

# Ricerca di Sistema elettrico



Studio e sviluppo di uno strumento a supporto del energy value mapping della filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction per la riqualificazione degli edifici residenziali. (LA2.11)

M. Germani, M. Rossi, M. Mundo, G. Menchi

Studio e sviluppo di uno strumento a supporto del energy value mapping della filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction per la riqualificazione degli edifici residenziali (LA2.11)

M. Germani, M. Rossi, M. Mundo, G. Menchi

Università Politecnica delle Marche

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione*

Progetto: Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Linea di attività: 2.11

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Dipartimento Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche Università Politecnica delle Marche [UNIVPM\_DIIISM]

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 36

Mese fine previsto: 13

Mese fine effettivo: 36

## Indice

1	Risultati attesi .....	5
1.1	Studio della filiera di riferimento e caratterizzazione dei principali processi industriali	5
1.2	Studio e definizione di una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction di isolamento.....	5
1.3	Studio dell'architettura dello strumento di energy value mapping .....	5
1.4	Sviluppo dello strumento software.....	5
1.5	Sperimentazione della soluzione attraverso diversi test case appartenenti alla filiera, per la validazione e l'ottimizzazione della soluzione sviluppata.....	6
2	Risultati ottenuti.....	7
2.1	Studio della filiera di riferimento e caratterizzazione dei principali processi industriali	7
2.2	Studio e definizione di una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction di isolamento.....	8
2.3	Studio dell'architettura dello strumento di energy value mapping .....	9
2.4	Sviluppo dello strumento software.....	10
2.5	Sperimentazione della soluzione attraverso diversi test case appartenenti alla filiera, per la validazione e l'ottimizzazione della soluzione sviluppata.....	10
3	Prodotti attesi .....	11
4	Prodotti sviluppati .....	12
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	13
6	Sintesi delle attività svolte .....	14
7	Dettaglio delle attività svolte.....	15
7.1	Studio della filiera di riferimento e caratterizzazione dei principali processi industriali	15
7.1.1	Polistirene espanso (EPS).....	16
7.1.2	Fibra di vetro .....	16
7.1.3	Lana di roccia .....	17
7.2	Studio e definizione di una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction di isolamento.....	18
7.2.1	Definizione di obiettivi e confini dell'analisi.....	18
7.2.2	Raccolta dei dati .....	19
7.2.3	Analisi dei dati.....	20
7.2.4	Identificazione delle attività problematiche .....	20
7.3	Flusso di utilizzo .....	20
7.3.1	Azienda produttrice pannelli isolanti EPS .....	20

7.4	Sviluppo dello strumento software.....	23
7.4.1	Analisi dei requisiti.....	23
7.4.2	Definizione dell'architettura software .....	24
7.4.3	Sviluppo di un prototipo software .....	25
7.5	Sperimentazione della soluzione attraverso diversi test case per la validazione e l'ottimizzazione della soluzione sviluppata.....	26
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	31
9	Pubblicazioni scientifiche.....	32
10	Eventi di disseminazione .....	33

## Indice delle figure

Figura 1. Filiera produttiva ETICS.....	15
Figura 2. Processo produttivo intonaco .....	15
Figura 3. Processo produttivo EPS .....	16
Figura 4. Processo produttivo fibra di vetro .....	17
Figura 5. Processo produttivo lana di roccia .....	18
Figura 6. Metodologia analisi filiera produttiva OSC .....	18
Figura 7. Diagramma ad albero degli input relativi ai consumi energetici .....	19
Figura 8. Schermata login strumento .....	20
Figura 9. Schermata ingresso strumento.....	21
Figura 10. Impostazione parametri generali .....	21
Figura 11. Scelta livello di dettaglio .....	21
Figura 12. Inserimento dati sul processo produttivo .....	22
Figura 13. Inserimento dati su emissioni e materiali .....	22
Figura 14. Salvataggio analisi .....	22
Figura 15. Esempio esportazione PDF.....	23
Figura 16. Diagramma dei casi d'uso .....	24
Figura 17. Diagramma E/R del database .....	25

## Indice delle tabelle

Tabella 1. UEQ Questionario di user experience .....	26
Tabella 2. Questionario usabilità.....	27
Tabella 3. Risultati UEQ .....	28
Tabella 4. Risultati SUS .....	28
Tabella 5. Suggerimenti utenti test.....	29

# 1 Risultati attesi

Di seguito si riporta per punti il testo del capitolato relativo ai risultati attesi per LA2.11.

## 1.1 Studio della filiera di riferimento e caratterizzazione dei principali processi industriali

La prima fase di questa attività si concentrerà in uno studio preliminare della filiera di riferimento con successiva caratterizzazione dei principali processi industriali. La filiera produttiva analizzata è quella delle soluzioni modulari e off-site construction (OSC) per la riqualificazione degli edifici residenziali. L'output di questa fase permetterà la definizione dei singoli processi produttivi delle principali aziende della filiera e la loro collocazione nella filiera stessa.

## 1.2 Studio e definizione di una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction di isolamento

Verrà studiata e definita una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e OSC di isolamento, basata sull'approccio del Resource Value Mapping (RVM). Tale approccio parte dalla suddivisione delle attività industriali e loro relative risorse secondo metodologia Lean. Questa mappatura permetterà di identificare le criticità legate al consumo di risorse, sia energetiche che materiali, fornendo feedback qualitativi e quantitativi, e permettendo di quantificare i benefici ottenibili a seguito dell'applicazione di strategie di ottimizzazione. La metodologia sviluppata dovrà prevedere differenti livelli di analisi, sia per la singola azienda che per l'intera filiera, a cui corrisponderanno differenti livelli di dettaglio nell'acquisizione e nell'elaborazione dei dati, così come nel tipo di output fornito.

## 1.3 Studio dell'architettura dello strumento di energy value mapping

Sulla base della metodologia definita, verrà sviluppata l'architettura di uno strumento software di Energy Value Mapping (EVM) a supporto del monitoraggio, gestione ed efficientamento dei consumi energetici aziendali della filiera di riferimento. Lo strumento potrà essere applicabile sia a livello aziendale, a partire da dati relativi ai singoli processi, andando a fornire risultati di dettaglio in merito all'efficienza aziendale, ai relativi impatti ambientali, alle maggiori criticità e a possibili strategie migliorative, che di filiera, a partire da dati aggregati, per identificare le principali criticità delle aziende coinvolte, favorendo la loro integrazione ed ottimizzando l'efficienza dei loro processi. Esso faciliterà l'integrazione di tutti gli attori coinvolti e l'ottimizzazione dei loro processi, anche in un'ottica di simbiosi industriale.

## 1.4 Sviluppo dello strumento software

Verrà sviluppato uno strumento software di EVM che raccoglierà dati di processo in un database costruito ed organizzato per rispondere alle esigenze aziendali e di filiera e realizzerà analisi grazie a specifici algoritmi di ottimizzazione. Le principali funzionalità dello strumento riguarderanno la mappatura strutturata dei processi aziendali e le relative risorse coinvolte, l'identificazione delle principali criticità di processo e la loro classificazione, la traduzione dei contributi energetici in indicatori significativi, calcolati in parte secondo la metodologia Lean, l'identificazione delle cause di spreco, la quantificazione dei benefici relativi all'implementazione di strategie migliorative in termini economici, energetici, ambientali

attraverso la quantificazione di opportuni indicatori. Il tool sarà costituito da una serie di servizi che assicureranno la ricezione dei dati, la loro memorizzazione su database, il calcolo di indicatori significativi, l'identificazione dei principali sprechi, la loro correlazione a possibili cause e il suggerimento di azioni correttive. Inoltre, lo strumento potrà essere un valido supporto per centri di ricerca, università e consulenti aziendali, che a partire dai dati e dalle analisi effettuate, potranno identificare le criticità e conseguentemente le azioni di miglioramento a maggior impatto positivo per l'ottimizzazione e l'efficientamento dell'intera filiera produttiva.

