EEM risultano diversi: nel secondo caso il consumo totale sarà più alto per via dei consumi sprecati in fase di Idle nella parte finale della simulazione, senza spegnimento.

È possibile riscontrare come all'aumento del numero dei setup diminuisce l'indice EEM perché a denominatore si trovano tutti gli stati valorizzati rispetto al loro consumo energetico. Nel caso in esame i setup hanno un uso di energia elettrica maggiore rispetto ai tempi di idle.

Significativo è il risultato raggiunto grazie all'accensione e spegnimento della macchina Manzoni: l'indice EEM è più alto rispetto alla maggior parte delle politiche. L'esito positivo è stato possibile grazie ad un'accurata programmazione della produzione in cui i tempi di idle, che consumano energia, sono stati sostituiti con spegnimenti totali della macchina, a zero consumo energetico.

NOME POLITICA	WIP_IN MEDIO	WIP_PIANI MEDIO	WIP_MINERVA MEDIO	WIP_STROMB MEDIO
3_setup	1.090	1.410	498	376
3_setup_no_off	1.103	1.416	493	378
3_setup_slow	1.337	1.243	458	370
7_setup	596	870	312	249
10_setup_870min	460	770	203	162
10_setup_1000min	458	702	230	185
on_off	573	1.276	463	367
on_off_scheduling	655	796	428	354

Tabella 4.18 – Valori medi dei prodotti all'interno dei buffer

La tabella 4.18 riporta il numero medio di pezzi all'interno dei buffer prima e dopo la macchina Manzoni. Come oramai risaputo e qui verificato ancora una volta attraverso la simulazione, all'aumentare del numero dei setup diminuisce il numero medio dei work in progress.

Degne di nota sono le ultime due politiche in cui i valori sono più bassi rispetto a politiche dall'uguale numero di setup; questo esito è stato possibile andando a spaccettare (i.e. splitting) i task, così da poter

avere lotti più piccoli senza però eseguire un alto numero di setup. L'analisi dei wip medio porta ancora una volta a dimostrare come questa innovativa politica di produzione porti a dei tangibili benefici.

Il numero medio di work in progress da solo non spiega però l'andamento di questo importante parametro produttivo; per questo si è valutato anche il numero massimo di pezzi nei buffer, così da poterne affinare e determinare il corretto dimensionamento dei magazzini interoperazionali che isolano la pressa in analisi rispetto al restante sistema produttivo. I dati sono riportati in tabella 4.19.

Come per il valore medio, anche il numero massimo di pezzi nei buffer è inversamente proporzionale al numero di setup.

Le ultime due politiche, andando a diminuire la grandezza dei job, portano così anche ad una diminuzione del numero massimo di pezzi immagazzinati.

NOME POLITICA	WIP_IN MAX	WIP_PIANI MAX	WIP_MINERVA MAX	WIP_STROMB MAX
3_setup	3.800	2.640	943	719
3_setup_no_off	3.800	2.649	938	722
3_setup_slow	3.800	2.307	871	695
7_setup	1.338	1.559	581	459
10_setup_870min	1.037	1.419	366	285
10_setup_1000min	1.024	1.414	370	286
on_off	2.000	2.337	858	702
on_off_scheduling	1.900	1.421	830	680

Tabella 4.19 – Valori massimi dei prodotti all'interno dei buffer

NOME POLITICA	BUFFER_WIP_IN	BUFFER_PIANI	BUFFER_MINERVA	BUFFER_STROMBOLI
3_setup	3.800	2700	1000	750
3_setup_no_off	3.800	2700	1000	750
3_setup_slow	3.800	2350	900	700
7_setup	1.350	1600	600	500
10_setup_870min	1.050	1450	400	300
10_setup_1000min	1.050	1450	400	300
on_off	2.000	2350	900	750
on_off_scheduling	1.900	1450	850	700

Tabella 4.20 – Dimensione dei buffer

Il dimensionamento dei buffer è stato eseguito per eccesso rispetto ai dati di tabella 4.19 e con scaglioni di cinquanta pezzi, così da meglio rispecchiare la realtà.

Invece, attraverso l'uso dei grafici temporali è stato possibile rilevare l'andamento delle scorte prima delle linee così da poterne valutare, in modo più intuitivo ed immediato, il loro comportamento.

Di seguito sono riportati i grafici per ognuna delle otto politiche implementate e precedentemente illustrate.

In figura 4.22 e 4.23 si osserva come l'evoluzione delle scorte sia identica per entrambe le politiche; in entrambe si può notare il tipico "profilo a dente di sega" della gestione make to stock che è caratterizzato da un solo grande picco e da una copertura del fabbisogno delle linee di montaggio gestito attraverso il forte accumulo di wip.

