



Ricerca di Sistema elettrico

# Elaborazione di una metodologia per la caratterizzazione energetica dei principali settori produttivi italiani

S. Miranda, M. Alfano, R. Iannone

ELABORAZIONE DI UNA METODOLOGIA PER LA CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DEI PRINCIPALI SETTORI PRODUTTIVI ITALIANI

Salvatore Miranda, Maria Alfano, Raffaele Iannone (Università di Salerno)

Con la collaborazione di: Stefano Riemma e Alfredo Lambiase (Università di Salerno)

**Dicembre 2019**

**Report Ricerca di Sistema Elettrico**

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: N. 1 - Tecnologie

Progetto: 1.6 – Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Work package: 4 – Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica

Linea di attività: L4.7 – Elaborazione di una metodologia per la caratterizzazione energetica dei principali settori produttivi italiani

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work package: Fabrizio Martini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Determinazione analitica dei consumi energetici per unità di prodotto dei principali settori energivori italiani”*

Responsabile scientifico ENEA: Fabrizio Martini

Responsabile scientifico per l'Università di Salerno: Salvatore Miranda

## Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 L'ANALISI E LA MAPPATURA DEI PROCESSI.....	6
1.1 DEFINIZIONI DI PROCESSO.....	6
1.2 APPROCCI PER L'ANALISI E LA MAPPATURA DEI PROCESSI.....	8
1.3 GLI STRUMENTI PER L'ANALISI E LA MAPPATURA DEI PROCESSI.....	10
2 METODOLOGIE DI MAPPATURA E ANALISI DEI PROCESSI AZIENDALI PER L'INDIVIDUAZIONE DEI FABBISOGNI/USI ENERGETICI.....	13
2.1 METODO DI ANALISI DELLA LETTERATURA TECNICO-SCIENTIFICA.....	13
2.2 RISULTATI.....	13
2.3 METODOLOGIA DI STRUTTURAZIONE ENERGETICA AZIENDALE PROPOSTA DA ENEA.....	24
3 SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA PER L'ANALISI E LA MAPPATURA DEI PROCESSI AZIENDALI.....	26
4 CONCLUSIONI.....	28
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	29
6 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO IMPEGNATO NELL'ATTIVITÀ.....	31
6.1 SALVATORE MIRANDA.....	31
6.2 MARIA ALFANO.....	31

## Sommario

Il settore industriale è responsabile di una quota molto significativa dei consumi energetici mondiali. Per tale motivo per le imprese diventa importante attuare politiche di ottimizzazione energetica e di riduzione degli impatti ambientali.

In questo lavoro è stato approfondito il concetto di mappatura e analisi dei processi produttivi aziendali, come mezzo per la comprensione dello stato attuale dei processi, attraverso la scomposizione di un'organizzazione complessa in attività elementari per l'individuazione di tutti i legami logici esistenti. Il process mapping può essere impiegato per differenti scopi. In questo lavoro, esso è visto come strumento per l'identificazione degli aspetti energetici fondamentali connessi ai processi produttivi, al fine di ottenere tutte le informazioni utili alla definizione e calcolo di indicatori di prestazione energetica ideali per i principali settori energivori italiani.

La ricerca condotta sui metodi per il process mapping, ha fornito una panoramica generale sul concetto di mappatura e analisi dei processi produttivi in ambito industriale, evidenziando gli strumenti che possono essere impiegati per strutturare una mappa di processo.

Un'analisi della letteratura ha consentito, inoltre, di ottenere un quadro degli approcci disponibili dal punto di vista tecnico-scientifico, che mirano all'efficientamento dei processi produttivi energetici attraverso una valutazione delle prestazioni energetiche, ottenuta mediante metodologie di process mapping. Gli approcci individuati sebbene si focalizzano tendenzialmente sulla misurazione e valutazione dei consumi e delle prestazioni energetiche dei processi, presentano una metodologia facilmente adattabile agli scopi del presente lavoro di ricerca.

A partire dai risultati dell'analisi della letteratura, è stato proposto un metodo per la mappatura e l'analisi dei processi produttivi aziendali. Questa metodologia permetterà così di poter utilizzare le informazioni provenienti dalla mappatura dei processi al fine di individuare indici di prestazione caratteristici come ad esempio quelli energetici. Tale metodo vuole essere un utile riferimento nello studio dei sistemi produttivi in esame e fornire gli strumenti necessari per indagare sulle cause degli usi e consumi energetici.

## Introduzione

Il presente Rapporto si riferisce alle attività di ricerca svolte nel periodo Gennaio 2019 – Dicembre 2019, relativamente al Word Package 4 “Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica”, che si inserisce nel Progetto “1.6 Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali” del piano triennale 2019-2021 della Ricerca di Sistema elettrico nazionale (RdS) formulato, ai sensi dell'art. 2 del decreto 16 aprile 2018, dal Ministero dello sviluppo economico. La presente linea di attività vede la collaborazione tra l'Unità Tecnica Efficienza Energetica dell'ENEA, Il Dipartimento di Ingegneria Industriale, dell'Università degli studi di Salerno e il Centro per l'Innovazione Tecnologica e lo Sviluppo del Territorio (CINTEST) a cui afferiscono l'Università degli studi della Toscana e l'Università di Roma “Tor Vergata”.

Tutti i Paesi sviluppati si trovano a dover affrontare una grande sfida: far crescere le loro economie in modo sostenibile. La domanda di energia nel mondo è infatti in crescita e il settore industriale, responsabile del 30% dei consumi globali di energia elettrica, gioca in questo un ruolo fondamentale.

Infatti, secondo il World Energy Outlook Report (WEOR), in tutto il mondo, l'industria consuma quasi la metà di tutta l'energia commerciale utilizzata ed è responsabile per quote approssimativamente simili di gas a effetto serra. In particolare, dal rapporto, la produzione manifatturiera è responsabile per il 37% del consumo di energia primaria in tutto il mondo nel 2012 e per il 40% del consumo di elettricità in Europa. Il WEOR1 osserva che “Il settore industriale è molto complesso e una comprensione dettagliata dei vari processi o tipi di prodotto è necessaria per monitorare l'efficienza energetica.”

L'incremento di efficienza energetica a parità di volumi di produzione risulta inoltre strategico al fine di conservare un margine di competitività a livello mondiale, poiché il costo energetico per unità di prodotto va ad impattare pesantemente sul costo del prodotto finale. Inoltre, la quantità di CO<sub>2</sub> emessa dai processi produttivi, oltretutto, è stata trasformata, ormai da alcuni anni, in un fattore di costo per l'impresa, rappresentando, in questo modo un incremento degli oneri tale da giustificare la ricerca di soluzioni capaci di ridurre permanentemente i consumi e che siano quindi in grado di incrementare l'efficienza dei processi produttivi e di aumentare la produzione stessa.

Quindi, per le imprese diventa fondamentale monitorare ed ottimizzare l'uso dell'energia, contemporaneamente gestendo i costi: oltre che garantire l'uso responsabile delle risorse, gli interventi di efficientamento energetico consentono di rimanere fortemente concorrenziali nei mercati internazionali e, oggi molto più di ieri, essere sostenibili si traduce in una forte leva di marketing e di successo commerciale, quando il riferimento diventa la competitività di lungo periodo.

È quindi estremamente importante conoscere, sviluppare e implementare diverse tecnologie e metodologie per l'efficienza energetica e saper correttamente valutare i relativi costi e benefici, per promuovere il miglioramento delle modalità di consumo energetico senza compromettere la crescita economica.

Oggetto di studio del sopracitato progetto di ricerca, in cui si inserisce la presente linea di attività, sono i processi produttivi di industrie altamente energivore, allo scopo di efficientare l'uso delle risorse e ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Si definiscono imprese energivore, secondo i parametri previsti dal DM 21 dicembre 2017, le imprese che hanno un consumo medio di energia elettrica pari ad almeno 1 GWh/anno e che rispettano uno dei seguenti requisiti:

- operano in uno dei settori dell'Allegato 3 delle Linee guida CE;
- operano in uno dei settori dell'Allegato 5 delle Linee guida CE e hanno un indice di intensità elettrica positivo superiore al 20%;
- non rientrano nei primi due punti, ma sono ricomprese negli elenchi delle imprese a forte consumo di energia redatti, per gli anni 2013 o 2014, dalla Cassa per i servizi energetici e ambientali (CSEA) in attuazione dell'articolo 39 del decreto-legge n. 83/2012.

Il D.Lgs. 102/2014 ha obbligato tutte le grandi imprese e quelle energivore all'obbligo di diagnosi energetica ogni 4 anni a partire dal dicembre 2015. Nel dicembre del 2019 vi è la scadenza del quadriennio avviato il 5 dicembre 2015. Questo lascia prevedere l'invio ad ENEA di più di 13.000 nuove diagnosi energetiche. L'ENEA dal 2016 ha avviato una fitta rete di relazioni con diverse associazioni di categoria che ha portato alla pubblicazione di alcuni studi di settore. L'attività che ENEA si prefigge di svolgere, nell'ambito del progetto D3 (WP4) "Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica" è la valorizzazione della significativa banca dati costituita dalle diagnosi energetiche pervenute e la conseguente determinazione e valutazione di indici di riferimento affidabili per i principali settori produttivi energivori, arricchendo le informazioni derivanti dall'analisi dei suddetti dati, da caratterizzazioni e analisi specifiche dei processi produttivi caratteristici. In tale specifico ambito si inserisce il presente lavoro di ricerca.

Nell'ambito di questo progetto, da gennaio a dicembre 2019 UNISA ha operato in stretta collaborazione con l'Università della Tuscia allo scopo di ottenere come obiettivo finale, al termine del triennio di attività, lo sviluppo di indicatori di consumo ideale per alcuni settori industriali di particolare interesse. In particolare, le attività previste per UNISA sono finalizzate all'analisi e alla caratterizzazione energetica di 5 settori produttivi fortemente energy intensive, da svolgersi durante il biennio 2020-2021. Tali attività svolte in stretta collaborazione con UNITUSCIA, consentiranno a quest'ultima di definire opportune metodologie di calcolo dei suddetti indicatori energetici di riferimento nazionali. Questo consentirà di mettere a disposizione delle imprese dei settori analizzati, un valido strumento di costante monitoraggio delle proprie prestazioni energetiche.

Nel dettaglio, UNISA, durante questo primo anno di attività ha svolto un'analisi della letteratura tecnico scientifica che negli ultimi 5 anni si è concentrata sullo studio di metodologie di mappatura e analisi dei processi produttivi al fine di individuare gli usi energetici aziendali. L'individuazione, in linea generale, di un metodo di modellazione dei processi produttivi è fondamentale per l'implementazione delle successive fasi previste dal progetto che richiedono, per l'appunto, l'applicazione pratica della metodologia individuata a specifici settori di interesse nazionali, opportunamente concordati con Enea.

## 1 L'analisi e la mappatura dei processi

La suddivisione dell'azienda in attività di diversa natura, presentata da Porter negli anni Ottanta attraverso la definizione di un modello che permette di descrivere la struttura di una organizzazione come un insieme limitato di processi, ha dato il via ad una serie di studi ed esperienze aziendali significative che hanno portato, ad oggi, a considerare l'azienda come un insieme di processi interfunzionali e non più come un insieme di funzioni. Questa "rivoluzione" ha consentito grandi miglioramenti di efficienza e di efficacia, sia a livello produttivo che manageriale. La visione dell'azienda come un continuo scambio di materiali, informazioni, idee, aumenta la consapevolezza di ciò che si produce all'interno di essa e dei fabbisogni associati alla produzione.

Adottare un approccio per processi nella gestione dell'azienda, richiede una scomposizione e rappresentazione degli stessi. Per fare ciò, è necessario prima identificare quali sono i processi presenti all'interno dell'organizzazione. Tale identificazione non è sempre semplice e immediata, perché i processi sono spesso costituiti da attività non identificate esplicitamente e possono presentare elementi di sovrapposizione tra loro. Le stesse attività elementari che compongono il processo possono essere di difficile identificazione o difficilmente separabili da altre attività collegate.

### 1.1 Definizioni di processo

Un processo è un insieme d'attività strutturate e misurate, progettato per produrre uno specifico output per un mercato o un cliente particolare" [1]. Tutti i processi trasformano degli input in output eseguendo

alcune determinate attività che impiegano risorse, rispettando vincoli e standard per soddisfare le esigenze del cliente. Le attività che compongono un processo sono “tra di loro interdipendenti e finalizzate al perseguimento di un obiettivo comune, il quale, per il singolo processo, si identifica nella creazione di valore per il destinatario dell’output, ma che, per la rete di processi che compongono l’organizzazione, in ultima analisi, coincide con i valori e gli obiettivi dell’organizzazione stessa. Esso riceve un certo input (materiali, istruzioni e specifiche del cliente), vi apporta trasformazioni che aggiungono valore, utilizzando risorse proprie dell’organizzazione, ossia persone, mezzi e strutture ed infine trasferisce all’esterno l’output richiesto, prodotto/servizio e/o informazioni [2].

