

Ricerca di Sistema elettrico



Creazione di un database per la caratterizzazione energetica dei processi industriali

Lorena Giordano, Miriam Benedetti

RdS_PTR 22-24_PR 1.6_LA2.1_055

LA 2.1 Creazione di un database per la caratterizzazione energetica dei processi industriali

Lorena Giordano, Miriam Benedetti

Giugno 2023

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: LA 2.1

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 1

Mese inizio effettivo: 1

Mese fine previsto: 18

Mese fine effettivo: 18

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	6
4	PRODOTTI SVILUPPATI	7
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI	8
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	9
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	10
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	18
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	19
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	20

1 Risultati attesi

I risultati attesi al termine della linea di attività LA 2.1 includono:

- l'analisi della letteratura per l'individuazione dei processi e sotto-processi industriali con potenziali margini di efficientamento conseguibili attraverso la valorizzazione del calore di scarto e l'ottimizzazione delle reti di scambiatori;
- il reperimento delle informazioni necessarie alla caratterizzazione dei suddetti processi in termini di flussi termici richiesti e resi disponibili, dei corrispondenti livelli di temperatura e dei fattori responsabili delle fluttuazioni temporali dei flussi medesimi;
- la definizione della struttura concettuale del database e il suo preliminare popolamento sulla base delle informazioni reperite dall'analisi della letteratura;
- la selezione preliminare dei parametri caratteristici dei processi e sotto-processi da impiegare come dati di input per la costruzione di profili tempo-dipendente delle richieste e disponibilità di energia termica.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti al termine della linea di attività LA 2.1 possono essere così riassunti:

- l'analisi della letteratura di oltre 100 studi per l'individuazione dei processi e sotto-processi industriali con potenziali margini di efficientamento conseguibili attraverso la valorizzazione del calore di scarto e l'ottimizzazione delle reti di scambiatori;
- il reperimento delle informazioni necessarie alla caratterizzazione dei suddetti processi in termini di flussi termici richiesti e resi disponibili, dei corrispondenti livelli di temperatura e dei fattori responsabili delle fluttuazioni temporali dei flussi medesimi;
- la definizione della struttura concettuale del database e il suo preliminare popolamento sulla base delle informazioni reperite dall'analisi della letteratura;
- la selezione preliminare dei parametri caratteristici dei processi e sotto-processi da impiegare come dati di input per la costruzione di profili tempo-dipendente delle richieste e disponibilità di energia termica.
- l'analisi della letteratura per l'individuazione dei settori industriali di interesse per l'applicazione della pinch analysis nel campo delle medie e basse temperature (<400°C) e dei relativi processi produttivi;
- il reperimento delle informazioni necessarie alla caratterizzazione dettagliata dei processi suddetti produttivi, ed in particolare:
 - identificazione delle fasi di processo con richieste di energia termica per il riscaldamento (correnti fredde) o il raffreddamento (correnti calde) e relativa caratterizzazione in termini di potenze termiche specifiche (ovvero riferite all'unità di materia prima in ingresso o all'unità di prodotto finito), livelli di temperatura e vettori energetici impiegati;
 - identificazione dei fattori responsabili delle possibili fluttuazioni temporali delle correnti calde e fredde, per specifiche tipologie di processi produttivi (riguardanti i settori alimentare e bevande, tessile e del trattamento e rivestimento superficiale dei metalli);
 - individuazione di 30 casi di studio riguardanti la valutazione delle prestazioni energetiche di specifici processi industriali o più in particolare il design o il retrofit di reti di scambiatori di calore per la minimizzazione dei costi associati all'utilizzo di fluidi esterni;
- definizione della struttura del database per la caratterizzazione dei processi industriali e identificazione dei campi di informazione dei differenti moduli del database;
- implementazione del database in ambiente Excel e preliminare popolamento, attraverso la caratterizzazione di oltre 100 processi produttivi, di cui oltre il 60% appartenenti al settore alimentare e delle bevande (45%) e al settore della carta (22%).
- la selezione preliminare dei parametri caratteristici dei processi e sotto-processi da impiegare come dati di input del modello che sarà oggetto di sviluppo della LA 2.2 e riguarderà la costruzione di profili tempo-dipendente delle richieste e disponibilità di energia termica.