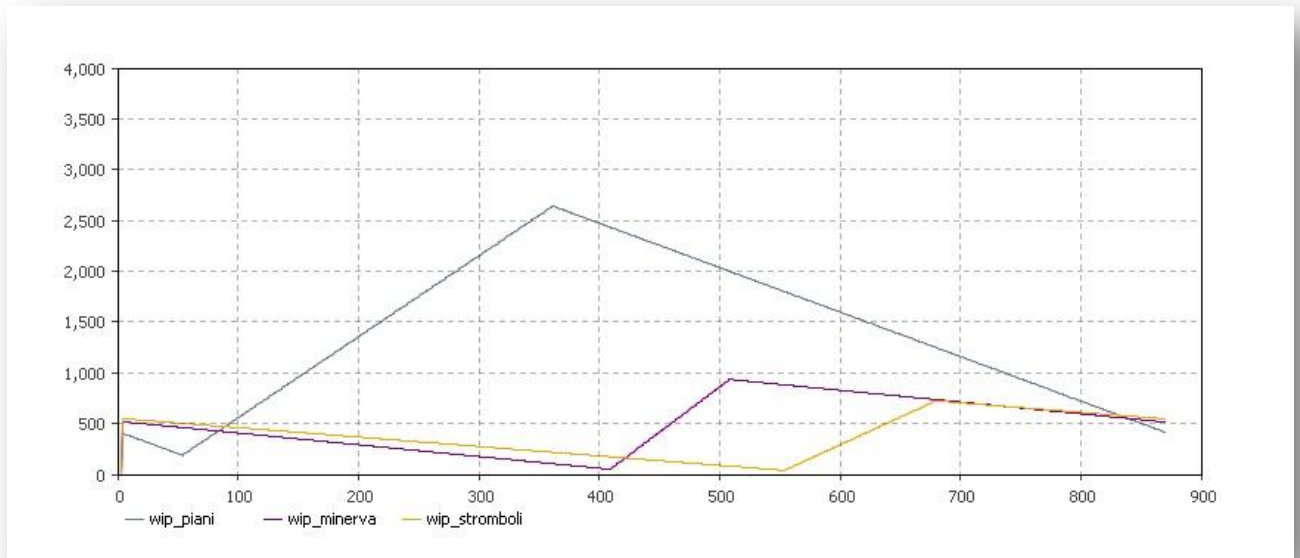


Figura 4.22 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 1° politica

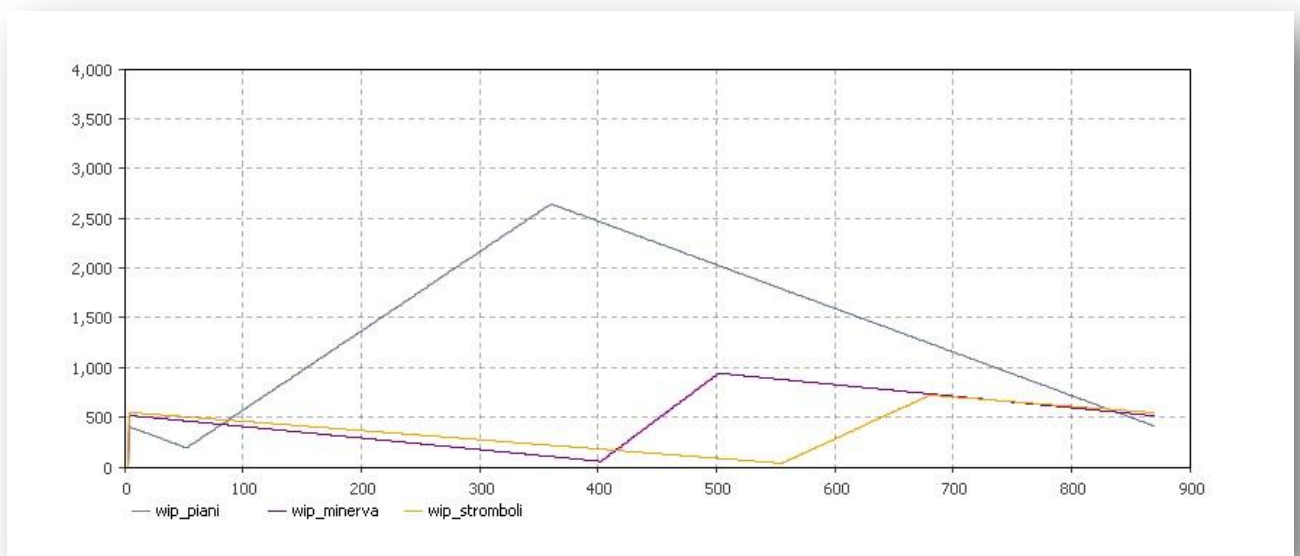


Figura 4.23 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 2° politica

La terza politica, che si basa sulla bassa velocità di produzione che porta alla saturazione temporale, ha sempre dei picchi molto alti di scorte ma minori rispetto alle precedenti. Lo slittamento temporale posticipato del punto di massimo accumulo del wip sfrutta il contemporaneo consumo da parte delle linee, così facendo si ottiene un numero massimo di pezzi inferiore per ogni buffer pre linee. Figura 4.24.