Nel definire un processo va chiarito il suo obiettivo, e cioè le motivazioni per cui esso viene condotto e come crea il valore aggiunto che ne giustifica la realizzazione. Un obiettivo di processo non va confuso con gli obiettivi in termini di indicatori di performance che ne valutano l’efficienza e l’efficacia.

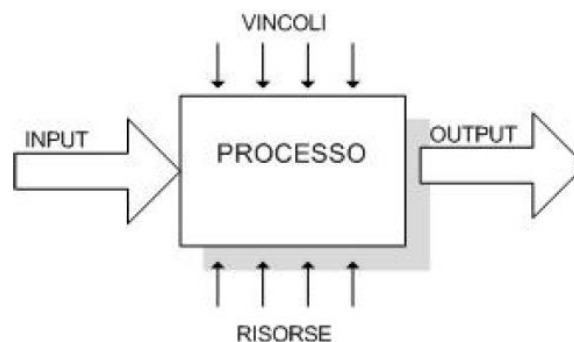
Un processo è composto da più attività collegate tra di loro. Con attività s’intende una parte del processo svolte su oggetti fisici o informativi in relazioni a decisioni prese da chi opera nel processo di appartenenza dell’attività. “Ogni azienda è un insieme di attività che vengono svolte per progettare, produrre, vendere, consegnare e assistere i suoi prodotti” [3]

Le attività che costituiscono un processo e, quindi, il processo stesso, sono caratterizzate da tre elementi:

- Un costo delle attività e, quindi del processo;
- Il tempo di svolgimento delle attività per il passaggio da input ad output;
- La qualità dell’output, che risulta dalla qualità dell’esecuzione delle singole attività del processo.

Questi tre elementi valutati per tutte le attività che compongono un processo costituiscono una misura dell’efficacia e dell’efficienza con cui si svolge il processo.

Un processo può in generale essere rappresentato, con gli elementi che lo compongono, utilizzando lo schema di processo IDEFO (Figura 1).



**Figura 1 - Schema di processo IDEFO**

Input del processo, o risorse trasformate, sono le informazioni, i materiali o le persone che vengono immessi nel processo affinché subiscano una trasformazione (fisica o informativa) attraverso la realizzazione delle attività che costituiscono il processo.

I vincoli, o process driver, sono le istruzioni, le regole, le prassi, le informazioni che condizionano lo svolgimento delle attività che compongono il processo.

Le risorse, dette anche risorse trasformanti, sono le persone, gli strumenti e, in generale, le risorse fisiche o intangibili che consentono lo svolgimento dell’attività di trasformazione.

Gli output rappresentano i risultati del processo, di natura fisica o informativa.



## 1.2 Approcci per l'analisi e la mappatura dei processi

Con il termine Process Mapping (analisi delle attività e dei processi aziendali), si intende "l'applicazione di una metodologia formalizzata di identificazione degli output principali (prodotti, servizi, informazioni, regole, procedure, principi, norme) di una determinata impresa al fine di ricostruire i processi che li hanno generati. Si tratta di scomporre un'organizzazione complessa in attività elementari facili da gestire e di ricostruire, attraverso appropriate tecniche di modellizzazione, una mappa dei legami di tipo logico tra le attività lungo i processi gestionali" [4]. La mappatura permette di capire qual è lo stato attuale di un processo e quali siano le possibili azioni correttive ad esso apportabili per migliorarne le performance ed accrescere la soddisfazione dei suoi clienti. Ostinelli riassume così gli obiettivi che stanno alla base di un intervento di mappatura dei processi gestionali:

1. Comprendere in che modo le risorse aziendali (umane, tecnologiche e di struttura) sono impiegate (ciò che realmente viene fatto – what is done);
2. Rendere esplicite le interdipendenze che esistono tra le differenti attività anche se svolte da funzioni aziendali distinte;
3. Valutare la convenienza economica di differenti corsi d'azione (per esempio, produrre all'interno o acquistare all'esterno, avvalersi di quel canale distributivo, entrare in un nuovo business) attraverso la determinazione dei costi delle attività connesse all'alternativa prescelta;
4. Imputare i costi delle attività aziendali, soprattutto quelle legate a processi di natura manageriale e di supporto, agli oggetti ultimi di calcolo, e cioè i prodotti, i servizi, le tipologie di clienti, i canali distributivi, le aree geografiche;
5. Determinare il mix e il livello appropriati di risorse da assegnare ai processi (budgeting di processo);
6. Semplificare i processi gestionali identificando le attività che non aggiungono valore alla soddisfazione del cliente, ovvero quelle attività ridondanti e non necessarie che assorbono risorse, aumentano i costi aziendali senza, però, generare benefici significativi in termini di posizione competitiva detenuta dall'azienda.

Mappare serve a rendere espliciti i legami di tipo logico tra tutte le attività aziendali ed impiegare tali meccanismi operativi in grado di gestire tali legami in modo efficace ed efficiente. Per gestire meglio l'impresa è, infatti, necessario conoscere e riconoscere "ciò che si fa", e cioè tutto ciò che è fatto per progettare, realizzare, promuovere, vendere ed erogare i prodotti ed i servizi al cliente finale.

Ottenere una rappresentazione strutturata e rigorosa dei processi deve dare all'azienda la possibilità di individuare velocemente attraverso gli schemi grafici prodotti:

- Le attività realmente svolte da ciascuna unità organizzativa, considerando sia attività standard, di routine, sia quelle di carattere eccezionale;
- La struttura delle attività, comprensiva di descrizione sommaria, input, output, risorse utilizzate, periodicità di svolgimento, obiettivi assegnati, fattori di vincolo o di condizionamento dei risultati e i fattori di complessità che determinano direttamente il carico di lavoro delle risorse impegnate ed il consumo delle risorse utilizzate;
- La mappa dei processi gestionali, determinata dal collegamento tra le diverse attività, seguendo il filo logico dello scambio di informazioni e materiali attraverso le varie unità organizzative;
- La partecipazione delle differenti funzioni aziendali ai processi gestionali legata direttamente a come esse rientrano nei vari processi e con che ruolo.

Durante un progetto di analisi e mappatura dei processi aziendali è necessario, prima di tutto, definire alcune caratteristiche fondamentali che si dovranno analizzare prima di iniziare:

- Periodo obiettivo: occorre definire un orizzonte temporale a cui riferire l'analisi.
- Obiettivo del progetto: sarà necessario conoscere lo scopo che ci si prefigge nell'implementazione del progetto di analisi. In genere l'obiettivo del progetto può essere quello di ottimizzare la gestione dei processi interni all'azienda, valutandone indici di prestazione, oppure limitarsi alla conoscenza degli stessi processi attraverso una semplice mappatura.



- Vincoli del progetto: occorre definire i limiti, immediatamente identificabili, con i quali ci si troverà a lavorare.
- Criticità del progetto: bisogna definire anche le problematiche che si suppone ci si troverà a dover affrontare nel corso del progetto. Naturalmente non sarà possibile averne una conoscenza perfetta, ma avere un'idea in anticipo dei problemi che si incontreranno aiuterà poi a risolverli.

Attualmente non c'è un modello/approccio unico, unanimemente riconosciuto ed applicato per la classificazione e l'analisi dei processi. È possibile, però, individuare delle "dimensioni" comuni che fanno parte delle notazioni per la scomposizione e descrizione dei processi, le quali definiscono le caratteristiche specifiche di un dato modello:

- attività (o task): i processi sono composti da attività da eseguire, che possono essere elementari, e quindi avere una definizione precisa e immediata di specifici compiti, o essere a loro volta costituite da un insieme di attività da svolgere; si parla in quest'ultimo caso di descrizione a più livelli o gerarchica dei processi, e i processi si definiscono come costituiti da sottoprocessi.
- dati/oggetti manipolati: le attività di un processo saranno basate su operazioni svolte su oggetti; tali oggetti potranno essere di natura diversa, quali le materie prime in un processo produttivo, le risorse energetiche impiegate e i documenti ufficiali protocollati in una pratica amministrativa.
- agenti/ruoli: si parlerà di esecutori dei processi e a tale scopo diversi approcci potranno essere utilizzati – in tale contesto si troveranno termini quali esecutore, agente, ruoli e così via; in generale un esecutore potrà essere una persona, una macchina o un particolare programma software, oppure l'esecuzione potrà richiedere diversi esecutori di tipologie diverse nello stesso momento; in particolare, nelle strutture aziendali e amministrative, si porrà il problema di identificare chi all'interno di una struttura organizzativa dovrà eseguire una determinata parte di un certo processo. È importante che l'assegnamento delle attività agli esecutori possa essere effettuato in modo flessibile e in modo da minimizzare i cambiamenti necessari a fronte di modifiche nella struttura del processo o dell'organizzazione.
- Punti di decisione: come già indicato nei paragrafi precedenti i punti di decisione sono importanti all'interno dei processi, perché solitamente comportano strade alternative nell'esecuzione dei passi successivi del processo e possono portare a diverse fasi di negoziazione prima di raggiungere il risultato.

Secondo Dossi A. [5], gli approcci perseguibili per l'analisi e la mappatura dei processi, possono seguire alcuni principali filoni:

- Il filone di analisi organizzativa, basata sull'organizzazione process-driven;
- Il filone di analisi economica, sull'Activity Based Costing (ABC) e sulle prestazioni economiche dell'impresa;
- Il filone di analisi strategica, basata sulla visione Resource Based View (RBV);

Con l'avvento della ISO 9001:2000, dedicata ai sistemi di gestione della qualità, il termine "process driven" riferito all'organizzazione, ha acquisito una crescente popolarità. Con tale locuzione, ci si riferisce a modalità gestionali che valutano esplicitamente la prestazione intrinseca dei processi aziendali, indipendentemente dalla struttura organizzativa adottata. Queste modalità gestionali sono innovative in quanto richiedono una definizione formale ed operativa delle attività primarie che sostengono la missione aziendale e dei metodi di valutazione della loro efficacia. Quest'approccio può essere più o meno spinto, in relazione al grado di definizione dei processi e all'estensione dei sistemi di monitoraggio e miglioramento. Quando tale definizione si estende a tutti i processi aziendali, primari e di supporto, e non trascura di valutare anche la loro efficienza, in termini di risorse relative impiegate, si può più opportunamente parlare di "gestione per processi". In ogni caso, in queste definizioni non è in gioco la struttura organizzativa aziendale, che (come accade nella gran parte dei casi) può ben rimanere fedele agli schemi funzionali tradizionali.

In sintesi, un'organizzazione applica un approccio per processi quando considera la gestione aziendale come la gestione di un sistema costituito da un insieme di processi tra loro interagenti.

Perché ciò sia possibile è necessario che:

- i vari processi siano identificati, come pure le loro caratteristiche e le reciproche interazioni;
- gli obiettivi dei vari processi siano tra di loro coordinati e coerenti con la politica e gli obiettivi generali dell'organizzazione;
- le azioni di miglioramento vengano gestite a livello di sistema e quindi distribuite nei vari processi.

Il filone dell'analisi economica basata sull'Activity Based Costing è uno degli approcci che negli ultimi anni ha suscitato il maggiore interesse e che meglio si adatta alle esigenze delle aziende operanti nel nuovo ambiente competitivo. Si tratta di una metodologia che prevede un'analisi delle singole attività al fine di determinarne tutti i costi associati, attraverso i quali si può determinare il costo pieno di prodotto. L'Activity Based Costing mira sostanzialmente a determinare il costo pieno di prodotto evitando le distorsioni provocate da una ripartizione semplicistica dei costi indiretti mediante l'individuazione delle attività necessarie per la realizzazione del prodotto e del determinante di costo corrispondente. Tale filone, in sintesi, permette di sottolineare due messaggi chiave:

- Il processo è un insieme di attività che consumano risorse, questo implica che i modelli per l'analisi dei costi trovino nelle attività elementari l'unità minima di analisi.
- Il riconoscimento delle attività e dei legami che intervengono tra loro, conduce a nuove informazioni, che permettono di fare chiarezza sulle cause dei costi che vengono rilevati consentendo di esprimere giudizi sull'efficienza e l'efficacia della gestione.