### 1.5 Sperimentazione della soluzione attraverso diversi test case appartenenti alla filiera, per la validazione e l'ottimizzazione della soluzione sviluppata

Lo strumento verrà fatto testare ad aziende appartenenti alla filiera per valutarne le funzionalità principali e fornire feedback in termini di funzionalità, usabilità ed efficacia.

## 2 Risultati ottenuti

### 2.1 Studio della filiera di riferimento e caratterizzazione dei principali processi industriali

L'attività preliminare è stata identificare la filiera produttiva del sistema di isolamento termico a cappotto, definito come ETICS (External Thermal Insulation Composite System). Questo particolare sistema è fondamentale per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, andandoli ad isolare dall'esterno. Nello specifico, è stato considerato il sistema di installazione OSC, ovvero un sistema tecnologico che prevede la costruzione in un luogo diverso (off-site) da quello in cui si trova il cantiere definitivo (on-site). Questo tipo di edilizia offre vantaggi dal punto di vista della sostenibilità ambientale, riducendo sprechi di risorse e materiali, una maggiore qualità della componentistica, una maggiore sicurezza all'interno del cantiere ed è in grado di garantire tempi e costi certi già in fase di progettazione. Questa particolare filiera produttiva non è ancora stata ottimizzata nel contesto nazionale dal punto di vista energetico ed ambientale. Tuttavia, l'OSC rientra a tutti gli effetti nel settore industriale, il quale, solo all'interno dell'Unione Europea, è responsabile del consumo energetico e di gas serra di rispettivamente il 24% e 20% del totale. Con filiera produttiva OSC si intendono tutti gli attori del ciclo di vita del cappotto termico. In primo luogo, si trovano i produttori della componentistica del cappotto, la quale è formata da elementi caratteristici definiti a livello normativo europeo ETAG 004 e EAD 040083-00-0404: collante, materiale isolante, ancoraggi meccanici (se necessari), intonaco di base, armatura, primer e intonaco di finitura. Infine, rientrano nella filiera i produttori e/o installatori di cappotti, ovvero i sistemisti, nonché gli utilizzatori finali dei cappotti.

La ricerca in letteratura si è concentrata principalmente nella caratterizzazione dei processi industriali dei produttori di materiali isolanti. Sono state analizzate nel dettaglio le filiere produttive di tre produttori di isolanti:

- Polistirene espanso (EPS): è il materiale attualmente più performante e più utilizzato nei cappotti termici, il quale unisce i vantaggi di leggerezza, resistenza all'umidità e buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche, alle quali va unito lo svantaggio di essere propenso a combustione a causa del suo elevato contenuto di carbonio;
- Fibra di vetro: utilizzata per la realizzazione del composito noto come lana di vetro. Questo materiale è caratterizzato da resistenza meccanica anche a diversi tipi di sollecitazione, nonché resistenza chimica e a corrosione;
- Lana di roccia: questo particolare materiale è relativamente economico, facile da maneggiare e installare, con buone capacità di isolamento sia termico che acustico, resistente al fuoco. Tra gli svantaggi troviamo il non poter essere utilizzata in ambienti umidi, dato che la sua conducibilità termica può essere gravemente danneggiata dalla condensa.

A questa è stata aggiunta una descrizione meno di dettaglio del processo produttivo dell'intonaco.

L'attività si è quindi focalizzata nello studio della filiera produttiva dei sistemi ETICS, con particolare focus sulla produzione dei tre materiali isolanti più investigati in letteratura (EPS, fibra di vetro e lana di roccia). I risultati ottenuti vanno dalla caratterizzazione della struttura della filiera produttiva fino al dettaglio dei processi produttivi dei materiali isolanti e del produttore di intonaco. Questi dati sono stati fondamentali per poi costruire la base dello strumento software.

## 2.2 Studio e definizione di una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction di isolamento

La metodologia sviluppata ha l'obiettivo di supportare l'efficienza energetica nell'ambito industriale dell'OSC e fornire valori riguardanti l'impatto ambientale dei processi considerati, supportando l'identificazione di inefficienze energetiche sia a livello aziendale che di filiera, attraverso un approccio semplificato basato sulla filosofia Lean e sulla Carbon Footprint di azienda. L'output primario del modello è stato quello di calcolare dei KPI che consentano di identificare facilmente le attività maggiormente energivore e inefficienti dal punto di vista ambientale ed economico. La metodologia si compone dei seguenti passi:

1. Il primo passo consiste nella definizione degli obiettivi e dei confini che caratterizzano l'analisi energetica ed ambientale. Stabilire obiettivi chiari e misurabili è fondamentale per comprendere i risultati attesi e sviluppare strategie di azione efficaci.
2. La seconda fase del metodo prevede la raccolta dati, la quale influenza direttamente l'analisi e l'individuazione di eventuali azioni correttive. La raccolta dati ha lo scopo di identificare, all'interno dei confini del sistema, i flussi energetici, i flussi materiali in ingresso e uscita, le attrezzature e i flussi produttivi, i dati di consumo energetico e i parametri influenzanti l'efficienza energetica e la valutazione di impronta ambientale. Un aspetto importante in questa fase riguarda la classificazione delle attività produttive secondo logica Lean in: (1) attività a valore aggiunto (VA), ovvero le operazioni necessarie per realizzare un prodotto e che modificano lo stato di un componente o di un semilavorato, per le quali il cliente è disposto a pagare; (2) attività a non valore aggiunto (NVA), ovvero le operazioni necessarie ma che non trasformano il prodotto e che quindi non interessano al cliente; (3) attività di spreco (W), ovvero le operazioni che non trasformano il prodotto e non sono necessarie, generando costi aggiuntivi che il cliente non è disposto a pagare.
3. La terza fase del metodo prevede che i dati raccolti vadano analizzati per determinare dei KPI adeguati. Gli indici misurano il corretto funzionamento del sistema e aiutano a definire i progressi verso l'obiettivo prestabilito, consentendo quindi un accurato monitoraggio del consumo energetico e dell'impronta ambientale. È bene che oltre al calcolo, tali indici siano poi visualizzati graficamente per rendere più rapida ed intuitiva la determinazione delle attività per le quali le azioni di ottimizzazione energetica ed ambientale sono più critiche e/o urgenti.

### • Indici energetici

Gli indici energetici sono definiti a partire dalla quantità di energia consumata dalle diverse tipologie di attività  $E_{VA}$ ,  $E_{NVA}$  e  $E_W$ . A partire da questi valori possono essere poi calcolati tre indicatori significativi per stabilire quali processi o attività hanno un maggiore impatto e quindi necessitano precedenza nella valutazione ed eventuale correzione. Questi indicatori sono definiti a partire dalla metodologia industriale del RVM, la quale permette di valutare le risorse in gioco nel contesto industriale.

- I. Cost index (CI): consente di identificare quale processo è responsabile dei costi più elevati tra quelli legati ai consumi energetici. Si ottiene come somma del costo unitario di energia ( $c_i$ ) moltiplicato per la relativa quantità totale di energia consumata;
- II. Muda Index (MI): consente di quantificare il costo dell'energia non correlata alle attività VA, fornendo quindi una rappresentazione chiara delle criticità dei flussi energetici. Più il valore MI è alto, più problematiche saranno le attività considerate. Le attività di W vengono moltiplicate per un fattore 2 in modo da focalizzare l'indicatore sulle energie sprecate dal sistema;

- III. Indice di Prestazione Energetica (IPE): definito facendo riferimento all'indicatore solitamente utilizzato per la stesura di diagnosi energetiche. Come suggerito dal Ministero dello Sviluppo Economico, ora Ministro delle Imprese e del Made in Italy, le diagnosi energetiche dovrebbero individuare un indice prestazionale aziendale descritto come il rapporto tra i consumi complessivi energetici e la media della specifica destinazione d'uso dell'azienda. Quest'ultima coincide con la produzione se si parla di aziende con attività produttive o con l'ampiezza della superficie servita se si tratta di aziende che realizzano servizi.