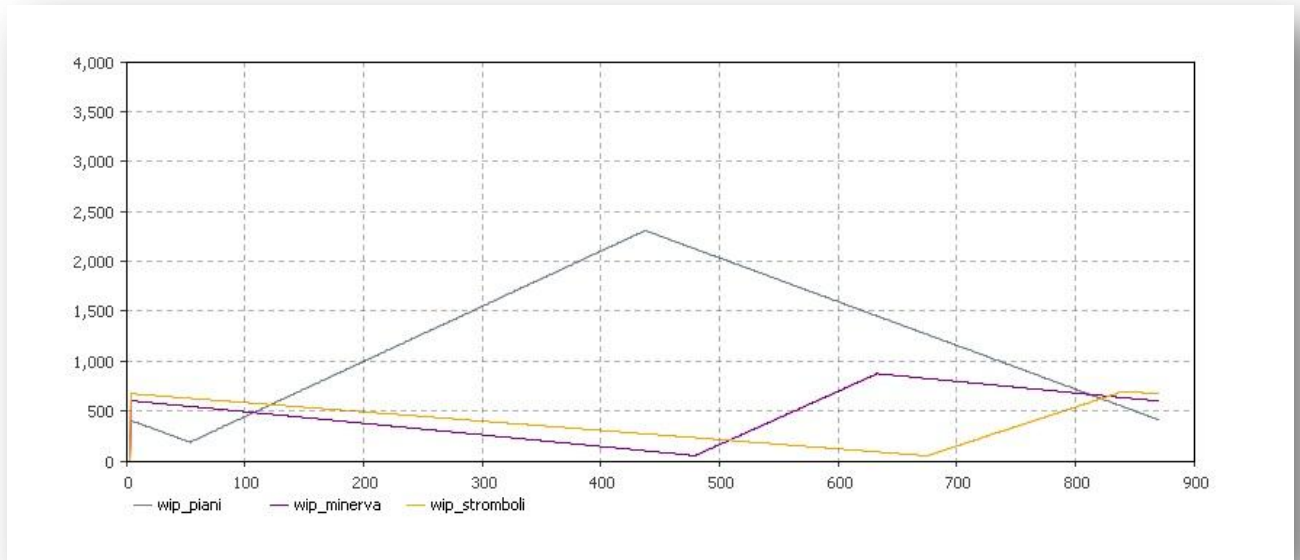


Figura 4.24 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 3° politica

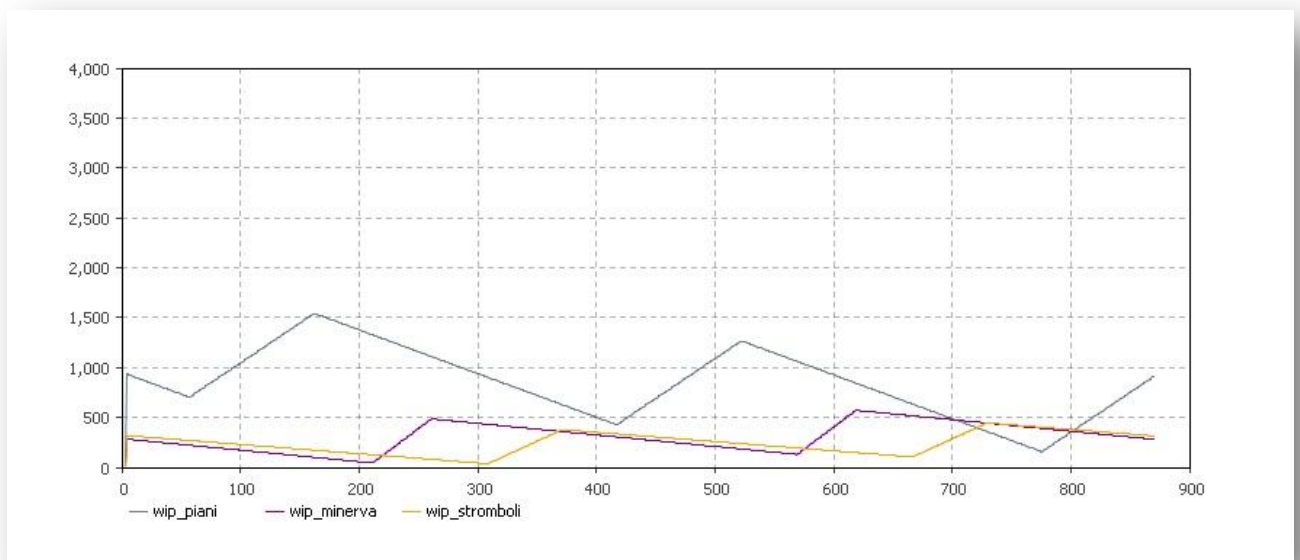


Figura 4.25 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 4° politica

La figura 4.25 evidenzia come all'aumentare del numero dei setup aumentino chiaramente il numero dei picchi ma con una magnitudo inferiore; in figura 4.26 e 4.27 si rileva ancor più questo principio.

La quinta e la sesta politica si basano su dieci setup ma differiscono sul tempo di simulazione; la seconda delle due evidenzia come le linee di montaggio lavorino su due turni, 870 minuti, mentre la pressa in analisi viene portata a lavorare fino a 1000 minuti creando dei prodotti in accumulo nei buffer così da poter garantire la copertura di scorte per il giorno successivo.