Nel caso di una visione RBV, si individua una relazione essenziale tra il possesso di risorse e l'ottenimento di rendite economiche. Lo stock di risorse però non è sufficiente; "si rende necessaria l'implementazione di processi aziendali capaci di combinarle insieme e di incorporarle all'interno di un insieme di attività e di politiche capaci di contraddistinguere la posizione dell'impresa sul mercato" (Collis, Montgomery, 1995). Secondo Dossi: "il vantaggio competitivo e la capacità di generazione delle risorse non dipendono più tanto dalla dotazione iniziale di risorse, quanto piuttosto dalla resourcefulness dell'impresa che le possiede, cioè dalla sua capacità di implementare processi in grado di sfruttare ed esaltare al massimo le potenzialità insite in tale situazione iniziale

### 1.3 *Gli strumenti per l'analisi e la mappatura dei processi*

Per quanto riguarda gli strumenti di mappatura e analisi dei processi, i principali sono i seguenti:

- Matrice RACI
- Il metodo SPARKS;
- Service System Mapping;
- System flowcharting;
- La metodologia IDEF-0;
- Il Control Flowchart;
- Metodologia Role-Activity Diagram

La **Matrice RACI** (Responsible, Accountable, Consulted, Informed) pone in relazione le risorse umane presenti nell'organigramma di un'organizzazione con i principali processi aziendali dei quali sono responsabili. Questa matrice consente un'immediata visualizzazione dei ruoli degli attori nei processi. Attraverso il ruolo di:

1. Responsible: è il responsabile del processo, in altre parole il Process Owner;
2. Accountable: colui che svolge materialmente l'attività del processo;
3. Consulted: viene consultato durante lo svolgimento del processo o dell'attività;
4. Informed: viene informato dello svolgimento dell'attività

Il **Metodo SPARKS** è un sistema basato su software sviluppato dalla Società Cooper & Lybrand (USA). È un sistema che permette una mappatura completa del processo attraverso combinazioni dei suoi elementi, ai quali sono associate statistiche di performance (tempo, costo, qualità, ecc.). È possibile anche valutare la variabilità della performance delle attività e non soltanto la media. Permette di determinare il livello di prestazione medio associabile ad un certo processo ed individuare le attività più critiche; risulta funzionale agli interventi di BPR (business process reengineering).

**Service System Mapping**, nasce per evidenziare, dal punto di vista del cliente, quali problemi di prestazione potrebbero nascere. Una mappa ben costruita basata sul SSM dovrebbe mostrare tutte le attività e i punti di contatto con i clienti finali; mostrare tutte le attività e i punti di contatto con i canali della distribuzione; mostrare le relazioni tra le attività di back-room richieste per servire i canali di distribuzione e i clienti finali; mostrare tutte le informazioni di supporto necessarie; mostrare le relazioni con tutti i fornitori ed i venditori chiave. Una mappa di questo tipo permette di descrivere cronologicamente tutte le attività che si svolgono dal primo fino all'ultimo contatto con il cliente. La mappa mostra tutti i possibili percorsi nella sequenza dei compiti.

Per quanto riguarda il **System Flowcharting** (o Diagramma di Flusso) esso permette di mettere in evidenza [5]:

- gli input che sono ricevuti e da dove provengono;
- quali output sono generati e da chi;
- Quali sono le diverse alternative alla processazione e quali passi implicano;
- Quali archivi (includendo le registrazioni contabili) sono influenzati e su quale mezzo sono registrati;
- Che tipo di controlli contabili sono effettuati.

Il punto di forza di questa tipologia di mappe, oltre ad una elevatissima standardizzazione dei simboli utilizzati, è sicuramente l'elevato grado di dettaglio che è possibile raggiungere.

Le mappe del System Flowcharting possono essere anche gerarchiche. È possibile, infatti, generare il flowchart a diversi livelli di dettaglio:

- Sommario o visione d'insieme: dove vengono rappresentate solo le attività principali;
- Flowchart di sistema: dove è possibile visualizzare dettagli chiave di alcune attività o processi che compaiono nel sommario;
- Program flowchart o diagrammi a blocchi: visualizzano ogni singola operazione compiuta da un computer o da un operatore;

Ai fini di una analisi dei processi non è comunque né necessario né consigliabile arrivare ad un livello di dettaglio troppo elevato a causa della difficoltà di gestire troppi dati.

La **tecnica IDEF-0** è considerata un linguaggio di modellazione delle funzioni con le seguenti caratteristiche:

- Si tratta di una tecnica espressiva, capace di rappresentare graficamente una grande varietà di business, aziende manifatturiere e qualunque altro tipo di impresa ad ogni livello di dettaglio;
- Si tratta di un linguaggio coerente e semplice, implementato per avere espressioni rigorose e precise, e per promuovere consistenza d'uso e d'interpretazione;

- Migliora la comunicazione tra analisti di sistema, sviluppatori e utilizzatori, attraverso la facilità di apprendimento e l'enfasi sulla gerarchica esposizione dei dettagli;
- Risulta ben testata e provata, attraverso molti anni di utilizzo presso l'Air Force americana e presso altri progetti di sviluppo governativi, oltre che dal settore privato;
- Può essere generata da una larga varietà di strumenti grafici; numerosi prodotti commerciali supportano specificatamente l'analisi attraverso l'uso di modelli e diagrammi su base IDEF-0;

La figura presenta delle frecce in ingresso e in uscita da un rettangolo che simboleggia la funzione (o un processo nel caso di analisi di questo tipo); osservando la figura è possibile notare come vi siano cinque caratteristiche fondamentali che contraddistinguono la tecnica IDEF-0:

- Input: tutto ciò che è necessario dare in ingresso alla funzione per il suo funzionamento (possono essere input di tipo fisico oppure informativo);
- Output: tutto ciò che è possibile trovare in uscita dalla funzione (sia di tipo fisico che informativo);
- Control ("controllo"): controlli eseguiti durante lo svolgimento della funzione;
- Mechanism ("meccanismo"): i mezzi utilizzati per eseguire una funzione;
- Call ("chiamata"): si tratta di un particolare tipo di meccanismo che prevede la condivisione di dettagli tra modelli differenti, o tra parti diverse all'interno dello stesso modello.

La metodologia IDEF-0 permette di visualizzare gerarchicamente i processi; vengono utilizzati diagrammi "padre" e diagrammi "figlio" secondo lo schema sottostante:

Per quanto riguarda la tecnica del **Control Flowchart** essa ha origine dal controllo interno; si distingue dal Flowchart tradizionale grazie alla capacità di mettere in evidenza i flussi di beni o di denaro che sono associati ai documenti e i volumi delle operazioni/documenti processati, inoltre vengono evidenziate anche le operazioni che non danno luogo alla creazione o variazione di documenti e registrazioni. Il Control Flowchart permette quindi di analizzare un numero maggiore di informazioni, quali [5]:

- Le tipologie di documenti e registrazioni effettuate;
- Le direzioni (provenienza e destinazione) dei flussi di documenti e informazioni, quindi dei
- Vari uffici che intervengono in un processo;
- Le verifiche effettuate sui documenti/registrazioni;
- Le modalità di archiviazione seguite;
- · Alcune tipologie di operazioni svolte;
- · Le interrelazioni con il sistema informatico e la visualizzazione dei controlli manuali;

Il **Role Activity Diagram (RAD)** invece, è una tecnica di mappatura che consente di rappresentare i ruoli come insiemi di competenze che agiscono in una determinata attività, producendo delle entità; tutti i ruoli poi, interagiscono tra loro. Le caratteristiche specifiche possono essere riassunte come segue:

- Ruoli: riguardano un responsabile (funzione, team di lavoro, persone) al quale può essere assegnata la responsabilità di un'attività;
- Attività: ciò che gli attori fanno, e alle quali possono essere collegate le competenze;
- Entità: consistono nell'input e nell'output delle attività;
- Interazioni: collegamenti istituiti fra i differenti ruoli in termini di flussi informativi e relazioni di dipendenza gerarchica;

Fra i principali vantaggi della metodologia RAD vi sono sicuramente un miglioramento del processo di gestione delle risorse umane, attraverso il confronto di Attività/Ruoli/Competenze attuali con quelle necessarie a conseguire gli obiettivi strategici. Inoltre, l'esplicitazione delle interazioni fra attori permette di regolarizzare il flusso informativo.

## 2 Metodologie di mappatura e analisi dei processi aziendali per l'individuazione dei fabbisogni/usi energetici

Per soddisfare gli attuali requisiti legislativi ambientali, le industrie devono essere in grado di capire il proprio fabbisogno energetico e il modo in cui questo è gestito, in particolare nell'ambiente di produzione. Per fare ciò, è necessario individuare ed utilizzare una metodologia che consenta di delineare il flusso di energia all'interno dell'intera struttura, che partendo da una scomposizione dei processi, possa determinare tutti gli usi associati a ciascun processo e output di produzione.

È importante sottolineare che solo una parte dell'energia impiegata all'interno di un'azienda, viene strettamente utilizzata per lo svolgimento di attività a valore aggiunto (forma e nella composizione dei prodotti), mentre il resto dell'energia viene sprecato in termini di perdite di calore ed emissioni. È bene quindi analizzare con particolare attenzione tutti gli aspetti che intervengono nel funzionamento generale di un impianto di produzione ai fini di una corretta quantificazione dei fabbisogni.

### 2.1 Metodo di analisi della letteratura tecnico-scientifica

È stata effettuata una rassegna dei differenti approcci perseguibili presentati in letteratura scientifica che mirano all'individuazione degli usi e consumi energetici aziendali per una gestione più efficiente dell'energia.

Per ottenere un quadro completo sulle metodologie di mappatura e analisi dei processi aziendali è stata intrapresa un'attività di ricerca di lavori pertinenti all'argomento presenti sui principali database online (Scopus, Science-Direct e Google Scholar). Tali database sono stati scelti per la pertinenza degli articoli al loro interno riguardo gli argomenti di gestione dell'energia e dell'ingegneria in generale. La ricerca ha, inoltre, previsto:

- l'uso di parole chiave specifiche, in modo da circoscrivere i risultati ottenibili. Le parole utilizzate sono state: "industrial", "energy" ed "mapping". In questo modo è stato possibile, in primis, escludere tutti i lavori che non affrontavano la problematica della gestione dell'energia a livello industriale.
- nessun limite temporale.

La ricerca bibliografica ha quindi seguito una procedura composta dalle seguenti fasi:

- ricerca sui motori di ricerca degli articoli partendo dalle parole selezionate;
- degli articoli trovati sono stati letti i titoli e gli abstract così da caratterizzarne macroscopicamente la validità;
- salvataggio degli articoli ritenuti più validi e utili;
- analisi delle cross-reference in maniera tale da trovare articoli per "via indiretta";
- analisi integrale del testo degli articoli selezionati.

Dopo una prima fase di lettura degli abstract, tra tutti gli articoli ottenuti, ne sono stati selezionati 17, dei quali è in seguito fornita una breve descrizione.

### 2.2 Risultati

**Mahamud et al.** (2017) [6], presentano una metodologia generica per caratterizzare l'efficienza energetica a livello di fabbrica e per ottenere i punti di riferimento per l'analisi comparativa.

**Azadeh et al.** (2007) [7], introducono un approccio integrato basato sul data envelopment analysis (DEA), analisi dei componenti principali (PCA) e tassonomia numerica (NT) per la valutazione e l'ottimizzazione dell'efficienza energetica totale nei settori manifatturieri ad alta intensità energetica.

**Papetti et al.** (2019) [8], propongono un metodo innovativo, chiamato Resources Value Mapping che mira a mappare e classificare le attività e i relativi consumi di energia / risorse secondo i principi della filosofia lean (valore aggiunto, non valore aggiunto, sprechi).

**Goudarzi et al.** (2019) [9], propongono un framework IoT per prevedere l'utilizzo di energia ad un determinato livello, per una configurazione ottimale della diffusione di politiche energetiche di ampia portata.

**Zhou et al.** (2016) [10], discutono riguardo la connotazione assunta dal concetto di efficienza energetica relativamente alle macchine utensili. Introducono i concetti di gestione, pianificazione, ottimizzazione e la valutazione ambientale delle macchine utensili, offrendo una classificazione dei modelli di consumo di energia esistenti.

**Verma and Sharma** (2016) [11], utilizzano il concetto del Value Stream mapping (VSM) per lo sviluppo di una mappatura del flusso di valore di energia (Energy Value Stream Mapping) con l'obiettivo di fornire uno strumento per raggiungere la Green Manufacturing. In particolare, essi sviluppano un metodo che consente una analisi rapida, semplice e completa dei flussi di energia e materiali all'interno dei processi produttivi che consente di individuare e proporre possibili miglioramenti da apportare ai processi.