Il database, il cui sviluppo sarà completato nel corso della LA 2.2, renderà agevole la caratterizzazione dei flussi termici associati ai processi industriali e delle loro possibili variazioni temporali (analisi energetica tempo-dipendente). Inoltre, le informazioni contenute nel database costituiranno il punto di partenza per lo sviluppo di un modello di generazione di curve di distribuzione delle potenze termiche richieste e rese disponibili in funzione del numero di ore operative cumulate. Dall'integrazione del database e del modello di generazione di profili tempo-dipendenti delle richieste/disponibilità di energia termica all'interno del modulo per l'applicazione della pinch-analysis (già sviluppato da DIIIE-UNIVAQ1 nel PTR19-21) ne risulterà uno strumento software potenziato. Quest'ultimo consentirà, in particolare, il dimensionamento e l'ottimizzazione delle reti di scambiatori non solo in condizioni fissate, ma anche tenendo conto di possibili

variazioni temporali delle caratteristiche delle correnti calde e fredde coinvolte nel processo produttivo, in relazione al numero di ore operative dello stesso.

L'utilizzo di tale software ai fini dell'ottimizzazione dei fabbisogni energetici dei processi produttivi si tradurrà nel medio-lungo termine in una maggiore competitività delle aziende, in un miglioramento dell'impronta ambientale dei prodotti e in una diminuzione della dipendenza da combustibili fossili.

3 Prodotti attesi

I prodotti attesi comprendono:

- rapporto tecnico riguardante l'analisi della letteratura in materia di processi industriali, la definizione della struttura del database per la caratterizzazione energetica dei processi e sotto-processi produttivi e il suo preliminare popolamento sulla base dei dati raccolti;
- versione preliminare del database in formato Excel. Tale versione preliminare, pur rappresentando un output della linea di attività LA1, è ancora da considerarsi non consolidata e sarà utile per lo sviluppo delle linee di attività successive.

4 Prodotti sviluppati

I prodotti sviluppati nel corso della linea di attività LA 2.1 comprendono:

- il rapporto tecnico riguardante l'analisi della letteratura in materia di processi industriali, la definizione della struttura del database per la caratterizzazione energetica dei processi industriali e il suo preliminare popolamento, e la selezione preliminare dei parametri caratteristici dei processi da impiegare come dati di input del modello oggetto di sviluppo della LA 2.2;
- versione preliminare del database di caratterizzazione energetica dei processi industriali implementato in ambiente Excel. Al termine del progetto, il database potrà essere liberamente consultato dagli utenti sia in modalità "stand-alone", che nella versione integrata all'interno del software adibito alla progettazione o retrofit di reti di scambiatori di calore complesse attraverso l'applicazione della pinch analysis.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Le attività condotte e i risultati conseguiti non presentano scostamenti rispetto alle attività previste e ai risultati attesi.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività svolta ha riguardato un'approfondita analisi della letteratura per l'individuazione di processi industriali con potenziali margini di efficientamento conseguibili attraverso l'ottimizzazione degli scambi termici interni e la minimizzazione del calore di scarto. In dettaglio l'attività è stata finalizzata:

- all'acquisizione delle informazioni necessarie all'identificazione e caratterizzazione energetica delle fasi di processo con richieste di energia termica e frigorifera e all'identificazione dei fattori responsabili delle loro fluttuazioni temporali;
- all'individuazione di casi di studio riguardanti la valutazione delle prestazioni energetiche di processi industriali e in particolare la progettazione o il retrofit di reti di scambiatori di calore tramite la pinch analysis;
- alla preliminare definizione della struttura del database e dei campi di informazione richiesti, all'implementazione in ambiente Excel e preliminare popolamento del database sulla base dei dati raccolti.

7 Dettaglio delle attività svolte

La presente linea di attività costituisce un potenziamento del progetto di ricerca condotto da ENEA nel corso del PTR19-21 di Ricerca di Sistema Elettrico. In tale ambito, erano stati individuati i settori industriali con le maggiori potenzialità per l'applicazione di tecnologie di recupero del calore nel campo delle basse temperature. Con riferimento a tali settori (alimentare, tessile, carta), erano stati definiti degli schemi di processo produttivi "tipo", per i quali erano state caratterizzate le fasi di processo con generazione di calore di scarto.