- **Indici ambientali**

Per l'analisi di impronta ambientale, si è deciso di fare riferimento alla Corporate Carbon Footprint (CCF). Questo parametro viene utilizzato per stimare le emissioni di gas serra in modo da determinare gli impatti ambientali dovuti dalle emissioni sui cambiamenti climatici di origine antropica. Parte di questi risultati sono determinati dal carbon accounting, noto anche come contabilizzazione delle emissioni di gas serra, il quale quantifica la quantità di gas serra prodotti direttamente e indirettamente dalle attività di un'azienda o di un'organizzazione entro determinati confini. La sua valutazione permette di dividere le emissioni totali, espresse in kg CO<sub>2</sub> eq, in tre categorie:

- I. Scope 1: emissioni anche chiamate "emissioni dirette", le quali derivano da fonti direttamente controllate o possedute da un'organizzazione;
  - II. Scope 2: emissioni anche chiamate "emissioni indirette", le quali derivano dall'acquisto di energia elettrica, riscaldamento e raffreddamento da fornitori esterni;
  - III. Scope 3: "emissioni legate alla catena di fornitura", ovvero emissioni indirette che derivano dalle attività di un'azienda ma non sono di competenza diretta dell'azienda stessa.
4. La quarta e ultima fase del metodo prevede che a seguito della definizione degli indici energetici ed ambientali possano essere identificate le attività e le aree di processo maggiormente critiche e a bassa efficienza, monitorando allo stesso tempo l'impatto ambientale.

## 2.3 Studio dell'architettura dello strumento di energy value mapping

Per descrivere lo strumento di energy value mapping, inizialmente si possono distinguere le diverse parti che compongono la sua architettura. La necessità di avere diversi utenti che accedano in contemporanea alla piattaforma e che condividano i dati fra loro ha imposto il requisito di sviluppare un'architettura web-based. Tra i diversi utenti a cui è garantito l'accesso troviamo sia i diversi attori della filiera, sia gli enti di ricerca partner (ENEA e Università), come anche due diverse tipologie di utente all'interno di ogni organizzazione. Tale architettura è organizzata come segue:

- Un server centrale che contiene la piattaforma, scalabile per permettere l'accesso ad una quantità più elevata di utenti nel caso in cui fosse necessario in fase di rilascio e utilizzo effettivo;
- Un server centrale che contiene il backend e il database, anch'esso scalabile in caso di necessità.

La piattaforma web è la parte di strumento a disposizione dell'utente per chiedere, ottenere e visionare i risultati desiderati. L'utente è distinto tra:

- Amministratore: ha accesso a tutte le funzionalità e può gestire le attività produttive già disponibili nel software (a seguito dello studio in letteratura sono state infatti definite delle attività "standard" per alcuni attori pilota) o aggiungerne altre presenti

nella sua azienda e non di default nello strumento. Inoltre, è in grado di visualizzare nel dettaglio tutti i risultati ottenuti dall'analisi energetica e ambientale per ogni singola fase e sottofase del processo produttivo. È poi in grado di concedere l'accesso a nuovi utenti standard;

- Utente standard: non è abilitato a modificare o aggiungere nessuna attività o informazione di processo, ma potrà solamente visualizzare i risultati finali dell'analisi energetica e ambientale in toto, senza poter entrare nel dettaglio di ogni singola attività.

L'inserimento dati è attualmente non automatizzato: i dati vengono raccolti dall'utilizzatore che si serve di supporti come fatture, contatori, dati storici aziendali e poi inseriti a mano nelle apposite sezioni della piattaforma. I dati di input allo strumento includono informazioni sul consumo energetico e materiale delle risorse aziendali, nonché i parametri di processo. Questi dati vengono gestiti per l'archiviazione dal database, il quale conterrà anche delle informazioni aggiuntive statiche necessarie per il calcolo degli indici ambientali (raccolte dal database commerciale Ecolnvent). Il backend si occuperà poi del calcolo degli indici prestazionali utilizzando le formulazioni già definite nella sezione del metodo.

## 2.4 Sviluppo dello strumento software

Lo strumento, raggiungibile ad uno specifico link web, è gestito da un amministratore di sistema, che ha accesso a tutte le funzionalità e potrà gestire gli accessi (in modalità back-end) degli utenti. L'applicazione web è stata sviluppata utilizzando il framework Angular 16, il moderno formato suggerito single-page application e avendo come base node.js 20.18. La scelta del framework di sviluppo è stata dettata dalla necessità di avere un sistema affidabile, testato e moderno, in modo da consentire l'eventuale futuro ampliamento della piattaforma per nuovi sviluppi o scaling per un'utenza più numerosa.

Il backend è stato sviluppato usando nuovamente node.js 20.18, e il database è stato creato utilizzando MySQL 8.3, quindi supporta l'intero set di query SQL.

## 2.5 Sperimentazione della soluzione attraverso diversi test case appartenenti alla filiera, per la validazione e l'ottimizzazione della soluzione sviluppata

Lo strumento è stato oggetto di test sia da parte dell'UNIVPM che da parte di Enea, in modo da fornire feedback in ogni passo dello sviluppo. È stato inoltre eseguito un test con alcune aziende della filiera per valutarne l'efficacia.

### 3 Prodotti attesi

La LA2.11 ha come prodotto atteso lo sviluppo di uno strumento di calcolo relativo all'implementazione dell'Energy Value Mapping a livello di filiera.

## 4 Prodotti sviluppati

Strumento di calcolo relativo all'implementazione dell'Energy Value Mapping a livello di filiera. Lo strumento è in grado di fornire supporto alle aziende del settore nella mappatura della filiera di riferimento e dei relativi flussi energetici e opportunità di efficientamento. Lo strumento è stato sviluppato in modalità web. Le funzionalità principali permettono l'analisi energetica e ambientale del processo produttivo delle aziende della catena produttiva ETICS della filiera OSC, mediante la restituzione di opportuni indici. Lo strumento è stato customizzato per questa particolare filiera produttiva, permettendo una compilazione guidata per i principali attori della catena ETICS. Allo strumento viene allegato un manuale di utilizzo software in cui sono spiegate nel dettaglio le modalità di inserimento dati e di lettura dei risultati ottenuti.

## 5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si riscontrano scostamenti su attività e risultati.

## 6 Sintesi delle attività svolte

Le attività hanno mirato a:

- Studio e caratterizzazione della filiera produttiva ETICS, con definizione dei processi produttivi dei principali attori. Queste informazioni sono state utili per customizzare lo strumento software e guidare gli utenti nella compilazione;
- Definizione di una metodologia specifica per l'ottimizzazione delle soluzioni OSC della filiera ETICS. La metodologia definita è stata la base per lo sviluppo dello strumento software; in particolare, a valle dell'approccio metodologico sono stati definiti degli indici prestazionali energetici e ambientali ritenuti idonei e utili per il caso studio;
- Studio dell'architettura dello strumento software. A seguito della definizione della metodologia appropriata sono state definite le funzionalità e modalità di inserimento input e calcolo output dello strumento;
- Sviluppo del vero e proprio strumento software in modalità web;
- Test, risoluzione problemi e miglioramento funzionalità strumento.

## 7 Dettaglio delle attività svolte

### 7.1 Studio della filiera di riferimento e caratterizzazione dei principali processi industriali

La prima attività svolta è stata la caratterizzazione della filiera produttiva ETICS per le OSC. I principali attori sono raffigurati in Figura 2.