**Triebe et al.** (2018) [12], si concentrano sulla scomposizione del consumo totale di energia per i componenti principali di una macchina utensile, con un focus maggiore sui motori poiché da essi dipende una grande porzione del consumo di energia.

**Rodrigues et al** (2018) [13], propongono un metodo per analizzare il consumo di energia elettrica nei processi di produzione al fine di identificare il potenziale di riduzione di tale consumo. La modellazione / simulazione ad eventi discreti viene utilizzata come strumento per questa analisi, integrandola con l'uso di software di ottimizzazione, in cui è possibile esplorare diversi scenari al fine di ridurre al minimo il consumo di elettricità.

**Trojahn e Strubelt** (2017) [14], affrontano il problema di una mancanza di trasparenza dei processi dovuta ad una sempre maggiore complessità degli stessi, che ha ricadute negative sul consumo di energia. Per tale ragione, affrontano l'analisi del consumo delle risorse energetiche primarie lungo l'intera catena di approvvigionamento, offrendo possibili soluzioni per incrementare la trasparenza e aumentare l'efficienza dei processi.

**Seow e Rahimifard** (2011) [15], adottano un nuovo approccio alla modellizzazione dei flussi di energia all'interno di un sistema di produzione basato sul "prodotto" e utilizzano i dati sul consumo di energia a livello di "impianto" e di "processo" per fornire una ripartizione dell'energia utilizzata durante la produzione.

**Cosgrove et al.** (2018) [16], introducono una metodologia pratica di mappatura dei processi che combina l'energy management con il Value Stream Mapping. La metodologia si basa su principi di produzione "snelli" e sull'applicazione a un paio di casi d'uso del settore ha dimostrato di illustrare con successo la relazione tra il

**Azaza et al.** (2019) [17], introducono una piattaforma di visualizzazione open source che consente la mappatura di vari flussi di energia sia nel tempo che nello spazio di un impianto sportivo. Il lavoro include, inoltre, funzionalità avanzate quali indicatori chiave di prestazione e modelli di previsione integrati per assistere i processi di benchmarking e decisionali.

**Giacone e Mancò** (2012) [18], propongono una metodologia per la costruzione di un quadro strutturato per la definizione e la misura dell'efficienza energetica, reso necessario da fattori complicanti come siti industriali e flussi di energia complessi e l'influenza del tasso di produzione sull'efficienza energetica.

**Litos et al.** (2017) [19], affrontano il divario progettuale esistente tra gli strumenti di gestione ambientale come l'analisi del ciclo di vita (LCA) e quelli della produzione snella come VSM (Value Stream Mapping) e propongono un kit di strumenti integrato per i miglioramenti dell'eco-efficienza. Il processo di sviluppo del

kit di strumenti e i principi di progettazione sono descritti attraverso un caso studio nel settore della pavimentazione. I risultati di ciascun modulo vengono convalidati e l'output complessivo viene utilizzato per proporre al produttore una gamma di soluzioni applicabili.

**Boyd et al.** (2008) [20], descrivono il ruolo dell'EPI (Energy Performance Indicator) nel contesto degli obiettivi generali di ENERGY STAR fornendo esempi di come questo strumento di informazione è stato sviluppato e utilizzato.

**Duflo et al.** (2012) [21], forniscono una panoramica sistematica dello stato dell'arte sull'efficienza energetica e delle risorse. Viene applicato un approccio strutturato, che distingue diversi livelli: a partire da un focus sul processo unitario, vengono coperti rispettivamente i livelli multi-macchina, fabbrica, multi-struttura e catena di fornitura.

**Keskin et al.** (2013) [22], suggeriscono un approccio che vede l'uso dello strumento VSM applicato all'energia, che mira a migliorare l'efficienza energetica nelle aziende manifatturiere di piccole e medie dimensioni. La mappatura del flusso di valore energetico è una tecnica grafica che consente di identificare il livello di consumo di energia e, quindi, scoprire opportunità di risparmio in ogni fase dei diversi processi sia nella produzione che nel supporto delle strutture. Per analizzare i possibili risultati delle opzioni di miglioramento, sviluppano scenari futuri usando le reti bayesiane.

Di questi lavori, tre sono stati considerati maggiormente significativi e utili ai fini del presente lavoro di ricerca. Per tale ragione, di questi ultimi è fornita di seguito un'analisi di maggiore dettaglio.

**Cosgrove et al.** [16] introducono una metodologia di mappatura dei processi, rivolta alle aziende manifatturiere, che combina l'energy management con la VSM (value stream mapping). La metodologia è basata su principi di produzione "lean" e l'applicazione a un paio di casi d'uso del settore ha dimostrato che tale metodologia risulta efficace nell'illustrare la relazione tra il consumo di energia e le attività di produzione per un particolare flusso di valore.

Si tratta di un approccio molto pratico e semplice che consente di valutare l'utilizzo dell'energia in un ambiente di produzione. Esso consente a un'azienda manifatturiera di visualizzare il proprio processo di produzione dal punto di vista energetico. Questo avviene attraverso la delineazione del flusso di processo, la definizione dei requisiti di misurazione dell'energia e l'identificazione dei relevant process significant energy users (SEUs).

L'energy management si concentra sull'uso sistematico del management e della tecnologia per migliorare le prestazioni energetiche in un sito selezionato. VSM, è, invece, uno strumento ampiamente utilizzato nella lean manufacturing che consente graficamente all'utente finale di osservare il flusso di materiale e le informazioni associate, mentre un prodotto o servizio attraversa una catena del valore. Sulla base del principio secondo cui il VSM serve come lente d'ingrandimento per visualizzare l'intero sistema di produzione, il modello permette la visualizzazione di tutto il sistema di produzione.

Rispetto ad altre metodologie esistenti, che richiedono per la loro attuazione conoscenze specialistiche, la metodologia di mappatura di Cosgrove et al. vanta, inoltre, una maggiore applicazione pratica. Essa comprende che la produzione è multidimensionale e che le dinamiche del sistema sono fondamentali per la valutazione di un'area di produzione, fornendo maggiore chiarezza sui fattori diretti e indiretti che guidano gli usi energetici nella produzione.

L'obiettivo principale della metodologia di mappatura dei processi proposta è quello di acquisire efficacemente i dati di produzione ed energia da un ambiente di produzione per fornire una visione gerarchica multidimensionale del consumo di energia e dei costi direttamente correlati alle apparecchiature di produzione.

La metodologia è stata progettata attorno ai seguenti principi:

- la metodologia non è correlata o limitata a un caso specifico ma di natura generica e applicabile a diversi tipi di produzione (ovvero produzione continua e discreta);
- la metodologia persegue una prospettiva olistica delle relazioni tra i processi di produzione e il consumo di energia, compresi tutti i processi e i flussi di energia pertinenti, nonché le loro interdipendenze;



- la metodologia è flessibile, in modo che possa essere applicabile alle piccole e medie imprese che in genere affrontano ostacoli verso misure di efficienza energetica;
- la metodologia può fornire una valutazione multidimensionale delle misure di miglioramento in tutti i pertinenti settori di azione;
- la metodologia può adattarsi a un ambiente di produzione in continua evoluzione come il trasferimento delle apparecchiature o il miglioramento dei processi.

La metodologia consiste in cinque fasi principali (Tabella 1). Questi passaggi vengono generalmente applicati a un flusso di valore o strategic business unit (SBU) per creare una mappa di processo (Figura 2) ma possono essere ridimensionati e / o aggregati a livello di fabbrica, fornendo il processo di produzione complessivo e il consumo di energia di una fabbrica.

- Fase 1- Identificazione della fase del processo

Ogni fase del processo nella catena di produzione è identificata ed etichettata in base alle specifiche di produzione o ai documenti interni della fabbrica. Vengono identificati la dimensione del lotto e il tempo di ciclo per ciascuna fase del processo per ciascuna unità di produzione (cioè tempo di ciclo / lotto). Viene evidenziata la differenziazione tra passaggi automatici e manuali, poiché i passaggi manuali non vengono considerati a meno che non si determini che abbiano un impatto significativo.

- Fase 2- Identificazione delle apparecchiature di processo

Le apparecchiature utilizzate per ciascun processo vengono quindi identificate insieme alla quantità di apparecchiature per fase. Questo è fondamentale in quanto potrebbe esserci una relazione uno-a-molti tra la fase di processo e l'apparecchiatura di processo, sebbene generalmente ogni prodotto segua solo un percorso attraverso il processo. Vengono quindi raccolti i dati sul consumo di energia delle apparecchiature di processo. Dovrebbero essere raccolti anche i consumi forniti dal produttore (generalmente indicato sulla targhetta dell'apparecchiatura o sui manuali), nonché l'eventuale utilizzo di energia termica (ad es. Vapore per generare calore di processo).

- Fase 3-Determinazione delle SEU (significant energy user)

In base al tempo di ciclo e ai dati sul consumo di energia per ciascun dispositivo, è possibile determinare un elenco di SEU di processo. È fondamentale tenere conto dei tempi di ciclo accurati, poiché la valutazione della macchina da sola potrebbe non essere adatta per valutare l'entità del consumo di energia in termini di prodotto

- Fase 4- Identificazione dei servizi tecnici

È necessario identificare i servizi tecnici (aria compressa, acqua, vapore, azoto, estrazione di polvere, ecc.) utilizzati da ogni fase del processo. Questi servizi richiedono sia energia elettrica che termica e dovrebbero essere considerate come parte del consumo di energia del processo. È necessario, quindi, sviluppare un metodo per allocare il consumo dei servizi tecnici attraverso il flusso di valore.

- Fase 5- Raccolta dei dati

È necessario identificare se sono disponibili sistemi per la rilevazione sia dell'energia elettrica che di quella termica. Se sono installati dei misuratori di energia, è possibile raccogliere informazioni dal sistema di monitoraggio dell'energia. Se i misuratori non sono installati, potrebbe essere possibile utilizzare le informazioni di controllo da variatori di velocità (VSD) o controller logici programmabili

(PLC) sulle macchine o distribuire sensori in grado di raccogliere dati sul comportamento del processo (tempo di ciclo, temperatura, ecc.). I dati della macchina possono essere disponibili nei database degli (OEE) e i dati di produzione nei database del sistema di esecuzione della produzione (MES).

I dati richiesti vengono raccolti rivedendo, quindi, le specifiche di produzione esistenti integrate con interviste da parte del personale di produzione (vale a dire operatori, supervisori e manager) insieme ad altre indagini in loco condotte per confermare le informazioni. Le informazioni vengono quindi inserite nel modello sviluppato e l'output è una mappa di energia e di processo.

**Tabella 1- Principali fasi per creare la mappa di processo- Cosgrove et al.**

Step	Name	Description	Limitations	Challenges
1	<b>Process Step Identification</b>	Value-stream mapping (VSM) of process under study.	VSM may be incomplete. Some Process steps may be external to the Factory.	Complexity of many product families within a Value-Stream.
2	<b>Process Equipment Identification</b>	Generate Machine Power Profiles.	Temporary Metering may not capture all activities.	Similar Machines may have different profiles.
3	<b>Determination of Significant Energy Users</b>	Product centric view of energy consumption giving Process SEUs.	Historical analysis that cannot anticipate production changes.	Production Pathways may not be clearly defined.
4	<b>Technical Services (TS) Identification</b>	Identification of TS consumed by each VS Product and Process Step.	Limited Metering of TS available. No appropriation of TS by Value Stream.	Control of TS at the Process Step may not be possible.
5	<b>Data Collection</b>	Identification and access to relevant energy and production data	Automated Data Collection is necessary	Linking to OEE & MES Databases. Linking to factory control systems

Applicando questi passaggi a un ambiente di produzione, viene evidenziato il rapporto tra processo, attrezzatura e consumo di energia, che può essere utilizzato per comprendere come funzionano le attività produttive all'interno di una struttura industriale e come energia e produzione siano correlate. In modo univoco, incorporando il tempo di ciclo del prodotto, il framework determina le SEU di processo, identificando quindi le aree critiche che giustificano ulteriori indagini. Raccogliendo dati per i vari tipi di macchine utilizzate in fabbrica e le utilità associate, l'analisi dei dati raccolti può essere utilizzata per generare profili di potenza delle macchine e "firme" energetiche. I profili di potenza servono come base per una comprensione più approfondita del consumo di energia delle macchine e delle utility associate ad esse.

Questi profili forniscono informazioni sul consumo di energia, nonché una distinzione tra energia a valore aggiunto (consumo di energia quando la macchina sta svolgendo un'attività che aggiunge valore al prodotto, ad esempio la macinazione) e l'AE (energia utilizzata durante i periodi di inattività o per attività che non generano valore per il prodotto). Comprendendo il consumo di energia per macchina, è possibile calcolare il consumo di energia su macchine simili e stimare il costo totale dell'energia consumata dal flusso di valore (linea di produzione).