Nell'ambito della LA 2.1 si è ritenuto opportuno riesaminare la selezione dei settori industriali, in considerazione del fatto che una corretta valutazione delle opportunità di integrazione termica presuppone l'indagine dell'insieme dei flussi di energia termica (entranti e uscenti) associati alle diverse fasi dei processi produttivi. Pertanto, è stato condotto uno studio volto a identificare i settori industriali caratterizzati dalle maggiori richieste di calore nel campo delle medie e basse temperature (<400°C). Dall'analisi della letteratura è emerso come l'industria chimica, alimentare e delle bevande, tessile e della carta siano tra i maggiori utilizzatori di calore di processo in tale campo di temperature. Esperienze pregresse hanno anche evidenziato come tali settori industriali presentino i maggiori margini di miglioramento dell'efficienza energetica attraverso l'impiego della pinch technology.

Pertanto, nell'ambito del presente progetto si è deciso di focalizzare l'attenzione sui settori industriali riassunti in Tabella 1. Oltre ai settori caratterizzati dai più elevati margini per l'applicazione della pinch technology, si è ritenuto opportuno estendere l'indagine anche ai processi di trattamento e rivestimento superficiale dei metalli. Questi ultimi, pur essendo compresi nel settore della produzione dei metalli, comprendono svariate fasi di processo con richieste di calore nel campo di temperature di interesse.

Tabella 1. Scelta dei settori e sottosettori industriali prescelti nell'ambito del presente progetto (*)

Settori	Sottosettori
Alimentare e bevande	Produzione di birra
	Produzione di vini
	Caseario
	Lavorazione e conservazione della carne
	Lavorazione e conservazione del pesce
	Lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi
	Produzione di amidi e prodotti amidacei
	Prodotti da forno
	Produzione di zucchero
Carta	Fabbricazione di pasta-carta
	Fabbricazione di carta e cartone
Tessile	Preparazione e filature di fibre
	Produzione di tessuti
	Finissaggio dei tessuti
Chimico	Fabbricazione di composti chimici inorganici
	Fabbricazione di materie plastiche
Metalli	Trattamento e rivestimento superficiale dei metalli

(*) sulla base di sei studi riguardanti la valutazione dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffreddamento dei diversi settori industriali, in funzione del livello di temperatura richiesto

Focalizzando l'attenzione su tali settori, è stata condotta un'ulteriore analisi della letteratura, mirata al conseguimento dei seguenti obiettivi:

- indagine completa dell'insieme delle fasi di processo con richieste di energia termica per il riscaldamento (correnti fredde) o il raffreddamento (correnti calde) e caratterizzazione termodinamica dei flussi di energia termica coinvolti, in termini di potenze termiche richieste e livelli di temperatura;

- individuazione dei fattori responsabili delle possibili fluttuazioni temporali dei livelli potenza e delle temperature associate alle diverse richieste di energia termica;
- preliminare individuazione di un insieme di casi di studio relativi ai processi produttivi dei settori industriali oggetto di studio e finalizzati all'utilizzo della pinch analysis per la progettazione o il retrofit di reti di scambiatori di calore finalizzate alla minimizzazione delle utilities esterne per il riscaldamento e raffreddamento.

La metodologia adottata per l'analisi della letteratura prevede le seguenti fasi principali (Figura 1):

- la definizione di parole chiave (Figura 2) idonee ad innescare la ricerca di differenti tipologie di studi (report, articoli scientifici, ecc.);
- l'analisi e la selezione degli studi in base alla lettura dell'abstract o dell'intero documento;
- l'analisi della bibliografia per l'individuazione di ulteriori studi;
- la classificazione degli studi in base alle informazioni in essi contenute e suddivisione in due categorie principali: studi contenenti informazioni di carattere generale circa i processi produttivi dei differenti settori industriali e studi focalizzati all'indagine di specifici processi produttivi ed in particolare all'applicazione della pinch technology per l'ottimizzazione di reti di scambiatori di calore.