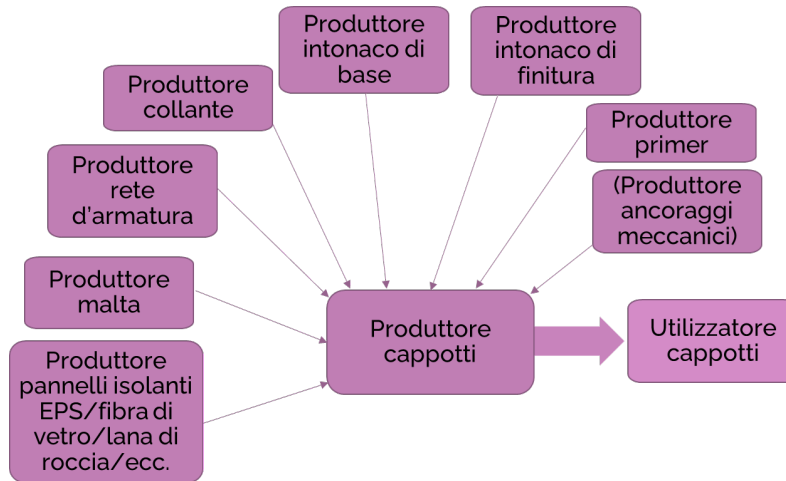


Figura 1. Filiera produttiva ETICS

È stato poi caratterizzato il processo produttivo dei produttori di intonaco, ricavato da letteratura.

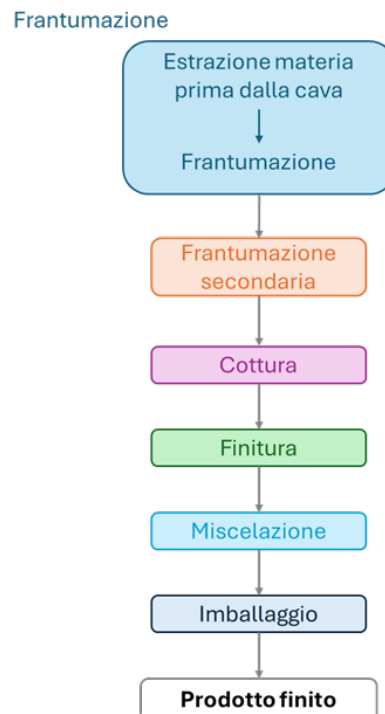


Figura 2. Processo produttivo intonaco

Successivamente si è passati alla caratterizzazione dei processi industriali dei produttori di materiali isolanti.

### 7.1.1 Polistirene espanso (EPS)

Processo produttivo dell'EPS:

- Pre-espansione, maturazione ed espansione, in cui le perle di polistirolo vergine vengono sottoposte ad espansione tramite iniezione di vapore e successiva maturazione per raggiungere stabilità. Questo è possibile perché le sfere di polistirolo espandibile sono costituite da celle microscopiche riempite di un gas espandente (pentano);
- Passaggio nel reparto blocchi o reparto stampaggio, in cui avviene il processo di sinterizzazione delle perle espanse tramite vapore, gonfiandole ulteriormente e saldandole tra loro;
- Finitura dei prodotti stampati tramite pantografo;
- Macinazione degli sfridi recuperati, se prevista;
- Confezionamento del manufatto finito.

Vanno aggiunti i servizi ausiliari (tra cui aria compressa, generazione di vapore, trattamento delle acque e torri evaporative, aspirazione, cogenerazione, produzione del vuoto, ecc.) e i servizi generali (illuminazione, utenze uffici, condizionamento e riscaldamento, magazzino, ecc.). Questo particolare processo produttivo, dal punto di vista delle risorse energetiche, fa uso principalmente di energia elettrica, usata anche per la produzione di aria compressa, e gas naturale, utilizzato nelle caldaie e per la produzione di vapore.

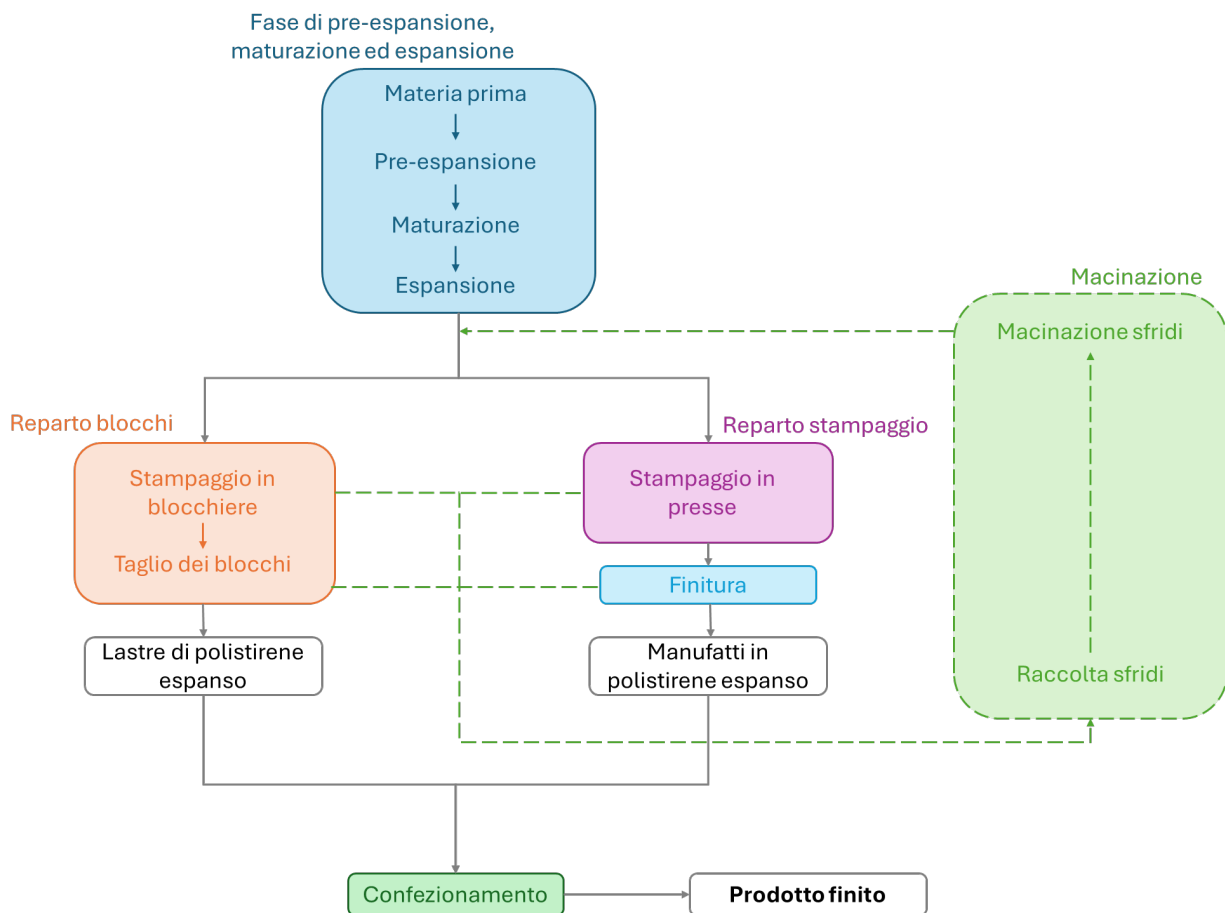


Figura 3. Processo produttivo EPS

### 7.1.2 Fibra di vetro

Processo produttivo della fibra di vetro:

- Composizione della miscela, solitamente realizzata con materie prime vergini e rottami;
- Fusione nel forno fusorio;
- Formatura, in cui la massa vetrosa viene filata attraversando dei fori di una filiera rotante e apprettata;
- Fabbricazione, in cui i filamenti vengono convogliati in una stufa di polimerizzazione;
- Imballaggio, in cui il materiale viene dimensionato tagliandolo.