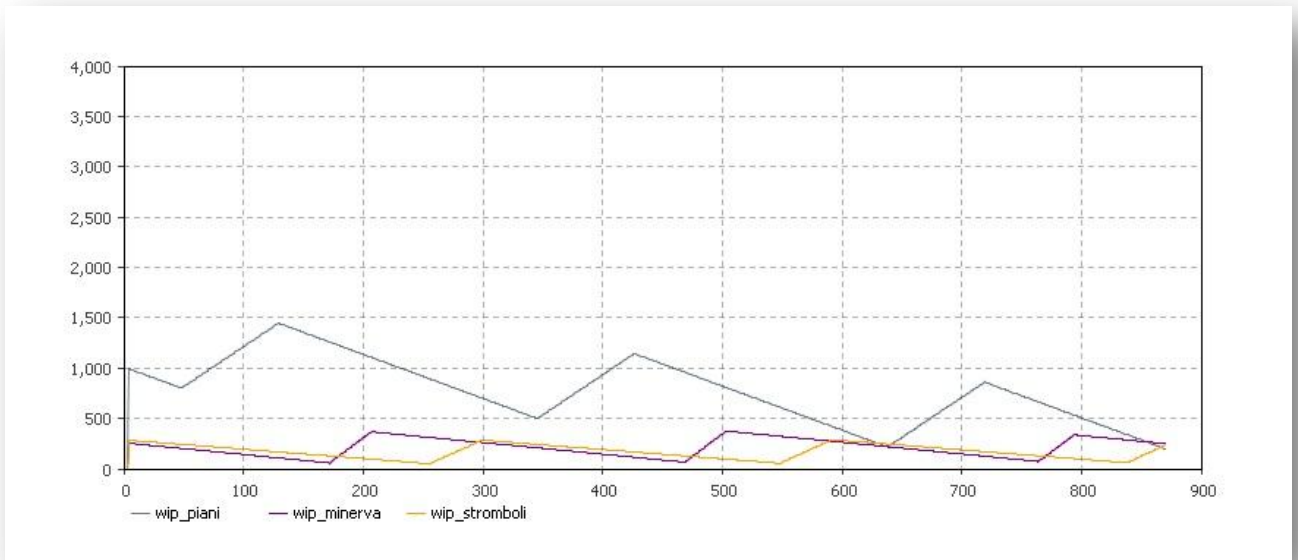


Figura 4.26 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 5° politica

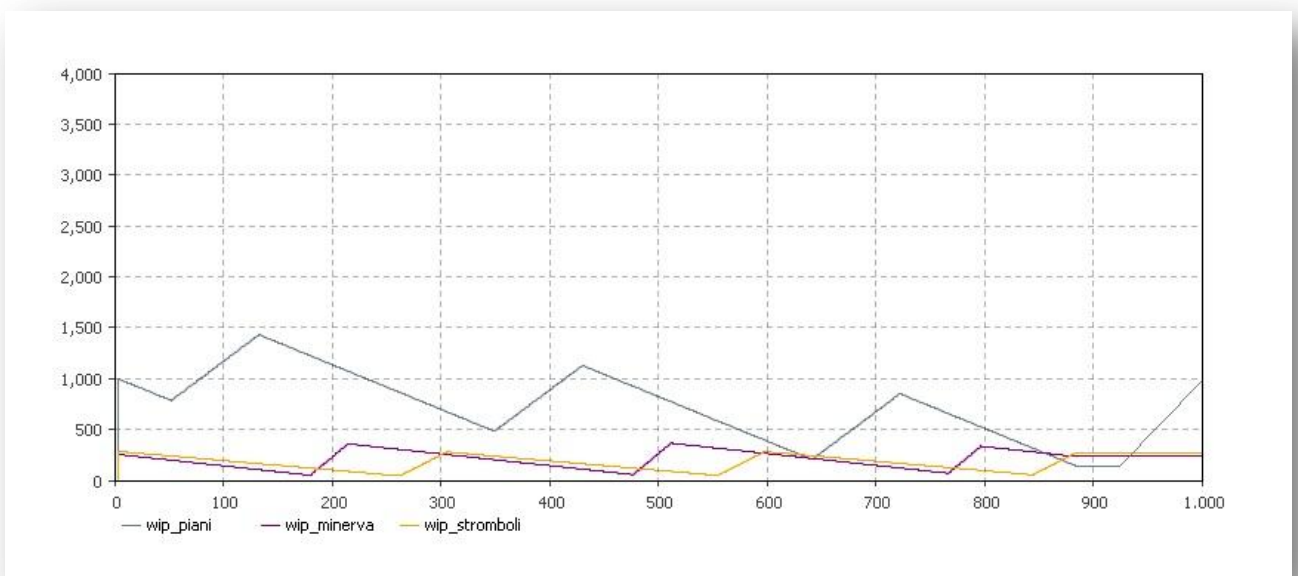


Figura 4.27 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 6° politica

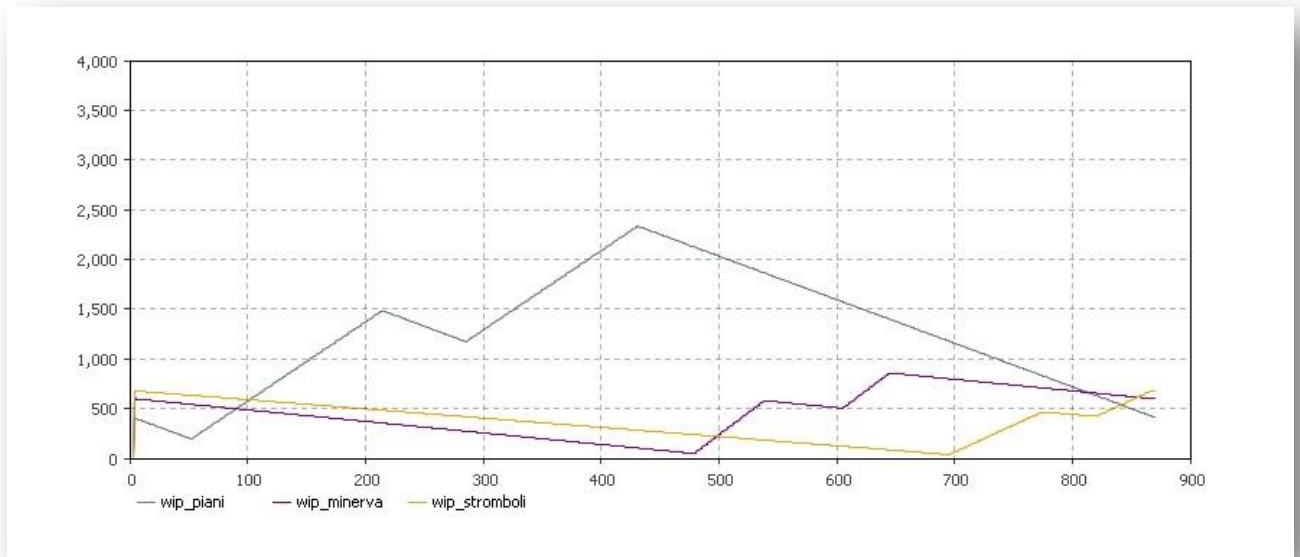


Figura 4.28 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 7° politica

La settimana politica, attraverso lo spegnimento-accensione della macchina, ricrea una situazione dell'andamento del wip simile ad una gestione ad alto numero di setup. In figura 4.28 è possibile notare come lo spaccettamento dei lotti da produrre abbia anche portato ad una diminuzione del numero massimo di scorte per tipologia di prodotto rispetto alla gestione a tre soli setup.