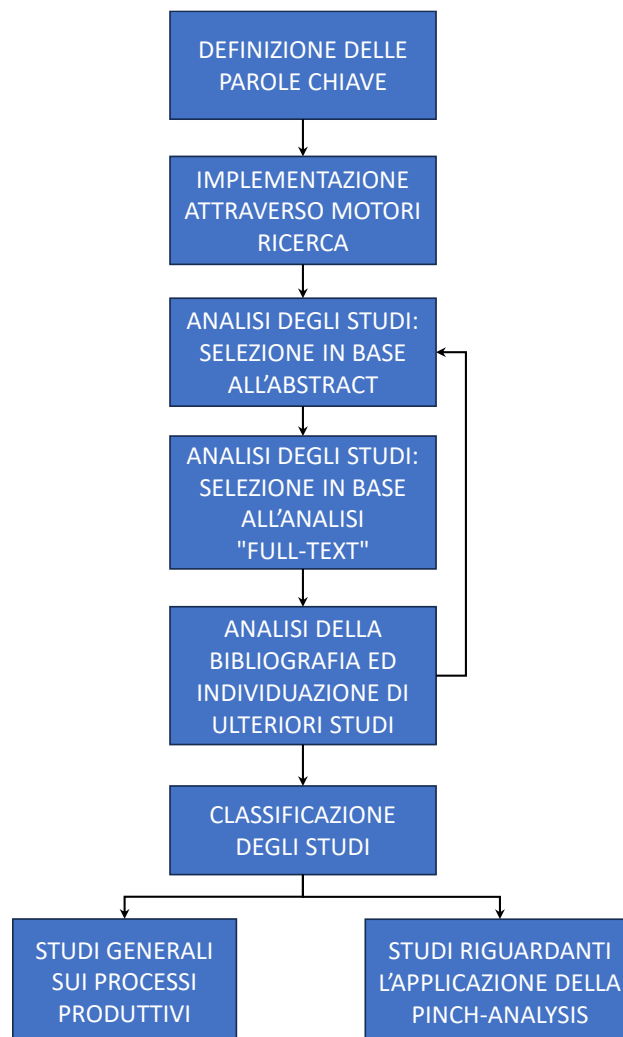


Figura 1. Rappresentazione schematica della metodologia adottata per l'analisi della letteratura