Vanno aggiunti i servizi ausiliari (aria compressa, raffreddamento processo, aspirazione, ecc.) e i servizi generali (illuminazione, utenze uffici, condizionamento e riscaldamento, ecc.). Anche questo particolare processo produttivo è principalmente caratterizzato dall'utilizzo di energia elettrica e gas naturale, impiegato però direttamente nel processo e non nella produzione di vapore come nel caso dell'EPS.

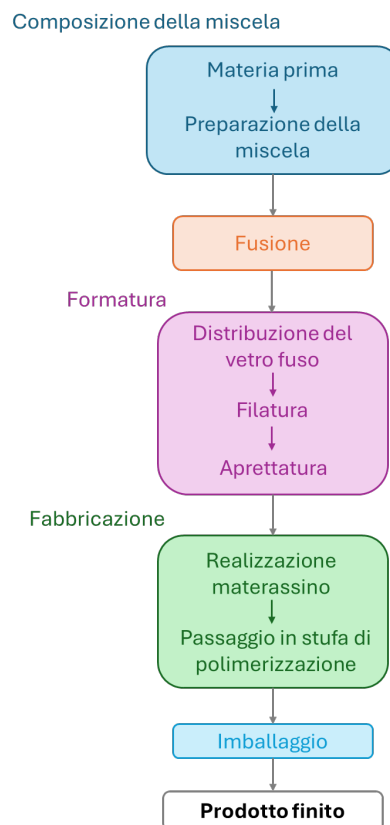


Figura 4. Processo produttivo fibra di vetro

### 7.1.3 Lana di roccia

Processo produttivo della lana di roccia:

- Preparazione della miscela, pesando rocce come il diabase e il basalto;
- Fusione della miscela ad alte temperature;
- Filatura della massa fusa dalla fornace, nella quale vengono convogliati anche i materiali leganti, l'acqua di raffreddamento e degli oli (aumentano la stabilità e le proprietà idrorepellenti del prodotto);
- Polimerizzazione del legante ed evaporazione dell'acqua, seguita da raffreddamento a temperatura ambiente;
- Taglio e raccolta polveri;
- Riciclo degli sfridi, se presente;
- Confezionamento.

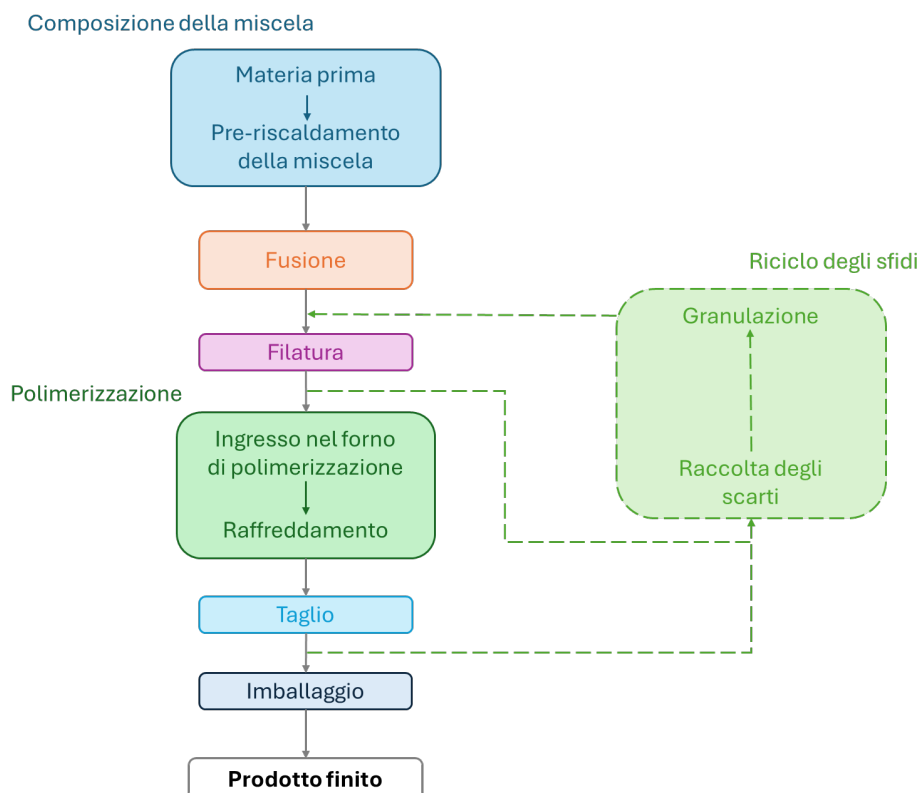


Figura 5. Processo produttivo lana di roccia

## 7.2 Studio e definizione di una metodologia specifica per la filiera produttiva di soluzioni modulari e off-site construction di isolamento

La metodologia sviluppata ha l'obiettivo di supportare l'efficienza energetica nell'ambito industriale dell'OSC e fornire valori riguardanti l'impatto ambientale dei processi considerati, supportando l'identificazione di inefficienze energetiche sia a livello aziendale che di filiera, attraverso un approccio semplificato basato sulla filosofia Lean e sulla Carbon Footprint di azienda. L'output primario del modello è stato quello di calcolare dei KPI che consentissero di identificare facilmente le attività maggiormente energivore e inefficienti dal punto di vista ambientale ed economico.

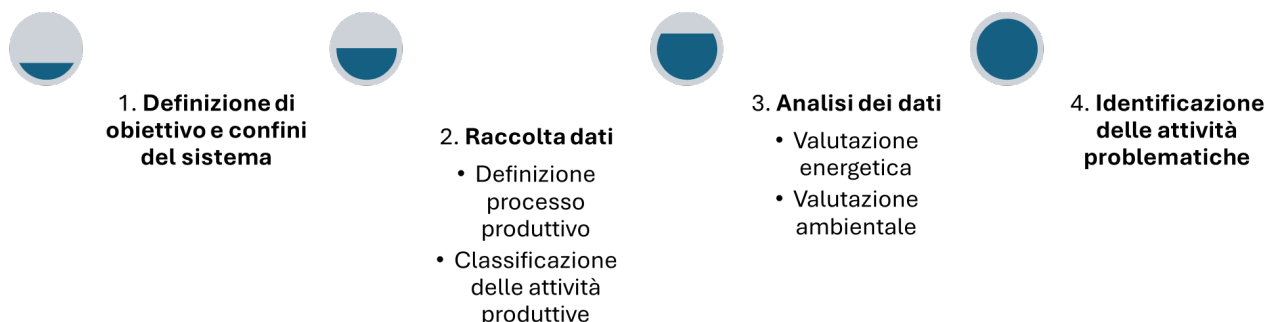


Figura 6. Metodologia analisi filiera produttiva OSC

### 7.2.1 Definizione di obiettivi e confini dell'analisi

Sono stati definiti gli obiettivi dell'analisi, ovvero permettere a tutti gli attori della filiera OSC di effettuare delle analisi di efficientamento energetico e di impronta ambientale. Allo stesso tempo l'analisi deve essere anche riportata a livello di filiera, permettendo agli enti di ricerca,

quali ENEA e Università, di poter visualizzare le criticità della supply chain. Come confine dell'analisi è stato definito un intervallo temporale di raccolta dati di un anno.