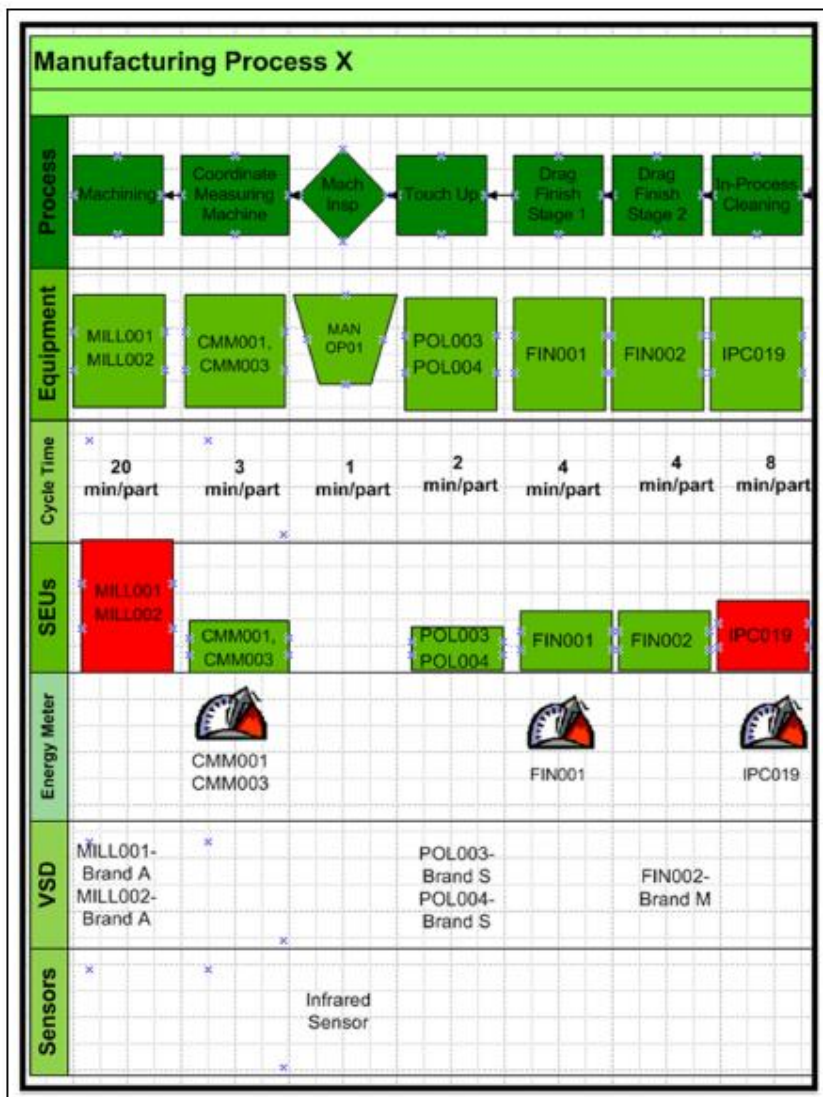


Figura 2- Esempio di mappa energetica di processo- Cosgrove et al.

La ricerca condotta da **Seow e Rahimifard** [15] adotta un nuovo approccio alla modellizzazione dei flussi di energia all'interno di un sistema di produzione, basato sul "prodotto". Tale approccio delinea un nuovo quadro di modellizzazione per rappresentare l'energia totale richiesta per fabbricare un prodotto unitario. La loro principale affermazione è che l'efficienza e la produttività del consumo di energia nelle applicazioni di produzione deve essere attentamente esaminato, evidenziando la necessità di metodologie e strumenti in grado di fornire una suddivisione dettagliata degli usi e consumi di energia all'interno di un sistema di produzione.

In questo approccio, l'energia consumata dalle diverse attività di un ciclo di produzione è classificata in due gruppi: energia diretta e indiretta. L'energia diretta (DE) è definita come l'energia utilizzata dai vari processi

necessari per fabbricare un prodotto (ad es. Fusione, lavorazione, verniciatura a spruzzo, ispezione, ecc.). L'energia indiretta (IE) è l'energia consumata per mantenere l'“ambiente” in cui i processi di produzione vengono eseguiti, all'interno dello stabilimento o dell'impianto di produzione (ad esempio illuminazione, riscaldamento e ventilazione).

Inoltre, nel quadro EPE, il DE è suddiviso in: (i) energia teorica (TE) si riferisce all'energia minima richiesta per eseguire il processo (ad esempio energia richiesta per fondere una quantità specifica di metallo durante la fusione o rimuovere una quantità specifica di materiale durante la lavorazione); e (ii) energia ausiliaria (AE) come energia richiesta dalle attività di supporto e dalle attrezzature ausiliarie per il processo (ad es. generazione di vuoto per colata in sabbia o pompaggio di refrigerante per lavorazione meccanica). Va notato che il valore di AE comprende anche modalità non produttive come l'avvio, lo standby e la pulizia della macchina utensile.

L' IE, l'energia consumata da varie attività come l'illuminazione e il riscaldamento, può essere richiesta da una serie di processi oppure può accadere che un solo processo può richiedere un ambiente specifico (ad es. Camera bianca per l'ispezione). Pertanto, in questo approccio, un impianto di produzione è considerato costituito da un numero di "zone" in cui una "zona" è definita come un'area all'interno dello stabilimento di produzione con requisiti energetici indiretti simili.

Il modello EPE utilizza dati relativi a DE e IE sia a livello di "impianto" che di "processo" per rappresentare l'energia totale richiesta per fabbricare un prodotto. L'energia totale del prodotto è la somma di tutta l'energia utilizzata dai processi richiesti per fabbricare il prodotto e l'energia consumata dall'ambiente in cui si trovano i processi, come illustrato in Figura 4.

È stato utilizzato un approccio sistematico per calcolare DE e IE per i vari processi richiesti nella catena di produzione di un prodotto. Nella maggior parte dei casi il valore del TE per un processo può essere calcolato sulla base delle conoscenze esistenti e / o di appropriati modelli matematici. La maggior parte dei processi di produzione tradizionali dipende dalla rimozione, fusione, vaporizzazione o deformazione del materiale, e quindi l'energia richiesta può essere determinata attraverso una serie di parametri di processo specifici. Allo stesso modo, l'AE può essere calcolato sulla base delle specifiche del sistema (ad es. Dati dei produttori di apparecchiature) e laddove i dati non sono disponibili, è possibile condurre studi empirici per misurare l'energia richiesta per i processi ausiliari. Nel caso di IE, l'energia attribuita a un prodotto viene calcolata sulla base dell'energia totale consumata all'interno di una zona (all'ora) divisa per il numero di prodotti trasformati in quella "zona" all'ora. La somma di TE e AE (cioè DE) insieme a IE per tutti i processi all'interno di un sistema di produzione rappresenta l'energia totale incorporata del prodotto, come illustrato in Figura 3.

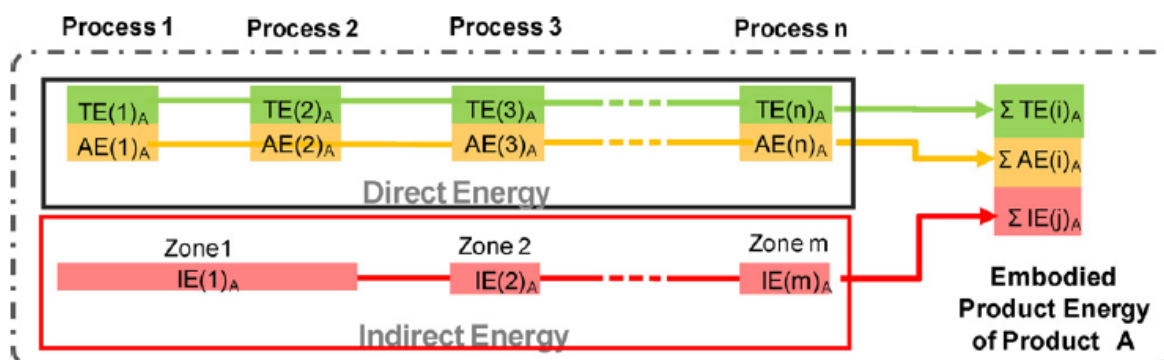


Figura 3- Framework per la modellazione dell'EPE- Seow e Rahimifard

In questo approccio, il modello EPE è in grado anche di evidenziare i punti di crisi dell'energia all'interno di un impianto di produzione. Tali processi ad alta intensità energetica possono quindi essere esaminati per migliorare la loro efficienza o, ove possibile, essere sostituiti con un processo a minore intensità energetica. Inoltre, è possibile effettuare valutazioni più dettagliate delle efficienze di processo considerando il

rapporto tra TE e AE (con un valore più elevato per TE e un valore più basso per AE che rappresenta un processo ad alta efficienza energetica) e analogamente il rapporto tra DE e IE (con un valore più alto per DE e valore più basso per IE che rappresenta un sistema di produzione ad alta efficienza energetica).

L'implementazione del framework EPE richiede lo sviluppo di uno strumento di supporto alle decisioni, in grado di rappresentare la complessità coinvolta nella misurazione, modellizzazione e calcolo del DE (TE, AE) e IE per vari processi in un tipico sistema di produzione. È necessario un modello di simulazione energetica per stabilire scenari "what-if" per l'analisi e la valutazione del consumo di energia durante la fase di fabbricazione di un prodotto.

Chiaramente, il quadro EPE non solo fornisce una panoramica di quanta energia è necessaria per fabbricare un prodotto unitario, ma consente anche ulteriori indagini su vari fattori che influenzano in modo significativo il consumo di energia all'interno di un sistema di produzione. Pertanto, si sostiene che tali modelli di simulazione energetica possono essere utilizzati come strumenti decisionali efficaci per ridurre al minimo l'energia utilizzata durante le operazioni e sostenere l'implementazione di una "produzione energetica efficiente".

Va notato che con la flessibilità offerta dai moderni strumenti di simulazione, è possibile sviluppare modelli più complessi che rappresentano un sistema di produzione più ampio per prodotti costituiti da un numero di componenti. In tali casi, l'energia incorporata per i singoli componenti viene calcolata e sommata per rappresentare l'EPE totale per l'assemblaggio del prodotto. Inoltre, le attività di assemblaggio e trasporto possono anche essere incluse nel calcolo EPE, se necessario. In un sistema di produzione con attività automatizzate di assemblaggio e / o trasporto, i flussi di energia per questi processi possono essere modellati come qualsiasi altra workstation di produzione.

Un tale approccio di "progettazione per minimizzare l'energia" consentirà potenzialmente alle aziende di andare oltre i miglioramenti incrementali ottenibili attraverso i sistemi di gestione dell'energia esistenti per considerare l'efficienza energetica e l'utilizzo durante le fasi di progettazione e produzione di un ciclo di vita del prodotto.

**Papetti et al.** [8] propongono il Resources Value Mapping, il quale mira a mappare e classificare le attività e i relativi consumi di energia / risorse secondo i principi della filosofia lean (valore aggiunto, non valore aggiunto, sprechi).

Si tratta di una mappa user-friendly che insieme all'uso di due indicatori di efficienza (Cost Index e Muda Index) consente l'identificazione di criticità relative ad attività, processi, linee, impianti, ecc., al fine di guidare successivamente il processo decisionale nell'attuazione di strategie di miglioramento. Il metodo è stato utilizzato per analizzare un impianto di produzione che produce apparecchi di cottura. Il case study ha dimostrato l'applicabilità del metodo in contesti industriali reali e la sua efficacia nell'identificazione dei flussi di energia / risorse (elettricità e aria compressa) e reparti e linee (presse meccaniche e idrauliche) per le quali gli sprechi e i consumi aggiuntivi di energia sono importanti.

Data l'importanza dell'argomento, negli ultimi anni la comunità scientifica ha focalizzato l'attenzione sullo sviluppo di metodi e strumenti relativi alla selezione della tecnologia, al monitoraggio dei processi, al benchmarking energetico, simulazione del consumo di energia, misure di risparmi di energia e risorse, ecc. In effetti, il perseguimento dell'efficienza energetica e delle risorse in un'industria manifatturiera non coinvolge un singolo reparto (ad es. Ufficio di produzione) o un singolo processo di fabbricazione (ad es. Stampaggio della lamiera), ma richiede la valutazione dell'intero impianto di produzione attraverso un approccio multidisciplinare (vale a dire, coinvolgendo vari dipartimenti e competenze.)