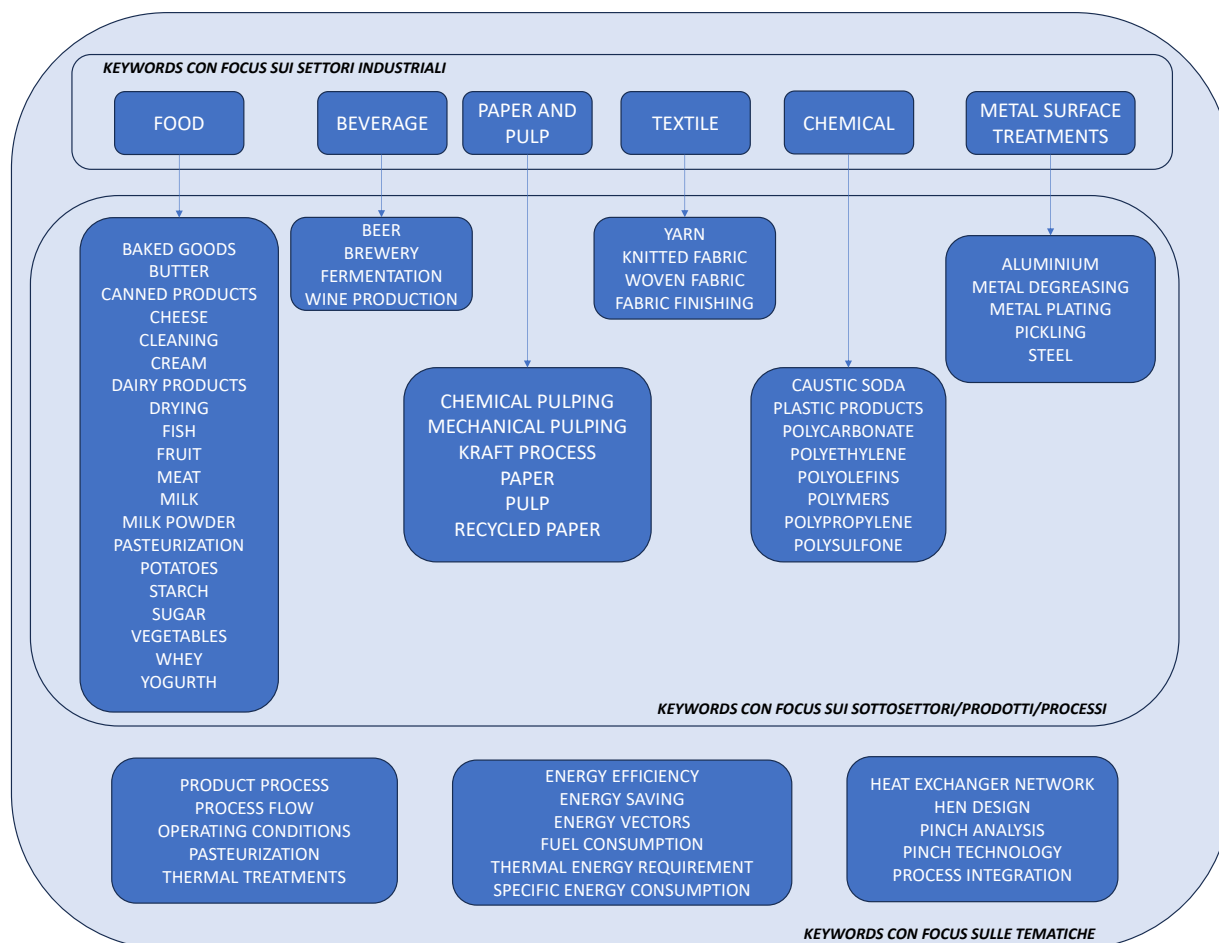


Figura 2. Principali keywords impiegate nella fase di ricerca degli studi di letteratura raggruppate in base al focus

Sono stati complessivamente individuati circa 150 studi, di cui oltre 100 sono stati ritenuti pertinenti. Questi ultimi comprendono principalmente articoli scientifici (50%), report e manuali (40%) e i documenti di riferimento sulle migliori tecniche disponibili (7%). Oltre il 50% degli studi individuati riguarda il settore alimentare e delle bevande; negli altri settori industriali, ad eccezione di quello inerente al trattamento e rivestimento superficiale dei metalli, gli studi sono pressoché ugualmente ripartiti e pari a poco più del 10% del totale (Figura 3).

Con riferimento a ciascun settore, gli studi contenenti informazioni di carattere generale circa i prodotti o i processi produttivi sono stati esaminati in dettaglio, al fine di reperire il maggior numero di informazioni relative sia all'intero processo produttivo, che al livello delle singole fasi di processo. A questo proposito, l'obiettivo è stato quello di identificare le fasi processo con richieste di energia termica (per riscaldamento o raffreddamento) nei campi di temperatura di interesse (<400°C) e di caratterizzare tali fasi in termini di:

- livelli di temperatura e potenze termiche richieste (riferite all'unità di materie prime impiegate o di prodotti finiti ottenuti);
- tipologie di vettori energetici impiegati per il soddisfacimento di tali richieste;
- livelli di temperatura dei prodotti intermedi o finali ottenuti al termine delle fasi;
- modalità operative delle fasi di processo (continuo o batch) ed eventuale durata;
- ulteriori fattori responsabili delle fluttuazioni temporali delle richieste di energia termica.

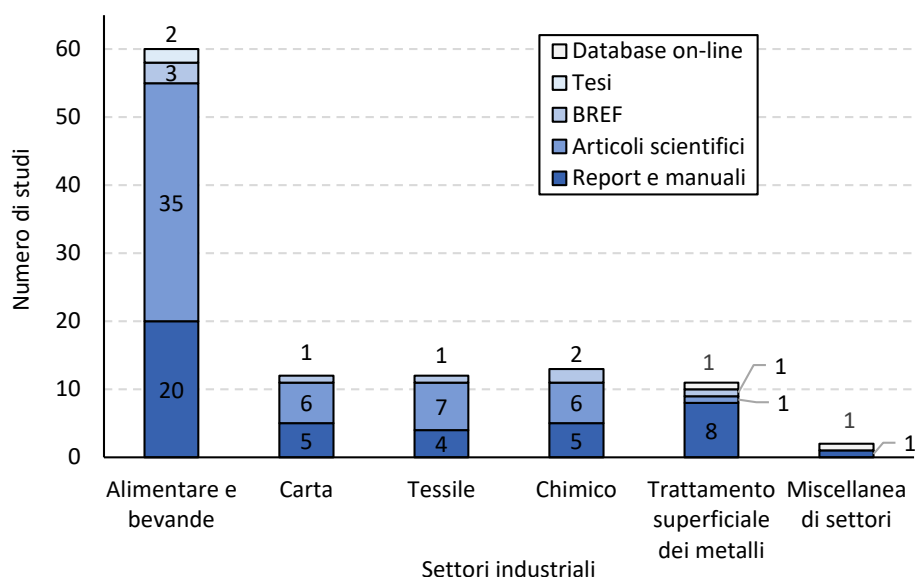


Figura 3. Ripartizione del numero di studi in base al settore industriale di riferimento e alla tipologia

La Figura 4 riassume, per ciascun settore industriale indagato, il numero di processi produttivi per i quali sono stati reperiti dati necessari alla loro caratterizzazione energetica, il numero di differenti fasi di processo con fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffreddamento ed infine il numero complessivo di righe all'interno del database (numero di record di dati).