### 7.2.2 Raccolta dei dati

Sono state definite le informazioni necessarie per la raccolta dati, da inserire poi nel software. Esse comprendono informazioni su:

- Periodo considerato per l'analisi;
- Fasi di processo e singole attività. Le attività sono poi distinte secondo logica Lean in VA, NVA e W;
- Risorse energetiche. Lo strumento richiede in input l'inserimento di flussi energetici per le varie fasi e sottofasi del processo, distinguendo tra energia elettrica e termica, quindi ulteriormente tra autoprodotta o acquistata da fornitore. È possibile impostare tre differenti livelli di dettaglio dell'analisi, a seconda del livello di dettaglio disponibile per i dati. Il dettaglio basso viene selezionato quando non si hanno dati specifici né sul contributo in percentuale delle varie fasi né sulle percentuali di energia elettrica e termica di ogni fase; in questo caso lo strumento considera un contributo uguale per tutte le voci e per tutte le diverse fasi. Il livello medio ipotizza che l'utente conosca le percentuali di contributo del consumo energetico di ogni fase del processo, mentre la suddivisione percentuale tra energia elettrica e termica restano fisse. Il livello di dettaglio alto utilizza le stesse ipotesi del livello medio con la differenza che l'utente che può specificare il contributo di energia elettrica e termica di ogni fase e sottofase;

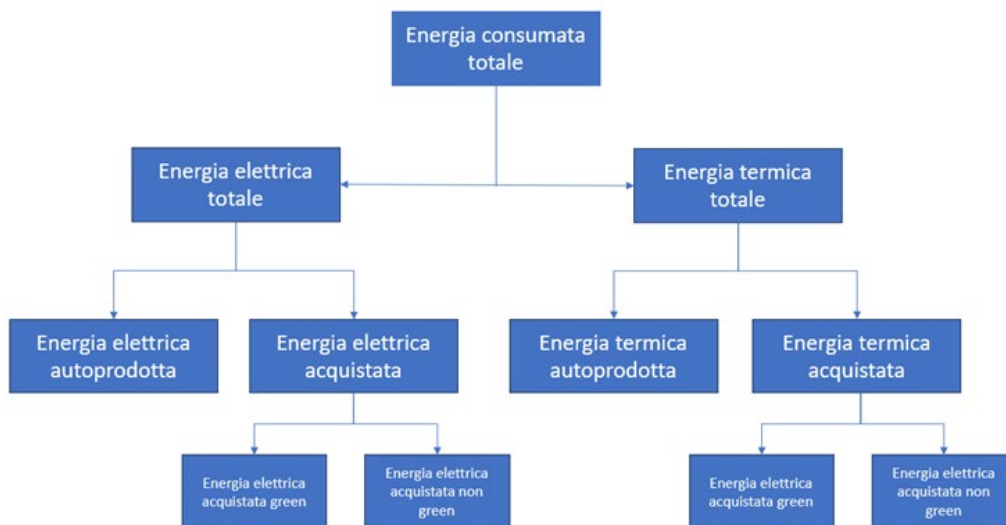


Figura 7. Diagramma ad albero degli input relativi ai consumi energetici

- Distinzione tra energia corrispondente alle attività principali, ai servizi generali e a quelli ausiliari;
- Materia prima acquistata in ingresso nell'azienda;
- Quantità di emissioni dirette tra cui anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), monossido di diazoto (N<sub>2</sub>O), idrofluorocarburi (HFCs), perfluorocarburi (PFCs) ed esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>), etc;
- Quantità di prodotto finito realizzata.

Queste informazioni devono essere raccolte dagli attori della filiera e inserite in maniera corretta nel software.

### 7.2.3 Analisi dei dati

Sono stati definiti gli indici energetici e ambientali di riferimento:

- **Indici energetici**

1. Cost index (CI):

$$CI = \sum_i c_i \times (E_{VAi} + E_{NVAi} + E_{Wi})$$

2. Muda Index (MI):

$$MI = \sum_i c_i \times (E_{NVAi} + 2 \times E_{Wi})$$

3. Indice di Prestazione Energetica (IPE):

$$IPE = \frac{\text{energia complessivamente consumata dal plant [kWh]}}{\text{quantità di materia in uscita dal plant [t]}}$$

- **Indici ambientali**

Valutazione della CCF:

1. Scope 1: emissioni dirette associate agli impianti produttivi aziendali, alle quali andranno sommate le quantità di energia autoprodotta di tipo elettrico, termico o proveniente da altre fonti;
2. Scope 2: emissioni generate per la produzione esterna di tutte le risorse acquistate e utilizzate dall'azienda, sia elettriche che materiali;
3. Scope 3: flussi di risorse materiali in uscita dall'azienda, ovvero i prodotti finiti.

I valori di emissioni finali sono espressi in kg di CO<sub>2</sub> equivalenti, ottenuti moltiplicando le emissioni dirette per determinati fattori di conversione. Tali fattori di conversione (o coefficienti) sono ricavati dai rapporti IPCC.

### 7.2.4 Identificazione delle attività problematiche

Per semplicità, il metodo definito considera problematiche e che necessitano degli interventi le attività riportanti i due MI più alti.

## 7.3 Flusso di utilizzo

Si mostra ora un esempio di flusso di utilizzo dello strumento per una tipologia di attore della catena produttiva.

### 7.3.1 Azienda produttrice pannelli isolanti EPS

L'utente entra nello strumento dopo aver inserito le sue credenziali. Si ipotizza che il suo ruolo sia quello di amministratore.



Figura 8. Schermata login strumento



Figura 9. Schermata ingresso strumento

L'utente imposta i parametri generali del suo plant produttivo. È bene fare attenzione al salvataggio a valle di ogni scheda di inserimento dei parametri. Ogni dato verrà salvato nel database e resterà a disposizione fino ad un nuovo salvataggio.

Consumo energetico totale:	<input type="text" value="27885740,4"/>	kWh
Energia elettrica:	<input type="text" value="13"/>	%
Energia termica:	<input type="text" value="87"/>	%
Energia autoprodotta:	<input type="text" value="1"/>	%
Energia acquistata:	<input type="text" value="99"/>	%
Costo unitario energia elettrica:	<input type="text" value="0,1051"/>	€/kWh
Costo unitario energia termica:	<input type="text" value="0,03"/>	€/kWh
Costo unitario energia autoprodotta:	<input type="text" value="0"/>	€/kWh

Figura 10. Impostazione parametri generali

L'utente imposta le fasi di processo. La prima scelta che si trova a fare riguarda il livello di dettaglio delle informazioni da inserire.

Selezione livello di dettaglio:

- Basso
- Medio**
- Alto

Figura 11. Scelta livello di dettaglio

Successivamente, l'utente imposta le fasi ed eventuali sottofasi del processo produttivo, secondo le modalità già descritte.

OFFICIO Enealysis Logout

Seleziona livello di dettaglio: Alto

Aggiungi nuova fase

Nome fase: Servizi ausiliari

Tipo attività: NVA

Energia totale: 8 %

Energia elettrica: 100 %

Energia termica: 0 %

Aggiungi nuova sottofase Elimina fase

Salva fasi

Figura 12. Inserimento dati sul processo produttivo

A questo punto l'utente si occupa delle informazioni su emissioni dirette e risorse materiali in ingresso e in uscita dal processo.

OFFICIO Enealysis Logout

**Emissioni**

Aggiungi nuova emissione

**Materiali**

Aggiungi nuovo materiale

Tipo materia prima in ingresso: Polistirolo

Figura 13. Inserimento dati su emissioni e materiali

L'utente è ora pronto per visualizzare i risultati dell'analisi appena effettuata; può salvare i risultati di ogni analisi in formato PDF. I risultati sono visualizzabili in formato tabellare e in forma di grafico a torta.