Il metodo di Papetti et al. prevede la valutazione del consumo di energia e risorse a diversi livelli di dettaglio, attraverso un approccio gerarchico. In secondo luogo, supporta la categorizzazione delle attività a valore aggiunto, non a valore aggiunto e sprechi, secondo i principi della filosofia lean. In terzo luogo, fornisce una mappa intuitiva e diversi indicatori chiave di prestazione per visualizzare facilmente e rapidamente come e dove energia e risorse vengono utilizzate in modo efficiente o sprecate. Infine, suggerisce una serie di azioni correttive per risolvere o almeno mitigare i problemi identificati, con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale ed economico dell'uso delle risorse. L'obiettivo finale è proporre

un metodo globale in grado di fornire una panoramica dell'intero impianto e guidare il processo decisionale verso l'implementazione di principi di produzione sostenibili.

Nel dettaglio, il metodo si basa sull'approccio del miglioramento continuo ed è composto da 5 fasi principali.

▪ **PASSAGGIO 1. Definizione degli obiettivi e dei confini**

Tale fase prevede la definizione e la condivisione dei seguenti aspetti: obiettivo principale, precisione, frequenza e confini del sistema. Le aspettative dei driver aziendali e delle parti interessate dovrebbero guidare alla definizione di un obiettivo di analisi chiaro e realizzabile. Ad esempio, l'obiettivo potrebbe essere la simulazione del funzionamento della macchina da un punto di vista energetico o la consapevolezza dei consumi globali dell'azienda. In questa fase dovrebbero essere descritti anche possibili scenari, scelte o ipotesi.

L'accuratezza dei risultati dell'analisi dipende strettamente dalla granularità delle informazioni. Un elevato livello di dettaglio richiede la combinazione di misurazioni dirette, caratteristiche delle attività e dati di produzione, mentre un livello inferiore di dettagli potrebbe essere limitato a un'assegnazione preliminare dei consumi sulla base delle bollette. Tuttavia, il metodo è applicabile e utile in entrambe le situazioni.

Si può decidere, inoltre, se eseguire un'analisi statica, dinamica o ibrida. Un'analisi statica viene eseguita una volta per avere un quadro chiaro dello stato dell'arte (ad es. in occasione di un audit per perseguire una certificazione energetica) e implica interventi offline. Un'analisi dinamica si basa sul monitoraggio continuo delle risorse, richiede dati in tempo reale e consente azioni sia online che offline. L'analisi ibrida può essere vista come una combinazione dell'analisi statica e dinamica. Si basa sul periodico aggiornamento manuale dell'analisi iniziale per verificare il raggiungimento degli obiettivi stabiliti.

I confini del sistema delimitano i limiti dell'analisi. Potrebbe concentrarsi su una singola macchina, sulle aree di produzione, su tutto il negozio piano, ecc., potrebbe coinvolgere tutte le risorse o solo un sottoinsieme di esse. Potrebbe riferirsi a diverse fasce orarie, da un singolo ciclo a tutta la produzione annuale. Potrebbe prendere in considerazione uno o più prodotti o famiglie di prodotti (vale a dire, gruppi di beni sottoposti a processi di produzione simili).

Secondo il modello gerarchico, possono essere adottati diversi livelli di dettaglio. La definizione dei confini del sistema è strettamente correlata all'obiettivo principale dell'analisi.

▪ **PASSAGGIO 2. Layout e mappatura dei flussi**

È necessaria una visione generale della pianta per comprendere appieno come le risorse vengono utilizzate per allocare correttamente i consumi e per interpretare efficacemente i risultati. Significa analizzare la configurazione fisica dell'impianto di produzione, che influenza l'efficienza delle operazioni successive e tutti i flussi di produzione (materiali, risorse, informazioni, ecc.).

Tecniche consolidate come IDEF0 (ovvero Integration DEFINition), UML (ovvero Unified Modeling Language), ecc. possono impiegate per l'identificazione di tutte le fasi della produzione e dei relativi input, output, vincoli e risorse.

È possibile, inoltre, ottenere informazioni più dettagliate se il processo viene analizzato in loco e i dati vengono acquisiti attraverso le "Gemba walk", cioè passeggiate sui posti di lavoro.

L'output del passaggio 2 è una prima mappa (Figura 4) che rappresenta i seguenti elementi:

- Layout, che è la disposizione fisica di macchine, negozi, celle, ecc. all'interno della pianta;
- Processi, che si riferiscono a una singola operazione o a una sequenza di operazioni eseguite su una macchina, da operatori o entrambi;
- Risorse necessarie per eseguire le operazioni, quali elettricità, acqua, gas, aria compressa, ecc;



- Percorso del prodotto, ovvero la sequenza dei processi seguita da un singolo prodotto o famiglia di prodotti.

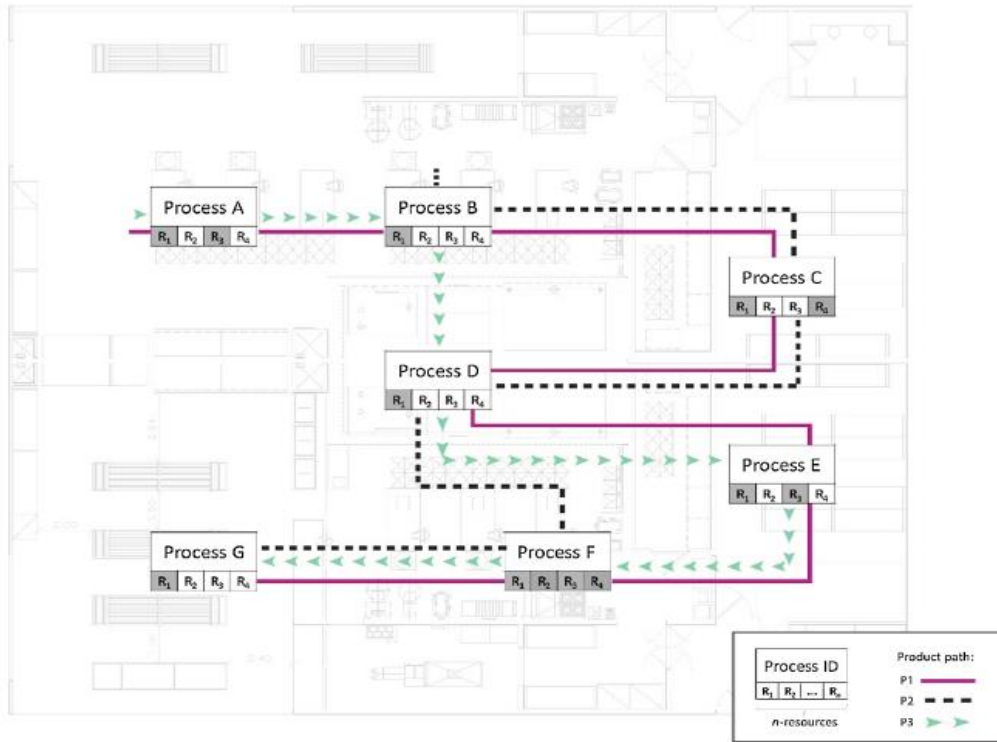


Figura 4- Mappa dei processi- Papetti et al.

- PASSAGGIO 3. Raccolta e classificazione dei dati

Il passaggio 3 consiste essenzialmente nella raccolta e nella classificazione di tutti i dati relativi a (i) risorse, (ii) attività e (iii) processi. Il primo punto si riferisce ai consumi di risorse. Se sono disponibili sensori specifici, questi dati possono essere raccolti automaticamente. In caso contrario, bollette e contatori possono essere prese come principale fonti di informazione. In entrambi i casi, è necessario specificare i processi che contribuiscono a ciascun consumo. La seconda voce include tutte le caratteristiche delle macchine come nome, potenza, tempo di funzionamento, ecc. Questi dati possono essere raccolti consultando il responsabile dell'impianto, le targhe e i manuali delle macchine, i documenti di progettazione dell'impianto, ecc. Alcuni di questi dati possono variare in base alla famiglia di prodotti, pertanto è necessario raccogliere valori diversi per ciascuna stazione / processo. Il terzo punto si riferisce al flusso di produzione e consiste nella classificazione delle attività, secondo i principi della filosofia lean:

- Le attività a valore aggiunto (VA) sono attività che includono tutte le operazioni che cambiano lo stato di un componente / semilavorato e sono necessarie per realizzare il prodotto. Queste attività si riferiscono solo a prodotti conformi;
- Le attività senza valore aggiunto (NVA) comprendono operazioni necessarie ma che non comportano la trasformazione del prodotto.
- Le attività di spreco (W) includono operazioni che non trasformano il prodotto e che non sono necessarie.

Ad esempio, considerando un'operazione di verniciatura della lastra, solo l'applicazione della vernice sulla superficie della lastra è VA. Il movimento della piastra per favorire il processo di



verniciatura è NVA, mentre l'eccesso di vernice può essere classificato come W. Questa classificazione svolge un ruolo chiave nella valutazione delle prestazioni del processo rispetto al consumo ottimale di risorse. Nella Tabella in Figura 5 è proposta una classificazione generale delle attività.

**Classification of manufacturing activities according to lean principles.**  
Source: Authors' compilation based on [45]

ACTIVITY (resources consumption for...)	VA	NVA	W
Processing of compliant products	x		
More (or faster) production than required (overproduction)			x
Inventory of products, materials, energy, etc.		x	x
Production of non-compliant products (defects)			x
Performing processes that are not required or with inappropriate techniques, oversize equipment, inefficient machinery etc. (overprocessing)			x
Machinery setup		x	
Movement of materials or products		x	x
Movements of man or machine		x	x
Transport of resources		x	x
Corrective maintenance			x
Preventive or predictive maintenance		x	
Waiting, that is no operation is occurring		x	x

**Figura 5- Classificazione delle attività- Papetti et al.**

Alcune attività potrebbero, inoltre, essere classificate come NVA e W, a seconda del caso specifico. Ad esempio, considerando l'attività "Movimentazione di materiali o prodotti", essa dovrebbe essere classificata come NVA se si riferisce allo spazio da coprire da una stazione alla successiva o come W se include movimenti extra da quelli strettamente necessari (ad es. layout errato, programmazione della produzione inefficiente).

Se l'analisi fa riferimento a più di un tempo di ciclo, è necessario raccogliere altri dati relativi alla produzione, ad esempio pezzi prodotti, pezzi non conformi, interventi di manutenzione, ecc. In caso di dati aggregati (ovvero riferiti a più di un prodotto o famiglia di prodotti), è necessario selezionare anche criteri di allocazione adeguati (ad es. quantità, turnover, ecc.).

▪ **PASSAGGIO 4. Mappatura del valore delle risorse**

Il passaggio 4 mira a rappresentare il modo in cui ciascun processo contribuisce al consumo di ciascuna risorsa, evidenziando la percentuale VA, NVA e W. La mappa proposta è visiva, chiara e lineare per un'interpretazione semplificata. Si basa su una corretta gestione dei dati e una struttura intuitiva che consente di rilevare facilmente eventuali inefficienze. Può essere definito come il "layout" dei consumi delle risorse di stabilimento. Il nucleo della mappa è la Process Box (Figura 6), che descrive ciascuno processo di produzione in base al suo impatto sul consumo di risorse. La parte superiore della scatola contiene l'ID del processo. Nella parte centrale è rappresentato il consumo di risorse, per mezzo di rese e barre colorate (il colore verde è rappresentativo delle attività VA, il colore giallo di quelle NVA e il rosso delle W). Nella parte inferiore sono riportati i valori dell'indice dei costi, che consente di quantificare i consumi di risorse dal punto di vista economico, e dell'indice Muda, che evidenzia i consumi non correlati alle attività di VA. Questa struttura evita l'"infobesity", dal momento che il riquadro incorpora solo le informazioni essenziali necessarie ai decisori per comprendere: (i) dove si trovano le criticità in termini di consumo di

risorse e (ii) quanto margine di miglioramento esiste per ciascun processo. Il Cost Index (CI) consente di identificare quale processo è responsabile del costo più elevato relativo ai consumi di risorse. Si ottiene come somma del costo unitario della risorsa (ci) moltiplicato per la quantità totale relativa della risorsa consumata. Le principali novità di tale approccio proposto è la procedura per allocare, rappresentare e analizzare il consumo di risorse in base al loro contributo alla generazione di valore (ovvero attività a valore aggiunto, non a valore aggiunto e rifiuti). Inoltre, la rappresentazione grafica facilita l'interpretazione dei risultati.