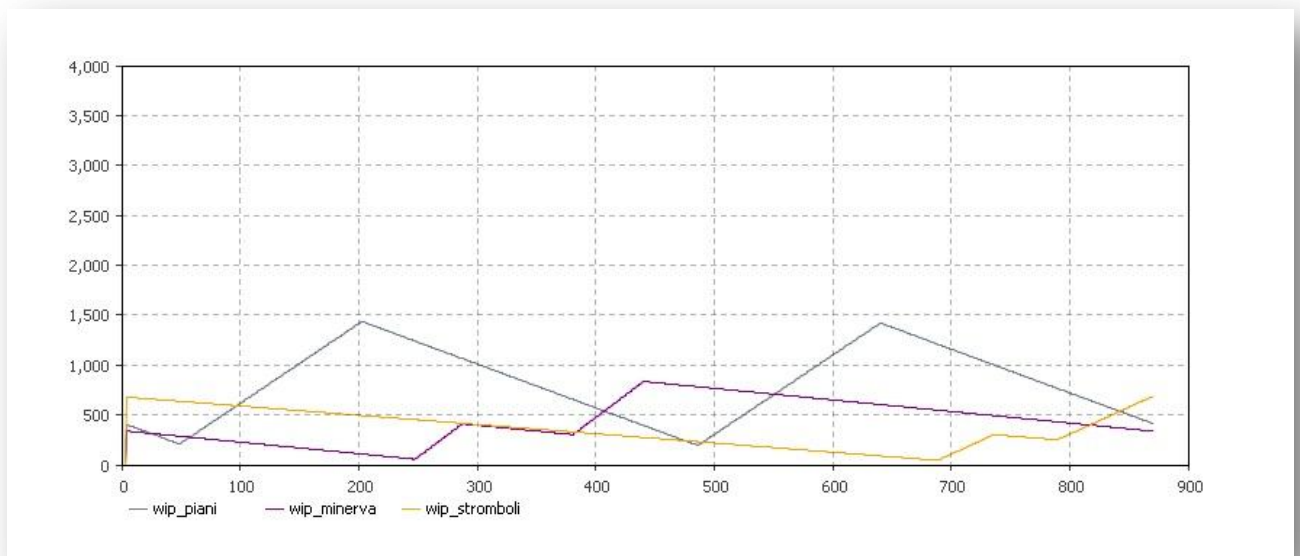


Figura 4.29 – Andamento temporale del Wip pre-linee nella 8° politica

Attraverso un accorto re-scheduling della settimana politica si è ottenuto un netto miglioramento nell'andamento del wip prima delle linee, come visibile in figura 4.29. Lo spostamento del secondo lotto di produzione dei piani cottura ha determinato un miglior posizionamento all'interno del flusso delle scorte, minimizzandone così il numero massimo e di conseguenza anche il dimensionamento dei buffer.

I lotti di ogni task sono qui stati ottimizzati così da aumentare lo spazio temporale tra le loro esecuzioni, saturando quindi i due turni lavorativi, e diminuire il numero massimo di pezzi nei buffer.

4.7. Valutazione economica delle politiche

4.7.1. Funzione di costo

Si è deciso di valorizzare i diversi parametri di prestazione del sistema anche secondo una funzione di costo; questa equazione dovrà tener conto di quelli che sono solo i costi che variano tra le diverse politiche di produzione. Nella tabella numero 4.21 sono riportate le variabili che compongono la funzione:

NOME VARIABILE	U.D.M.	COSTI unitari
T_lavorato	Minuti	40 c€/minuto
T_straordinario	Minuti	50 c€/minuto
Energy_tot	kWatt	11 c€/kwh
Buffer_wip_in	Pezzi	3 c€/pezzo
Buffer_piani	Pezzi	6 c€/pezzo
Buffer_minerva	Pezzi	15 c€/pezzo
Buffer_stromboli	Pezzi	15 c€/pezzo

Tabella 4.21 – Parametri della funzione di costo

$$f(\text{€}) = T_{\text{lavorato}} * 3 \text{ operatori} * 40 \frac{\text{c€}}{\text{minuto}} + (T_{\text{straordinario}} * 3 * \frac{50\text{c€}}{\text{minuto}}) + \text{Energy}_{\text{tot}} * \frac{11\text{c€}}{\text{kwh}} + \text{Buffer}_{\text{wip}_{\text{in}}} * \frac{3\text{c€}}{\text{pezzo}} + \text{Buffer}_{\text{piani}} * \frac{6\text{c€}}{\text{pezzo}} + \text{Buffer}_{\text{minerva}} * \frac{15\text{c€}}{\text{pezzo}} + \text{Buffer}_{\text{stromboli}} * \frac{15\text{c€}}{\text{pezzo}}$$

Il T_straordinario verrà conteggiato solo nel caso in cui la macchina non riuscirà a produrre tutti i pezzi necessari e si dovrà ricorrere allo straordinario, quindi oltre gli 870 minuti stabiliti (2 turni lavorativi).

Invece, per quanto riguarda i buffer, si è deciso di dare un costo diverso ai semilavorati piani cottura e ai due tipi di forni siccome hanno dimensioni finali diverse e volume occupato a pezzo ben diverso; la valutazione economica (del costo dei pezzi semilavorati) è volutamente basata sul tasso fisico di occupazione degli spazi del magazzino e non tiene in considerazione il tasso finanziario, cioè il costo del capitale circolante, siccome è un dato contabile secretato da politiche aziendali.