OFFICIO Enealysis Logout

Esporta come pdf

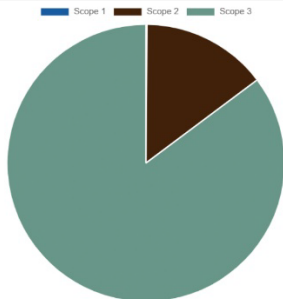
**Valutazione ambientale**

Figura 14. Salvataggio analisi

Esporta come pdf

### Valutazione ambientale

	Scope 1 [kg CO2 eq]	Scope 2 [kg CO2 eq]	Scope 3 [kg CO2 eq]
Totale	20421.79	2652757.77	15425678.60



### Valutazione energetica

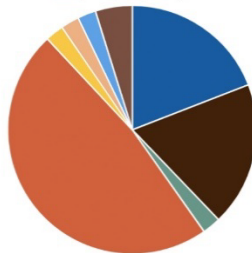
#### Cost Index (CI)

Fasi	Energia Elettrica [€]	Energia Termica [€]	Totale [€]
Servizi ausiliari	234463.31	0.00	234463.31
Pre-espansione	29307.91	200777.33	230085.24

univpm.it/analysis

Frantumazione	29307.91	0.00	29307.91
Altro	29307.91	0.00	29307.91
Servizi generali	58615.83	0.00	58615.83
<b>Totale</b>	<b>546885.66</b>	<b>680467.84</b>	<b>1227353.50</b>

■ Servizi ausiliari ■ Pre-espansione ■ Maturazione  
■ Formatura ■ Taglio lastre ■ Frantumazione  
■ Altro ■ Servizi generali



### MUDA Index (MI)

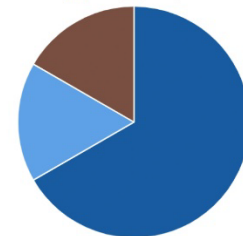
Fasi	Energia Elettrica [€]	Energia Termica [€]	Totale [€]
Servizi ausiliari	234463.31	0.00	234463.31
Pre-espansione	0.00	0.00	0.00
Maturazione	0.00	0.00	0.00

univpm.it/analysis

12

Altro	58615.83	0.00	58615.83
Servizi generali	58615.83	0.00	58615.83
<b>Totale</b>	<b>351694.96</b>	<b>0.00</b>	<b>351694.96</b>

■ Servizi ausiliari ■ Pre-espansione ■ Maturazione  
■ Formatura ■ Taglio lastre ■ Frantumazione  
■ Altro ■ Servizi generali



### IPE Index

	IPE [kWh/ton]
Totale	6.56e-3

### Consumi Totali

esn.univpm.it/analysis

Figura 15. Esempio esportazione PDF

## 7.4 Sviluppo dello strumento software

### 7.4.1 Analisi dei requisiti

La prima fase del processo di sviluppo software è stata l'analisi dei requisiti. Attraverso diverse riunioni incentrate sulla definizione del prototipo software, delle sue funzionalità e dei suoi obiettivi, è stato possibile impostare le altre attività di sviluppo.

Il prodotto principale di questa attività è stato il diagramma dei casi d'uso in Figura 16.



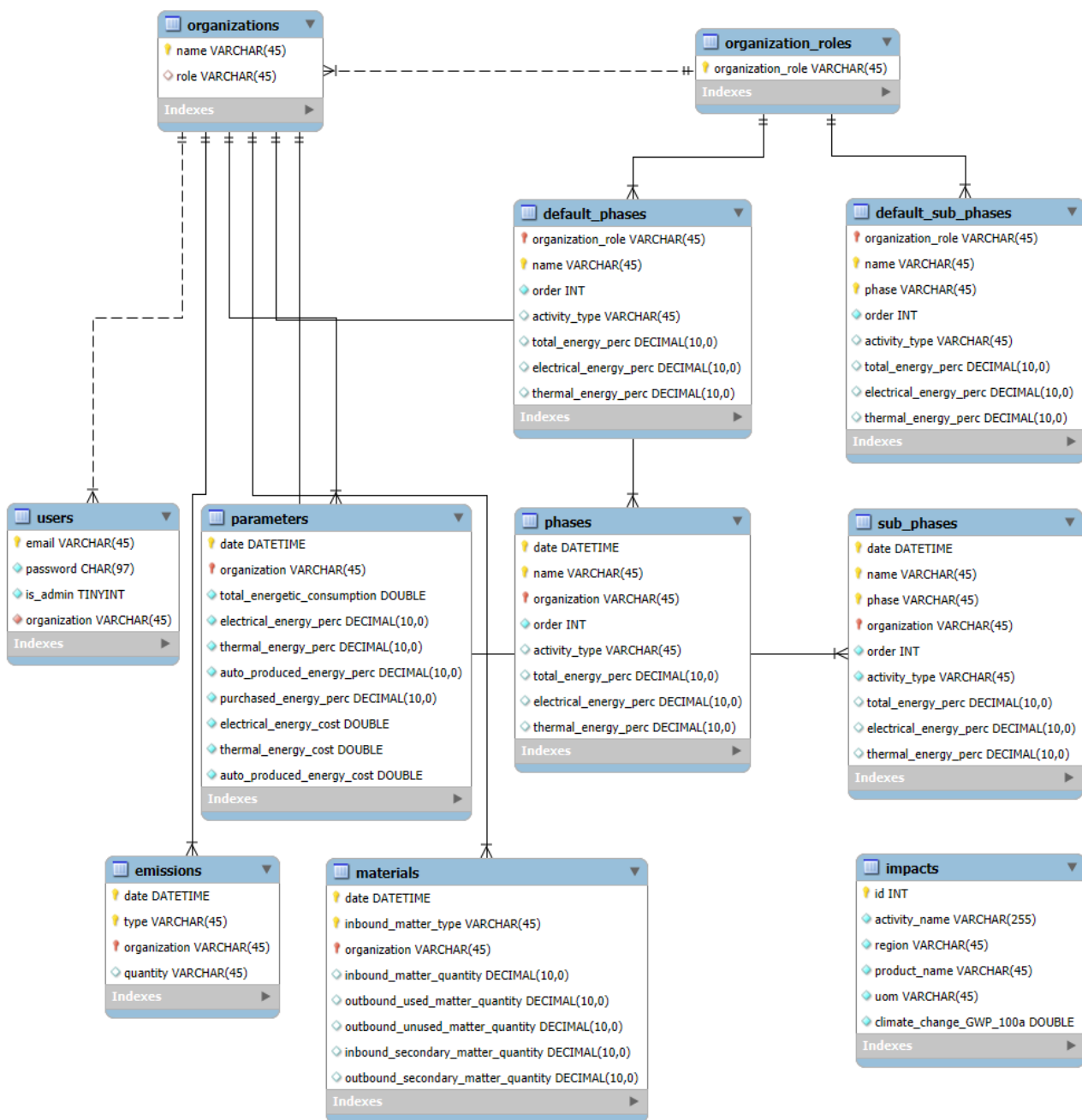


Figura 17. Diagramma E/R del database

All'interno del database sono presenti non solo i dati di default della piattaforma, ma anche i dati delle aziende e dei loro utenti. Ogni dato inserito dalle aziende viene salvato senza sovrascrivere quelli già presenti, in modo da avere uno storico dei dati usati nelle analisi passate. Questa funzionalità potrebbe essere utile nel caso in cui un utente voglia eseguire nuovamente un'analisi effettuata in passato con i relativi dati, o anche di "aggiornarla" utilizzando dati più recenti.

### 7.4.3 Sviluppo di un prototipo software

La terza fase ha previsto lo sviluppo vero e proprio del software. Partendo dai documenti prodotti durante le fasi precedenti e da un dimostratore realizzato come mockup, l'attività è stata fondamentalmente di design e prototipazione del sistema descritto. I continui colloqui

con i partner del progetto (ENEA) hanno permesso inoltre di controllare l'andamento dello sviluppo e di monitorare le necessità previste per l'utente finale.

## 7.5 Sperimentazione della soluzione attraverso diversi test case per la validazione e l'ottimizzazione della soluzione sviluppata

L'ultima attività, iniziata nelle fasi finali del completamento dello sviluppo, ha riguardato prevalentemente il test del software da parte di 7 utenti finali, in modo da identificare eventuali mancanze o discrepanze tra la specifica del software e ottimizzarne le funzionalità. All'attività di testing sono conseguite successive attività di correzione di problematiche (bugfixing) e miglioramento di funzionalità (tweaking), incluse nella macroattività dello sviluppo software.