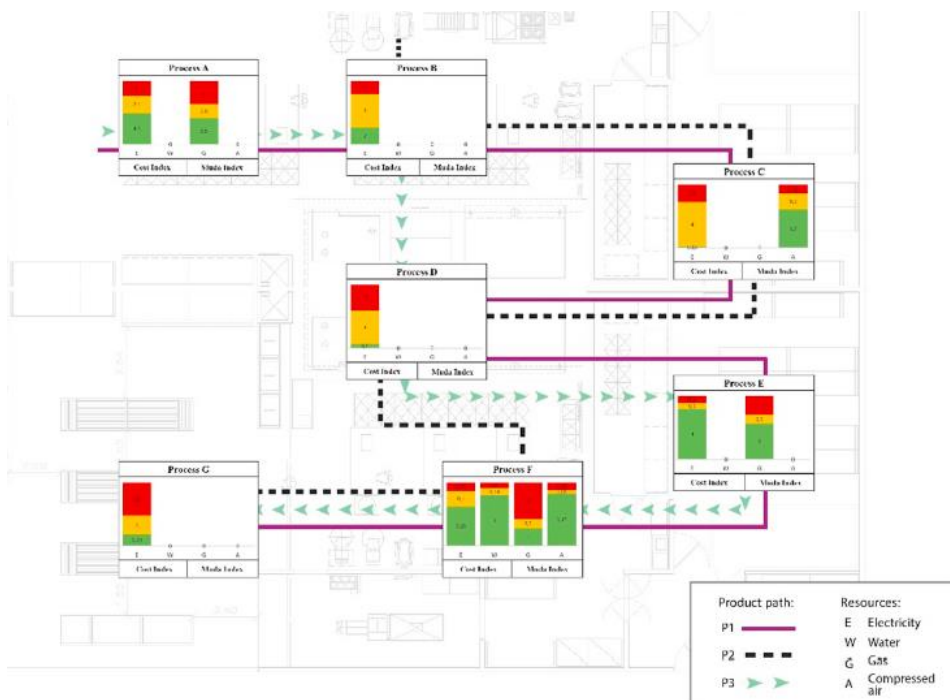


Figura 6- Process box- Papetti et al.

Il valido supporto alla definizione di strategie di miglioramento, che rappresenta la principale sfida per i metodi di valutazione relativi alle risorse, e la completezza dell'analisi sono i due principali vantaggi del metodo di mappatura dei valori delle risorse proposto.

### 2.3 Metodologia di strutturazione energetica aziendale proposta da Enea

Enea, ai fini di una corretta strutturazione delle diagnosi energetiche, a cui sono soggette le aziende secondo quanto previsto nell'ambito dell'art. 8 del D.Lgs. 102/2014; propone una procedura operativa che prevede la definizione di uno schema energetico aziendale ("alberatura") che, attraverso un percorso articolato su più livelli, consente di avere un quadro completo ed esaustivo della realtà dell'impresa al fine di definire al meglio la prestazione energetica di uno stabilimento o di un sito produttivo.

Lo schema energetico proposto (Figura 7) dovrà essere costruito relativamente ad ogni vettore energetico (elettrico, termico, vapore, acqua surriscaldata, ecc.) acquistato e utilizzato nel sito in esame ed avrà lo scopo di suddividere i consumi annui del vettore specifico tra le diverse utenze presenti nel sito stesso. In pratica si dovrà realizzare un inventario il più dettagliato possibile delle utenze che consumano quel vettore energetico e nell'associare a ciascuna di esse il relativo consumo. Per facilitare la sua realizzazione e le successive elaborazioni, le utenze possono essere raccolte in funzione del centro di consumo a cui fanno riferimento. Per ogni utenza si dovrà calcolare l'incidenza del suo consumo sui consumi totali.

In pratica può essere utile rappresentare ogni sito aziendale secondo lo schema di flusso riportato in Figura che caratterizza la Struttura Energetica Aziendale.

## Metodologia di analisi - Struttura energetica aziendale e Indici di Prestazione Energetica

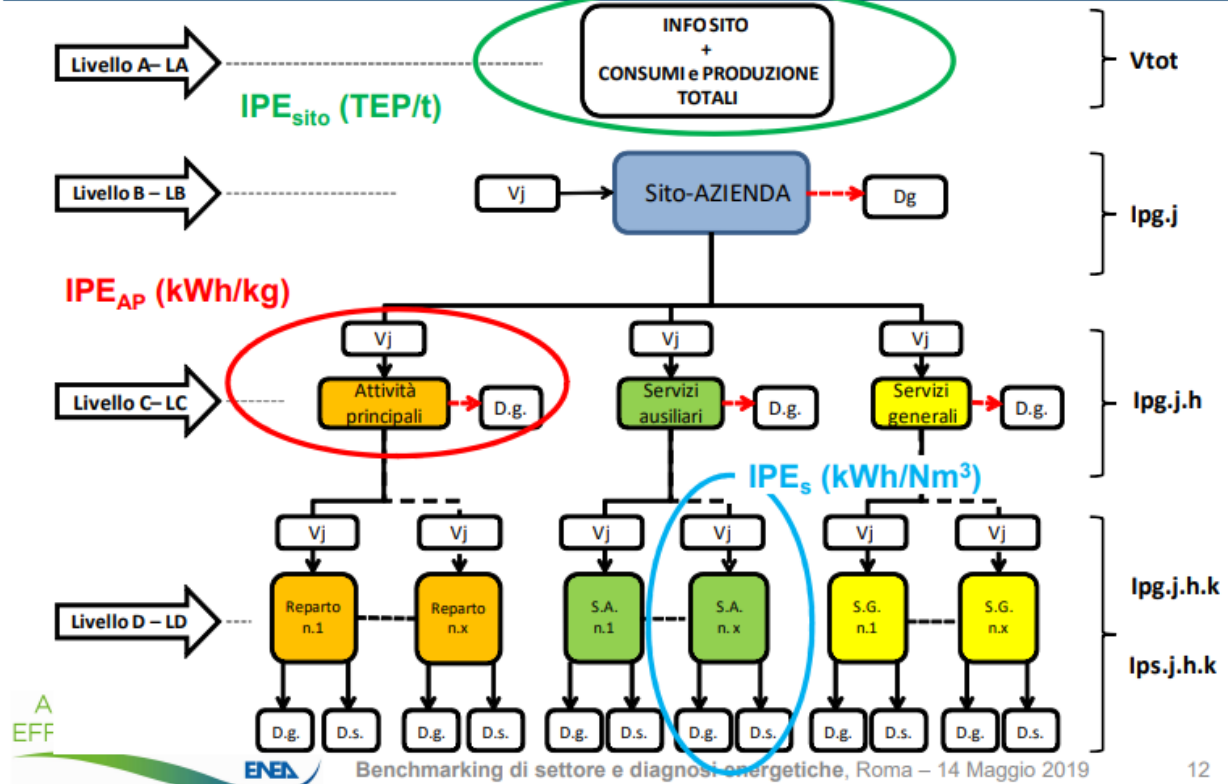


Figura 7- Schema energetico Enea

L'azienda viene suddivisa in aree funzionali, per le quali si procede all'acquisizione dei dati energetici; i dati complessivi sono presi dai contatori generali, mentre per i dati energetici dei sottoinsiemi si ricorre ai contatori dedicati. La struttura ad albero dovrà essere realizzata per ogni vettore energetico utilizzato dall'azienda.

L'organizzazione delle attività nel loro complesso dovrà essere suddivisa nel modo seguente:

a) Attività principali ("aree funzionali", "lavorazioni" o "reparti"). In tale descrizione vanno inserite tutte le attività legate all'articolazione della produzione o che caratterizzano il servizio erogato, distinte per tipologia di prodotto/servizio laddove applicabile, e strutturate in fasi funzionali ben distinte.

Questo approccio è il passo fondamentale in quanto ogni area funzionale dovrà essere caratterizzata da fasi della realtà aziendale ben enucleabili dal contesto generale e per le quali è univocamente possibile individuare i fabbisogni energetici e la specifica destinazione d'uso.

b) Servizi ausiliari ed accessori. In tale descrizione vanno inserite tutte le attività a supporto delle attività principali quali ad esempio il sistema di produzione dell'aria compressa, la centrale termica, la centrale frigo, i sistemi di aspirazione, di movimentazione dei materiali, ecc. Questa parte di attività è di norma molto complessa in quanto può non esserci una correlazione diretta tra queste e le specifiche tipologie di prodotto/servizio oppure le diverse aree funzionali della realtà aziendale.

c) servizi generali (c.d. "utilities"). In tale descrizione vanno inserite tutte le attività che sono connesse al processo produttivo/ servizio offerto i cui fabbisogni però non sono ad essi strettamente correlati. Di questo contesto fanno parte l'illuminazione, il riscaldamento, la climatizzazione in generale, gli uffici, ecc.

Questa parte di attività è altresì importante in quanto le specifiche destinazioni d'uso vanno definite in maniera puntuale, ovvero ad esempio il livello di luminosità, il livello di climatizzazione in funzione delle condizioni di utilizzo delle specifiche aree.

Una volta fornito il consumo di ogni utenza individuata, afferente all'anno solare di riferimento, la "Struttura Energetica Aziendale" permette quindi di assegnare un indice prestazionale (consumo specifico) significativo ad ogni fase che costituisce la realtà aziendale, mettendo in correlazione l'energia consumata sia con il prodotto finito, che con la sua specifica destinazione d'uso.

Ciò consente di valutare per ogni fase significativa della realtà aziendale, ovvero area funzionale, sia lo specifico indice prestazionale, che il suo peso rapportato al fabbisogno energetico complessivo.

Il primo passo consiste nell'individuare i vettori energetici utilizzati e per ognuno realizzare un'alberatura.

Questo permette di individuare quali fasi sono più o meno energivore e quali sono più o meno efficienti dal punto di vista prestazionale. Infatti, alcune fasi che dal punto di vista di un vettore possono risultare energivore per un altro vettore possono risultare poco energivore, o viceversa, proprio in tale modo si possono mettere facilmente in evidenza i seguenti aspetti:

- consumi energetici per ogni vettore energetico utilizzato riferendosi all'anno solare precedente all'anno n-esimo;
- caratterizzazione della destinazione d'uso dell'azienda e della specifica area funzionale;
- indice prestazionale di area (Ipg) dato dal rapporto tra i consumi di area e la destinazione d'uso dell'azienda;
- indice prestazionale di area (Ips) dato dal rapporto tra i consumi di area e la specifica destinazione d'uso;
- mappatura dei macchinari e degli impianti che caratterizzano la specifica area funzionale.

### 3 Sviluppo di una metodologia per l'analisi e la mappatura dei processi aziendali

L'obiettivo finale del presente lavoro è lo sviluppo di indicatori di prestazione che consentano di identificare il consumo ideale e che riescano a tenere in considerazione gli aspetti operativi del funzionamento dei sistemi. Come già detto, il CINTES si occuperà nello specifico della definizione e calcolo di tali indicatori. UNISA, svolgerà un'attività preliminare e di supporto a quella del CINTES, fornendo tutte le informazioni utili alla definizione degli indicatori ideali, per ciascun settore in esame.

Le metodologie esaminate nel capitolo precedente si focalizzano essenzialmente sulla valutazione delle prestazioni del sistema in esame in un periodo di funzionamento. I loro approcci sono stati una base di partenza per l'individuazione di una metodologia di mappatura ed analisi dei processi, da applicare ad ogni settore oggetto di analisi, che consenta di estrapolare le informazioni e i dati utili alla definizione di indici di prestazione ideali.

L'approccio metodologico proposto prevede i seguenti passaggi:

1. Individuazione del settore di analisi in accordo con Enea.
2. Studio preliminare del settore in esame. Tale fase è indirizzata alla conoscenza e all'approfondimento del funzionamento generale e dal punto di vista energetico dei sistemi produttivi presi in esame. La conoscenza deve partire necessariamente dall'analisi dei prodotti e dei processi dal punto di vista teorico. La letteratura tecnico-scientifica rappresenta una valida base di partenza per lo studio dei sistemi produttivi.  
Per rendere, però, la rappresentazione fornita dai modelli teorici più indicativa possibile al funzionamento reale, c'è la necessità di eseguire delle analisi di maggiore dettaglio al fine di raccogliere informazioni sulla gestione dei sistemi. In tal modo, si cercherà di ottenere un modello

che sia il più possibile comprensivo di tutti gli aspetti coinvolti che influenzano gli usi energetici. Tale approfondimento avverrà attraverso le fasi successive.