Nella funzione si è deciso di non valorizzare i setup: infatti l'extra costo di straordinario, conseguenza di troppi setup, è già considerato in maniera esplicita nel modello; non si considerano invece né subforniture, né mancate produzioni (la produzione deve essere soddisfatta); infine, sono trascurati altri costi vivi (i.e. impiego di materiali e di tecnici specialisti).

La valorizzazione del costo dei buffer è stata realizzata partendo dall'ipotesi di dover realizzare i magazzini dimensionandoli rispetto al numero massimo dei wip per ogni prodotto, in più sono stati inclusi anche i costi di manutenzione.

L'investimento iniziale per la realizzazione dei buffer è stato ricostruito con la seguente formula inversa, fatta considerando la giacenza massima (dimensione), l'orizzonte dell'investimento, ed il costo per pezzo dell'occupazione fisica del magazzino:

$$\text{Investimento } (t = 0) = \text{costo a pezzo}_{buffer} * \text{dimensione}_{buffer} * 230 \text{ giorni lavorativi} * 5 \text{ anni};$$

Si è ipotizzato di spalmare l'uscita di cassa su un ammortamento contabile di cinque anni, così facendo ha permesso di capire meglio la valorizzazione del costo a pezzo buffer.

	BUFFER_WIP_IN	BUFFER_PIANI	BUFFER_MINERVA	BUFFER_STROMBOLI
	3c€/pezzo	6c€/pezzo	15c€/pezzo	15c€/pezzo
3_setup	€ 131.100	€ 186.300	€ 172.500	€ 129.375
3_setup_no_off	€ 131.100	€ 186.300	€ 172.500	€ 129.375
3_setup_slow	€ 131.100	€ 162.150	€ 155.250	€ 120.750
7_setup	€ 46.575	€ 110.400	€ 103.500	€ 86.250
10_setup_870min	€ 36.225	€ 100.050	€ 69.000	€ 51.750
10_setup_1000min	€ 36.225	€ 100.050	€ 69.000	€ 51.750
on_off	€ 69.000	€ 162.150	€ 155.250	€ 129.375
on_off_scheduling	€ 65.550	€ 100.050	€ 146.625	€ 120.750

Tabella 4.22 – Investimento iniziale ipotizzato per la realizzazione dei buffer

La valutazione economica è basata quindi tra un trade-off di costi vari e costi impiantistici a tasso fisso.

4.7.2. Analisi dei risultati numerici

Dopo aver inserito i valori delle variabili in esame all'interno della funzione di costo si sono ottenuti i seguenti risultati:

NOME POLITICA	F(€) giorno	F(€) anno
3_setup	€ 1.398	€ 321.458
3_setup_no_off	€ 1.405	€ 323.071
3_setup_slow	€ 1.561	€ 358.973
7_setup	€ 1.408	€ 323.938
10_setup_870min	€ 1.326	€ 305.084
10_setup_1000min	€ 1.525	€ 350.686
on_off	€ 1.322	€ 303.952
on_off_scheduling	€ 1.311	€ 301.428

Tabella 4.23 – Risultato della funzione di costo

La politica economicamente più conveniente è quella con accensioni e spegnimenti siccome si caratterizza per un ottimale trade-off tra numero di setup e scorte; nella versione con un miglior scheduling si è ottenuto un ulteriore riduzione di costo.

È notevole poter osservare come il non spegnimento della macchina a fine lavorazioni porti, sul profilo annuale, un aumento di costi di gestione pari a circa 1500€.

4.8. Conclusioni ed implementazioni future

Il modello di simulazione presentato permette di monitorare nel tempo l'andamento di diversi parametri fondamentali per una gestione accurata della produzione, come il livello di scorte, e KPI di efficienza. Il modello analitico ha validato la ricostruzione della realtà mediante simulazione.

Le politiche di produzione proposte e sperimentate nel modello di simulazione hanno rappresentato pienamente le diverse visioni/strategie produttive e sintetizzato esaurientemente pregi e difetti. Di sicuro interesse si è rivelata la possibilità di accendere e spegnere la macchina, con tempistiche stabilite dal piano di produzione, così da ottimizzare consumi energetici e wip a valle.

La realtà in analisi in questo capitolo poteva esser sintetizzata anche con un modello analitico che comprendesse tutte le variabili in gioco invece è stata implementato un modello di simulazione siccome

permette di poter integrare i vari aspetti, rende l'analisi più semplice ed intuitiva oltre a poter sfruttare una rappresentazione grafica che porta ad una comprensione immediata degli stati del sistema.

4.9. Bibliografia

Christoph Herrmann, Lars Bergmann, Sebastian Thiede, André Zein, 2007. *Framework for Integrated Analysis of Production Systems*. Technical University Braunschweig

T. Devoldere, W. Dewulf, W. Deprez, B. Willems, J. R. Duflou, 2007. *Improvement Potential for Energy Consumption in Discrete Part Production Machines*. Katholieke Universiteit Leuven

Gilles Mouzon, Mehmet B. Yildirim, Janet Twomey, 2007. *Operational methods for minimization of energy consumption of manufacturing equipment*. Wichita State University

Y. He, F. Liu & J. L. Shi, 2008. *A framework of scheduling models in machining workshop for green manufacturing*. Chongqing University

Christoph Herrmann, Sebastian Thiede, Julian Stehr and Lars Bergmann, 2008. *An environmental perspective on Lean Production*. Technical University Braunschweig

Anton Dietmair, Alexander Verl, 2008. *Energy Consumption Modeling and Optimization for Production Machines*. ICSET