Gli utenti coinvolti nel test dello strumento software sono stati 7, appartenenti a differenti categorie:

- N.2 utenti appartenenti alla categoria amministratore (impresa)
- N.2 utenti standard (impresa)
- N.3 utenti amministratori di sistema (appartenenti a centri di ricerca, in particolare utenti di ENEA e UNIVPM)

Gli utenti hanno seguito un training di utilizzo dello strumento, con spiegazione delle funzionalità, della durata di circa 1 ora. Quindi è stato chiesto loro di eseguire i seguenti passi (Task).

- Task 1: Inserimento di parametri generali
- Task 2: Inserimento fasi di processo per livello di dettaglio alto
- Task 3: Parametri del plant
- Task 4: Interpretazione dei risultati di analisi energetica e ambientale

Al termine dello svolgimento di ciascun task, agli utenti è stato chiesto di compilare un breve questionario di valutazione, come di seguito mostrato, con valutazioni su scala Likert da 1 a 7.

Tabella 1. UEQ Questionario di user experience

<b>UEQ user experience questionnaire</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
Incomprensibile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Comprensibile
Difficile da apprendere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Facile da apprendere
Ostruttivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Di supporto
Complicato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Facile
Non soddisfa le aspettative	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Soddisfa le aspettative
Inefficiente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Efficiente
Confuso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Chiaro

Non pragmatico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Pragmatico
Sovraccarico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ordinato
Tempo di esecuzione ragionevole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tempo di esecuzione eccessivo
Convenzionale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Innovativo

Successivamente, al termine dello svolgimento di tutti i task, agli utenti è stato chiesto di rispondere ad un questionario di valutazione complessivo relativo all'usabilità della soluzione.

Tabella 2. Questionario usabilità

<b>SUS System usability scale</b>	da 1 (totalmente in disaccordo) a 5 (totalmente d'accordo)				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1. Penso che mi piacerebbe usare questa piattaforma frequentemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Ho trovato la piattaforma complessa senza che ce ne fosse il bisogno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Ho trovato la piattaforma molto semplice da usare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare la piattaforma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Ho trovato le varie funzionalità della piattaforma ben integrate	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Ho trovato incoerenza tra le varie funzionalità della piattaforma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Credo che la maggior parte delle persone imparerebbe molto velocemente ad usare questa piattaforma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Ho trovato la piattaforma molto macchinosa da utilizzare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Ho avuto molta confidenza con la piattaforma durante l'uso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad usare al meglio la piattaforma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Ho portato a termine tutti i task (efficacia)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Ho avuto bisogno di provare più alternative prima di portare a termine un task (efficacia)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Non ho risorse alternative per raggiungere gli obiettivi che posso raggiungere con la piattaforma (efficienza)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Ho bisogno della piattaforma per migliorare il prodotto dal punto di vista ambientale (efficienza)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. Ho trovato eccessivo il tempo di analisi (efficienza)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Infine, gli utenti hanno avuto a disposizione un campo libero in cui segnalare eventuali malfunzionamenti o anomalie dello strumento o suggerimenti.

Di seguito si riportano i risultati medi di valutazione e le principali segnalazioni di miglioramento.

Tabella 3. Risultati UEQ

<b>UEQ user experience questionnaire</b>	<b>Media degli utenti per ciascun Task</b>
Incomprensibile	2
Difficile da apprendere	2
Ostruttivo	1
Complicato	2,75
Non soddisfa le aspettative	3,25
Inefficiente	1,25
Confuso	1,5
Non pragmatico	2,5
Sovraccarico	2
Tempo di esecuzione ragionevole	5
Convenzionale	4

Tabella 4. Risultati SUS

<b>SUS System usability scale</b>	<b>Media degli utenti</b>
1. Penso che mi piacerebbe usare questa piattaforma frequentemente	3
2. Ho trovato la piattaforma complessa senza che ce ne fosse il bisogno	2
3. Ho trovato la piattaforma molto semplice da usare	4
4. Penso che avrei bisogno del supporto di una persona già in grado di utilizzare la piattaforma	3
5. Ho trovato le varie funzionalità della piattaforma ben integrate	2
6. Ho trovato incoerenza tra le varie funzionalità della piattaforma	1
7. Credo che la maggior parte delle persone imparerebbe molto velocemente ad usare questa piattaforma	5
8. Ho trovato la piattaforma molto macchinosa da utilizzare	2
9. Ho avuto molta confidenza con la piattaforma durante l'uso	3
10. Ho avuto bisogno di imparare molti processi prima di riuscire ad usare al meglio la piattaforma	3
12. Ho portato a termine tutti i task (efficacia)	5
13. Ho avuto bisogno di provare più alternative prima di portare a termine un task (efficacia)	3
14. Non ho risorse alternative per raggiungere gli obiettivi che posso raggiungere con la piattaforma (efficienza)	5
15. Ho bisogno della piattaforma per migliorare il prodotto dal punto di vista ambientale (efficienza)	4
16. Ho trovato eccessivo il tempo di analisi (efficienza)	1

In linea generali, sia i risultati UEQ che quelli SUS hanno mostrato un buon grado di accettabilità da parte degli utenti. Le principali criticità sono legate alla compilazione manuale che può risultare lunga per descrivere completamente le fasi di processo. Inoltre, sono stati segnalati dei possibili miglioramenti

Tabella 5. Suggerimenti utenti test

<b>Suggerimento</b>	<b>Azione</b>
---------------------	---------------

Possibilità di visualizzare dei suggerimenti di compilazione	Tale suggerimento è stato implementato nell'ultima versione dello strumento
Possibilità di visualizzare lo storico analisi	Al momento lo strumento dà la possibilità di salvare solamente l'ultima analisi
Necessità di introdurre materiali aggiuntivi rispetto a quelli presenti	Tale suggerimento è stato implementato nell'ultima versione dello strumento aggiungendo una lista di materiali più estesa rispetto a quella della prima versione (circa 45)
Mancata divisione tra consumi relativi alle fasi del processo produttivo e ai servizi	Tale suggerimento è stato implementato nell'ultima versione dello strumento suddividendo in sezioni separate l'inserimento dei rispettivi consumi

## 8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Come da capitolato, non sono state utilizzate consulenze per le attività sopra descritte.

## 9 Pubblicazioni scientifiche

Si riportano inoltre di seguito i riferimenti agli articoli predisposti nel periodo di rendicontazione considerato nel presente rapporto tecnico:

- M. Mundo, M. Rossi, M. Germani, G. Menchi, 2024. "A simplified method and tool to support energy efficiency and environmental evaluation: a case study in the Off-Site Construction sector". Articolo sottomesso per la conferenza CIRP CMS 2025, 13-16 April 2025, Enschede, The Netherlands; [qui](#) disponibile il link al sito della conferenza.

## 10 Eventi di disseminazione

Di seguito un elenco delle attività di disseminazione svolte, in termini di prestazioni effettuate, con dettaglio relativo al contesto e ai principali contenuti presentati:

- 19 giugno 2024: tavolo tecnico a Milano presso POLIMI con produttori di isolanti termici. È stato condiviso l'approccio dello strumento e definito un piano di interazione con gli stakeholder.
- 17 gennaio 2024: tavolo tecnico a Roma con i partner di progetto in cui sono stati discussi i risultati preliminari raggiunti. In particolare, sono stati presentati:
  - Definizione dell'approccio metodologico;
  - Applicazione della metodologia al caso studio del produttore di pannelli in EPS;
  - Prime ipotesi di struttura e funzionalità dello strumento software.
- 8 aprile 2024: tavolo tecnico a Milano con i partner di progetto e l'associazione di categoria Cortexa. In particolare, sono stati presentati:
  - Funzionalità strumento software;
  - Input e output dello strumento;
  - Mockup dello strumento.
- 9 ottobre 2024: riunione di fine progetto presso SAIE Bologna. Sono stati presentati i principali risultati ottenuti ed è stato mostrato un video di flusso di utilizzo dello strumento software.

## APPENDICE

### Manuale utente tool EVM