Come evidenziato in Figura 4, è stato possibile caratterizzare (in misura diversa in relazione al numero di dati a disposizione) complessivamente circa cento processi produttivi, di cui oltre il 40% appartiene al settore alimentare e delle bevande (47), oltre il 20% al settore della carta (23) e circa 15% al settore tessile. In particolare, per il settore alimentare e delle bevande, sono state individuate circa 170 fasi di processo distinte, corrispondenti ad un numero complessivo di record superiore a 250. Circa la metà di questi riguardano i sottosectori caseario (57) e della lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi (60); seguono a maggiore distanza i settori della lavorazione e conservazione della carne (30) e dei prodotti da forno (23) (Figura 5).

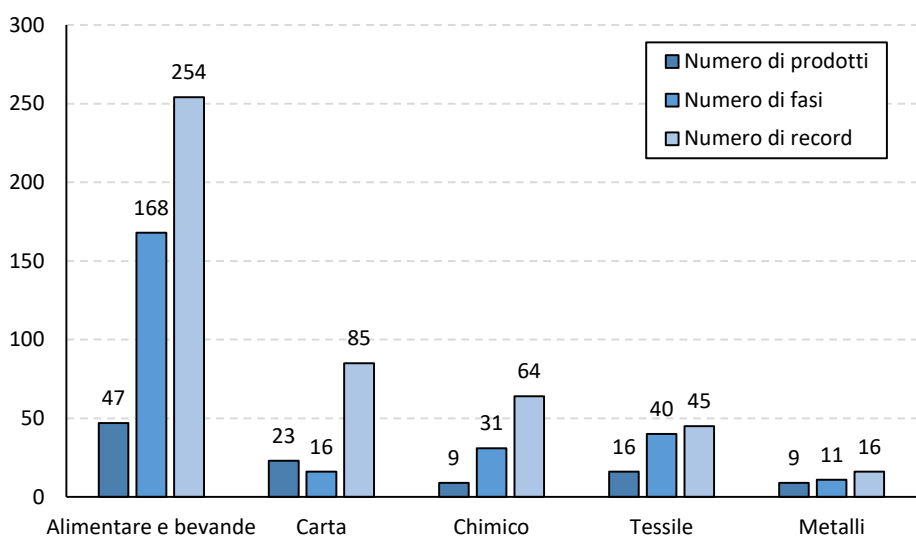


Figura 4. Numero di prodotti, numero di fasi e numero di record dei settori industriali indagati