XJ Technologies, 2008. *Java Basics For AnyLogic*. XJ Technologies

Gilles Mouzon, 2008. *Operational methods and models for minimization of energy consumption in a manufacturing environment*. Wichita State University

Emanuele Vallo, 2009. *Metodi di gestione della produzione per il miglioramento dell'efficienza energetica*. Politecnico di Milano

Christoph Herrmann, Sebastian Thiede, 2009. *Process chain simulation to foster energy efficiency in manufacturing*. Technische Universität Braunschweig

Y. Kishita, Y. Mizuno, M. Hirotsuki, H. Wada, S. Fukushima, Y. Umeda, 2010. *A Holistic Approach to Computer-Aided Scenario Design Targeting Sustainable Manufacturing*. Osaka University

Wikipedia, 2010. *AnyLogic*. Wikipedia

Wikipedia, 2010. *Distribuzione triangolare*. Wikipedia

Klaus Erlach, 2010. *Energy Efficiency in Manufacturing Using the Energy Value Stream Method for Building an Energy-Efficient Factory*. Computer Science Editorial

Alessandro Cannata, Marco Taisch, Emanuele Vallo, 2010. *Energy Efficiency Optimization through Production Management Decisions in Manufacturing Environment*. Politecnico di Milano

Wikipedia, 2010. *Simulazione*. Wikipedia

Alessandro Cannata, 2011. *A Methodology to enhance Energy Efficiency at Factory Level: Improvements for Sustainable Manufacturing*. Politecnico di Milano

Capitolo 5

Conclusioni ed ulteriori sviluppi

5.1. Riscontri pratici

Il periodo di stage in Whirlpool Europe ha sollevato diversi risultati e riscontri dal campo, tra cui:

- Inconsistente politica di monitoraggio dei consumi energetici di fabbrica ed impianti
- Minima presenza di contatori su utenze

I contatori presenti nello stabilimento di Cassinetta erano in numero non sufficiente per poter elaborare una corretta politica di monitoraggio e controllo dei consumi; quelli già presenti erano contatori degli impianti generali utili per poter attribuire alle fabbriche Cooking i relativi consumi energetici, andando però ad inglobare tutte le utenze presenti.

È stato avviato un processo di ridefinizione della mappa delle utenze che ha portato, per quanto possibile, ad attribuire i costi energetici ai relativi consumatori, suddivisi per centri di costo. Grazie al monitoraggio continuo e all'analisi dei consumi dichiarati mese per mese ed incrociando i dati con altre realtà ci si è resi conto che alcuni contatori erano fuori taratura e quindi rilevavano in modo errato.

Sono stati definiti dei nuovi punti di inserimento di ulteriori contatori di vapore, così da monitorare l'utilizzo dell'energia preponderante nella realtà analizzata e poter in seguito suddividere i costi fissi, per il trattamento aria, dai costi variabili, dati dalle macchine di produzione.

Grazie all'aiuto del reparto manutenzione sono state eseguite letture a distanza di dodici ore per un arco temporale ritenuto sufficiente, pari a quaranta giorni lavorativi, così da poter escludere eventuali outlier, dei contatori installati sulle utenze. Nel caso erano presenti due contatori di gas naturale installati sulle linee di mandata dei principali forni di smalteria con attribuzione 1 a 1 dei consumi letti alle utenze.

La mappa delle utenze corretta e le misurazioni svolte dalla manutenzione, oltre ai numerosi rilevamenti eseguiti direttamente da quadri elettrici, dati di targa e da altri strumenti di misurazione (es. flussometri), hanno permesso la creazione di una knowledge base solida e consistente che permetterà all'energy manager delle fabbriche Cooking una stesura affidabile e consistente del budget energetico per l'anno 2012.

Attualmente la fabbrica forni sta subendo un processo di factory master plan che porterà alla ridefinizione del layout dei reparti primari; nei nuovi impianti, in corso di installazione, saranno inseriti, direttamente sulle utenze, dei contatori energetici in tele lettura, così da permettere un monitoraggio continuo e metodico, anche da remoto.

5.2. Riscontri teorici

L'introduzione di tool potenti come KPI e simulazione, in realtà grandi e burocratiche come le multinazionali, è a volte difficoltosa o, comunque, presenta delle inerzie "fisiologiche" che allungano i tempi. Attualmente sono stati implementati dei Key Performance Indicator a livello di stabilimento; invece, a livello di fabbrica, sono stati da poco utilizzati. Attraverso gli studi eseguiti è stato possibile studiare meglio i fattori determinanti dei costi variabili, per quanto concerne il consumo energetico a pezzo standard, avviando, in particolare, processi di comparazione dell'utilizzo di energia a budget vs monitorata realmente dagli impianti vs stima di KPI attesi.

Strumenti operativi di analisi "tradizionali" come il diagramma di Pareto sono stati usati per il confronto per priorità delle varie zone produttive per KPI prescelti. Inoltre, bisogna osservare che sono sempre più stringenti anche i tempi di forecasting che impongono così l'uso tool scientifici; nel caso analizzato sono stati impiegati alcuni modelli di smorzamento esponenziale (modello di Brown, modello di Holt e il modello di Winter), tipici della previsione della domanda, per poter prevedere i consumi energetici; i modelli di stima sono stati utilizzati ma non ulteriormente estesi rispetto a quanto presente in letteratura.

Per quanto riguarda la simulazione, l'applicazione in azienda è tuttora in fase di valutazione; da un punto di vista scientifico, quindi, l'esperienza aziendale rappresenta un'*action research* nell'ambito della quale è nata ed è stata testata l'idea di usare la simulazione dinamica per l'analisi congiunta degli stati energetici e produttivi di un impianto industriale.