3. Primo sopralluogo conoscitivo delle realtà produttive. Tale fase prevede l'esecuzione di un primo sopralluogo presso gli stabilimenti di riferimento del settore di analisi, al fine di arricchire e/o verificare le informazioni apprese durante lo studio preliminare.
4. Definizione dei confini di analisi. In funzione del settore, si definiscono i confini di analisi. Tale fase prevede la definizione e la condivisione di obiettivo principale dell'analisi, precisione, e confini del sistema. I confini del sistema delimitano i limiti dell'analisi. Ci si potrebbe concentrare sull'interno stabilimento, su una sola area aziendale, quale ad esempio la produzione, si potrebbero prendere in considerazione uno o più prodotti o famiglie di prodotti (vale a dire, gruppi di beni sottoposti a processi di produzione simili).
5. Layout e mappatura dei flussi. Una volta definiti i limiti dell'analisi, sulla base delle informazioni ottenute attraverso e l'esecuzione di un eventuale secondo sopralluogo presso le aziende campione, si procede con la definizione di un layout ed una mappa dei flussi, al fine di apprendere appieno come le risorse vengono utilizzate e ottenere una visione generale dell'impianto. Per layout, si intende la disposizione fisica di macchine, celle, ecc. all'interno della pianta. Tale fase prevede i seguenti step:
  - Identificazione dei processi.
  - Identificazione delle fasi di ciascun processo. Ogni fase del processo nella catena di produzione è identificata ed etichettata in base alle specifiche di produzione o ai documenti interni della fabbrica. Vengono identificati la dimensione del lotto e il tempo di ciclo per ciascuna fase del processo per ciascuna unità di produzione (cioè tempo di ciclo / lotto). Viene evidenziata la differenziazione tra passaggi automatici e manuali, poiché i passaggi manuali non vengono considerati a meno che non si determini che abbiano un impatto significativo. Tecniche consolidate come IDEF0 (ovvero Integration DEFinition), UML (ovvero Unified Modeling Language), ecc. possono impiegate per l'identificazione di tutte le fasi della produzione e dei relativi input, output, vincoli e risorse.
  - Identificazione delle apparecchiature di processo. Le apparecchiature utilizzate per ciascuna fase di processo vengono identificate, insieme alla quantità di apparecchiature per fase. Questo è fondamentale in quanto potrebbe esserci una relazione uno-a-molti tra la fase di processo e l'apparecchiatura e viceversa.
6. Raccolta dei dati. Tale fase prevede la raccolta delle informazioni che occorrono per la definizione degli indicatori ideali, riguardanti risorse, attività, processi. I dati richiesti vengono raccolti rivedendo le specifiche di produzione esistenti integrate con interviste da parte del personale di produzione insieme ad altre indagini in loco condotte per confermare le informazioni. Le informazioni vengono quindi inserite nel modello sviluppato e l'output è una mappa degli usi energetici e di processo. Nello specifico, i dati raccolti riguarderanno tutte le caratteristiche delle macchine come nome, potenza, tempo di funzionamento, ecc. Questi dati possono essere raccolti consultando il responsabile dell'impianto, le targhe e i manuali delle macchine, i documenti di progettazione dell'impianto, ecc. Alcuni di questi dati possono variare in base alla famiglia di prodotti, pertanto è necessario raccogliere valori diversi per ciascuna stazione / processo. Per quanto riguarda le informazioni relative alle attività, è necessario classificarle secondo i principi della filosofia lean:
  - le attività a valore aggiunto sono attività che includono tutte le operazioni che cambiano lo stato di un componente / semilavorato e sono necessarie per realizzare il prodotto. Queste attività si riferiscono solo a prodotti conformi;
  - Le attività senza valore aggiunto sono quelle che comprendono operazioni necessarie ma che non comportano la trasformazione del prodotto;

- Le attività che identificano uno spreco, sono quelle che includono operazioni che non trasformano il prodotto e che non sono necessarie.

## 4 Conclusioni

Le attività previste per l'anno 2019 e descritte nel presente report consistono nell'approfondimento della tematica del process mapping e nell'analisi della letteratura tecnico-scientifica riguardante la mappatura e l'analisi dei processi, con particolare attenzione all'aspetto energetico.

Lo svolgimento di tali attività ha fornito una valida base di partenza per la definizione di una metodologia da adottare per ciascun settore energivoro che verrà preso in esame nel prossimo biennio. In particolare, l'analisi della letteratura ha consentito di ottenere un quadro degli approcci disponibili dal punto di vista tecnico-scientifico, che mirano all'efficientamento dei processi produttivi energetici mediante l'applicazione di metodologie di process mapping.

Partendo da tali approcci, è stata definita una metodologia che prevede sei passaggi fondamentali: 1) Individuazione del settore di analisi in accordo con Enea; 2) Studio preliminare del settore in esame; 3) Primo sopralluogo conoscitivo delle realtà produttive; 4) Definizione dei confini di analisi; 5) Layout e mappatura dei flussi, che a sua volta prevede: 5a) l'identificazione dei processi, 5b) l'identificazione delle fasi di ciascun processo e delle apparecchiature di processo; 6) Raccolta dei dati.

Tale metodologia, rappresenta il punto di partenza per le attività che verranno eseguite da UNISA negli anni a venire (2020 e 2021), al fine di raggiungere in collaborazione con il CINTEST l'obiettivo primario definito con ENEA, ossia l'elaborazione e l'applicazione delle procedure per il calcolo di indicatori di riferimento nazionali, che rappresentino un limite operativo a cui tendere e che siano uno strumento di benchmark per il tessuto imprenditoriale nazionale, con particolare riferimento alle imprese energivore.



## 5 Riferimenti bibliografici

- [1] T. H. Davenport e B. Michael C., «"Managing information about processes."», *Journal of Management Information Systems* 12.1, pp. 57-80, 1995.
- [2] P. De Risi e C. u. i. i. d. qualità, «La gestione per processi ed i suoi riflessi organizzativi in azienda», *Nuovo Studio Tecna*, 1999..
- [3] M. E. Porter, "Competizione globale., Torino: Isedi, 1987.
- [4] C. Ostinelli, «La mappatura e l'analisi dei processi gestionali: al cuore dell'activity based management,» in *Liberio Istituto Universitario Carlo Cattaneo*, 1995.
- [5] A. Dossi, I processi aziendali. Profili di misurazione e controllo., Egea, 2001.
- [6] R. Mahamud e K. S. Li Wen, «Energy characterisation and benchmarking of factories,» *CIRP Annals*, pp. 457-460, 2017.
- [7] A. Azadeh, M. S. Amalnick, S. F. Ghaderi e S. M. Asadzadeh, «An integrated DEA PCA numerical taxonomy approach for energy efficiency assessment and consumption optimization in energy intensive manufacturing sectors,» *Energy policy* 35.7, pp. 3792-3806, 2007.
- [8] A. Papetti, R. Menghi, G. Di Domizio, M. Germani e M. Marconi, «Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems.,» *Applied Energy*, pp. 326-342, 2019.
- [9] S. Goudarzi, M. H. Anisi, K. N. F. S. Doctor e A. K. Sangaiah, «Predictive modelling of building energy consumption based on a hybrid nature-inspired optimization algorithm,» *Energy and Buildings*, pp. 83-93, 2019.
- [10] L. Zhou e e. al., «Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review.,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 3721-3734, 2016.
- [11] N. Verma e S. Vinay, «Energy value stream mapping a tool to develop green manufacturing.,» *Procedia Engineering*, pp. 526-534, 2016.
- [12] M. J. Triebe e e. al., «Understanding energy consumption in a machine tool through energy mapping,» *Procedia CIRP*, pp. 259-264, 2018.
- [13] G. S. Rodrigues, J. C. E. Ferreira e C. R. & Rocha, «A novel method for analysis and optimization of electric energy consumption in manufacturing processes.,» *Procedia Manufacturing*, pp. 1073-1081, 2018.
- [14] S. Trojahn e S. Henning, « "Developing an evaluation methodology for determining the provision energy effort of primary resources using energy value stream mapping.,» *Transportation Research Procedia*, vol. C 25 , pp. 3582-3593, 2017.
- [15] Y. Seow e R. Shahin, «A framework for modelling energy consumption within manufacturing systems.,» *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, pp. 258-264, 2011.
- [16] J. Cosgrove, D. M. J. Rivas, J. Littlewood e P. & Wilgeroth, «An energy mapping methodology to reduce energy consumption in manufacturing operations.,» *Journal of Engineering Manufacture*, pp. 1731-1740, 2018.
- [17] M. Azaza, E. Anton e W. Fredrik, «An open-source visualization platform for energy flows mapping and enhanced decision making.,» *Energy Procedia*, pp. 3208-3214, 2019.
- [18] E. Giacone e S. Mancò, «Energy efficiency measurement in industrial processes,» *Energy* 38.1, Vol. %1 di %2331-345, 2012.
- [19] L. e. a. Litos, «Management tool design for eco-efficiency improvements in manufacturing-a case study,» 2017.



- [20] G. Boyd, D. Elizabeth e T. Walt, «The evolution of the ENERGY STAR® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use,» *Journal of cleaner production*, pp. 709-715, 2008.
- [21] D. e. al., «Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach,» *CIRP*, pp. 587-609, 2012.
- [22] C. Keskin, A. Umut e K. Gulgun, «Value stream maps for industrial energy efficiency,» in *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems*, London, Springer, 2013, pp. 357-37.

## 6 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro impegnato nell'attività

### 6.1 Salvatore Miranda

*Salvatore Miranda - Professore Associato presso l'Università di Salerno – è Docente di Progettazione e Gestione degli Impianti Industriali, Servizi Generali d'Impianto e Gestione dei Progetti Industriali. Dal 2019 è Direttore Vicario del Dipartimento di Ingegneria Industriale. Da luglio 2018 è abilitato al ruolo di professore di I Fascia nel settore Scientifico Ing-Ind/17- Impianti Industriali Meccanici. Da settembre 2019 è responsabile scientifico per l'Università di Salerno del Progetto di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) dal titolo "SO4SIMS: Smart Operators 4.0 based on Simulation for Industry and Manufacturing Systems". Da settembre 2018 è Responsabile Scientifico di Ateneo per il progetto PON-MIUR Ricerca e Innovazione 2014- 2020 dal titolo "Processi Integrati e Connessi per l'Evoluzione Industriale nella Produzione"-Area di specializzazione FABBRICA INTELLIGENTE. Dal 2017 è delegato per il Dipartimento di Ingegneria Industriale alle tematiche di ricerca "Industria 4.0". Risulta Responsabile del gruppo di ricerca su "Algoritmi evolutivi per la gestione dei sistemi logistici"; affidata dal Centro Interdipartimentale di Ricerca "Applicazioni di Soft Computing" dell'Università degli Studi di Salerno. Dal 2018 è Socio Fondatore, Amministratore Unico e Legale Rappresentante dello Spin-Off Universitario MONOLETO S.R.L. Innovativa, con oggetto lo sviluppo, la produzione e la commercializzazione di prodotti o servizi innovativi ad alto valore tecnologico. Responsabile di progetti FARB (Finanziamenti di Ateneo per la Ricerca di Base) negli anni 2015, 2016, 2018 e 2019. Dal 2013 ad oggi è Responsabile Scientifico del Laboratorio di Automazione Industriale e Operations Management del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Salerno. È coautore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali e atti di convegni internazionali, è membro di Editorial Board di due riviste scientifiche internazionali e reviewer per numerose riviste scientifiche.*

### 6.2 Maria Alfano

Maria Alfano ha conseguito la Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale con voto 110/110 e lode il 30 maggio 2018 presso l'Università degli Studi di Salerno, discutendo la tesi dal titolo: "Modello di ottimizzazione per un problema di scheduling con material handling: il caso Pintotecnico s.r.l."

Ha conseguito la Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale con voto 106/110 e lode il 26 febbraio 2015, discutendo la tesi dal titolo: "Realizzazione ed analisi sperimentale di un modello per la determinazione del lotto sostenibile di approvvigionamento."

Da luglio 2017 a novembre 2017 ha svolto attività di tirocinio curriculare presso CMS SPA avente ad oggetto la pianificazione e gestione dei progetti di produzione e gli strumenti e le metodologie di WCM.

Da settembre 2018 è titolare di una borsa di ricerca presso l'Università degli studi di Salerno dal titolo: "Supporto tecnico scientifico per la stesura delle linee guida e delle proposte Industria 4.0 delineate dalla legge regionale "Manifattur@Campania: Industria 4.0", sulle seguenti tematiche: metodologie di assessment e improvement 4.0.; censimento delle grandi industrie manifatturiere caratterizzate da forte penetrazione delle tecnologie I4.0 presenti in Campania; sviluppo della piattaforma tecnologica Fabbrica Intelligente.

Da luglio 2019 ad ottobre 2019 per conto di Time Vision s.c.a.r.l., ha svolto l'attività di tutor didattico per il percorso formativo di Istruzione e formazione tecnica superiore per "Tecnico Esperto di Industrializzazione e Innovazione della Filiera Aereospazio".