A beneficio di eventuali impieghi futuri della simulazione in azienda, si può sottolineare che durante lo sviluppo del modello nel simulatore sono stati riscontrati dei miglioramenti necessari, che richiederanno estensioni dell'attuale implementazione, tra cui:

- la parametrizzazione dei tempi di lavorazione macchina – prodotto: fatta facendo trasmettere i tempi di lavorazione alla macchina attraverso il prodotto creato con l'oggetto "source";
- la parametrizzazione delle velocità di lavoro imposte alla macchina: fatta facendo trasmettere le modalità di lavoro (fast o slow) alla macchina attraverso il prodotto creato con l'oggetto "source";
- l'analisi di sensitività rispetto a fattori endogeni al modello di simulazione in fabbrica: fatta effettuando delle analisi di sensitività rispetto ad esempio al prezzo dell'energia.

Il modello creato e l'architettura implementata potrebbero essere molto utili come sistema di supporto alle decisioni per un'eventuale programmazione della produzione basata anche sull'ottimizzazione dell'uso delle energie. D'altronde, la presenza di strumenti di simulazione potenti, come si è dimostrato lo strumento usato per questo lavoro (i.e., Any Logic), permetterà certamente tali prospettive applicative. Così la simulazione potrebbe divenire una leva rilevante per rispondere alla crescente importanza della risorsa energetica che renderà sempre più necessario che le decisioni operative siano allineate ad obiettivi e strategie di business che non prescindono più dall'impatto ambientale diretto dato dall'attività, oltre ai relativi costi.

...Ringraziamenti...

...e finalmente posso scrivere i ringraziamenti...

...e finalmente posso dire che è finita!

Sono stati 6 anni molto importanti in cui diverse persone sono entrate ed uscite dalla mia vita...6 anni in cui la mia forma mentis, il mio IO, si è trasformato fino a quello che sono diventato ora...

Di seguito ringrazierò delle persone senza un ordine predeterminato e metodologico... chi dovesse esser rimasto fuori dall'elenco è pregato di "non prendersela male"! (dimenticanza mia, sorry...)

Grazie all'Ing. Marco Macchi per l'aiuto fornitomi in fase di stesura e revisione della tesi, oltre al suo perenne stimolo al miglioramento della stessa.

Grazie all'Ing. Alessandro Cannata per le numerose telefonate su Skype, da ogni parte del globo, per il supporto alla raccolta dati, implementazione del modello di simulazione ed arricchimento della bibliografia.

Grazie ai miei GENITORI per aver contribuito in ogni forma e modo a questo risultato, senza di loro non ce l'avrei mai fatta!!! Grazie per avermi convinto ad iscrivermi al primo anno di Ingegneria in quel di Lecco... Avermi sopportato nei momenti di tensione degli esami e spronato al raggiungimento del risultato finale... oltre ad aver finanziato i miei studi!

Grazie ai miei NONNI, anche se ormai sono tutti scomparsi, so che mi guarderanno dal cielo e mi saranno vicini in uno dei momenti più belli della mia vita! Grazie al nonno per avermi ospitato più volte per i pranzi a Lecco e alla nonna per avermi spronato a concludere così da poter "affiggere il suffisso sulla cassetta della lettere"...

Grazie a te BARGI, per tutto, per esserci ancora dopo tutte le peripezie passate insieme, dopo tutte le montagne russe tra noi... Grazie per essermi stata vicina durante le numerose sessioni di esami, grazie per le innumerevoli tisane a tarda sera, grazie per i bei momenti passati insieme... grazie di tutto, davvero! ☺

Grazie alla Whirlpool Europe per aver creduto in me... nella speranza di una carriera veloce e costantemente in crescita...

Grazie all'Ing. Marco Deambrogio, tutor aziendale ed ex Industrial Engineering Senior Manager, per avermi accolto nell'I.E. del Cooking ed avermi fatto crescere nel periodo di stage, oltre aver formalizzato la mia assunzione...

Grazie all'Ing. Gabriele Guzzetti, attuale Industrial Engineering Manager del Cooking, per la comprensione mostrata in questi mesi di preparazione della tesi ed ai numerosi consigli...

Grazie all'Ing. Nicola de Guida, Plant Manager Cassinetta & Plant Director Cooking Factory, per credere nello sviluppo di un processo di miglioramento continuo dell'efficienza energetica.

Grazie ad Ambrogio Rovera, ed al suo team di manutenzione, che mi hanno seguito ed aiutato con i numerosi rilevamenti eseguiti nelle fabbriche!

Grazie ai “tre dell’ave e maria” della mensa che giorno dopo giorno, pranzo dopo pranzo, hanno allietato le pause con aneddoti vari ed eventuali.

Grazie a Francesco Ruiu che dal mio primo arrivo in fabbrica è sempre riuscito a farmi sorridere, anche nei momenti più bui.

Grazie a tutti i colleghi conosciuti perché ognuno di loro è riuscito a lasciarmi qualcosa di importante ed ho potuto così imparare molto sul campo!

Grazie a tutti i miei colleghi del Poli che si sono succeduti anno dopo anno, sia quelli che si sono arresi al primo scoglio, sia quelli che sono arrivati in fondo come me! Grazie per aver condiviso esami, progetti e scleri vari!

Grazie a tutti i miei amici, quelli che a volte trascuro ma so comunque di poter sempre contare su di loro...
GRAZIE MILLE A TUTTI!!!

E tu, che stai leggendo i ringraziamenti, e se sei arrivato qui e non hai trovato il tuo nome, GRAZIE GRAZIE GRAZIE!!!