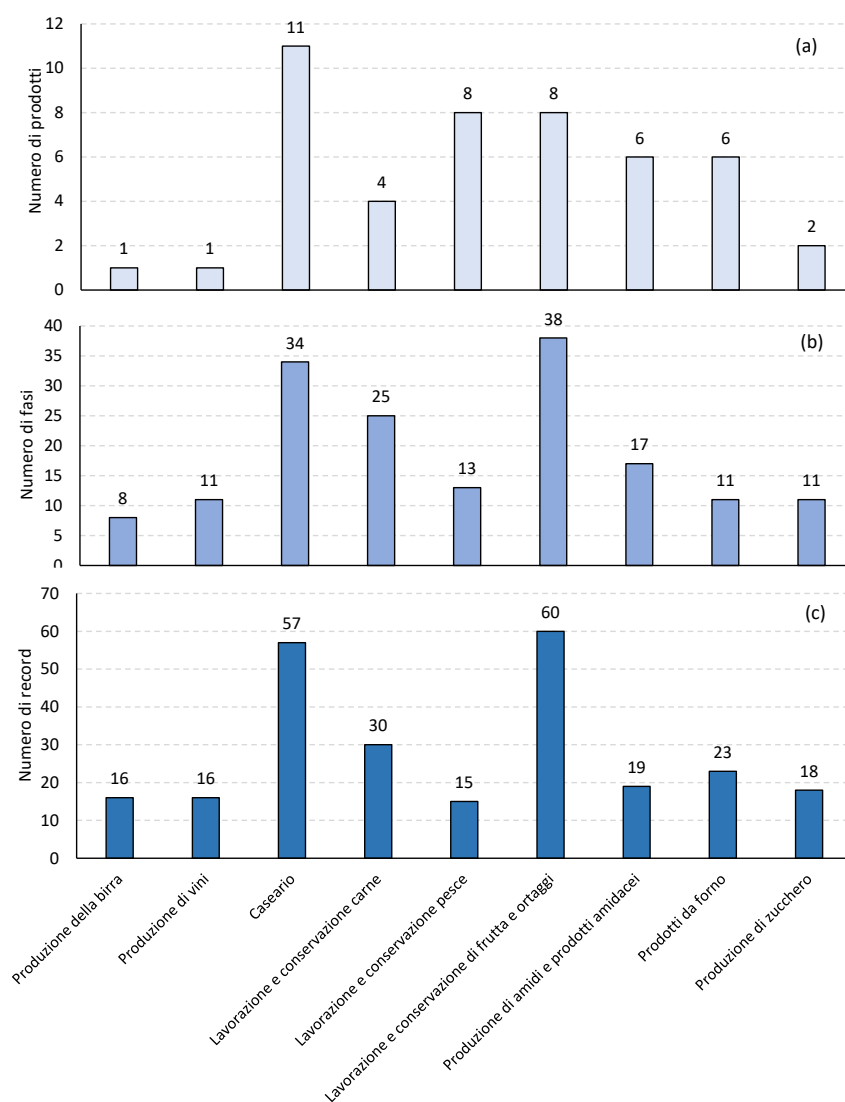


Figura 5. Numero di prodotti (a), numero di fasi (b) e numero di record (c) dei sottosectori dell'industria alimentare e delle bevande

L'analisi della letteratura ha inoltre evidenziato come le fluttuazioni temporali dei flussi di energia termica richiesti e resi disponibili siano legate a numerosi fattori, tra cui:

- la modalità del processo produttivo (batch, continuo o semi-continuo);
- le variazioni della produzione in relazione al giorno della settimana (feriale o festivo);
- le variazioni della produzione su base stagionale, associate alla disponibilità delle materie prime (ad esempio nel caso della produzione di vini, della lavorazione e conservazione di determinate tipologie di frutta e ortaggi o ancora nel caso della lavorazione della barbabietola per la produzione di zucchero) o a fluttuazioni della domanda;
- il numero di turni di lavoro all'interno dello stabilimento: tale aspetto è influenzato a sua volta da numerosi fattori, tra cui la tipologia di processo produttivo, la necessità di estendere il periodo di operatività per consentire un uso intensivo di risorse (impianti ed apparecchiature) o gestire periodi di picco della domanda, il grado di flessibilità richiesto al processo produttivo (ad es. variazioni rapide della richiesta o produzioni di piccole quantità o di prodotti ad alto valore aggiunto);
- le condizioni climatiche, che influenzano le richieste di energia associate alle fasi di processo che prevedono l'impiego di aria ambiente (ad esempio l'essiccamento), oltre a quelle legate al condizionamento degli ambienti (invernale ed estivo) per esigenze di processo.

I documenti di riferimento sulle migliori tecniche disponibili hanno fornito delle prime indicazioni circa le modalità operative di alcune specifiche tipologie di processi dei settori industriali di interesse. Nella maggior parte dei casi sono possibili diverse modalità operative (batch o continua), in relazione alle caratteristiche delle apparecchiature impiegate o ad esigenze legate al livello di produzione richiesto o al grado di flessibilità del processo produttivo desiderato. Informazioni puntuali sulle modalità operative delle singole fasi di processo sono state reperite per un limitato numero di prodotti afferenti ai settori alimentare e delle bevande (birra, vino e prodotti caseari), tessile e del trattamento e rivestimento dei metalli.

Nel corso della LA 2.1 è stata inoltre definita la struttura preliminare del database di caratterizzazione dei processi industriali. Pertanto, sono stati definiti i moduli principali e i campi di informazione necessari alla caratterizzazione dei settori industriali e dei relativi processi.

Tenuto conto della tipologia di informazioni desumibili da tali studi, si è ritenuto opportuno organizzare il database secondo una struttura gerarchica, che prevede la caratterizzazione dei settori industriali sulla base di quattro livelli di approfondimento, ovvero:

- primo livello: viene definita la suddivisione di ciascun settore industriale in sottosettori, per ciascuno dei quali sono fornite informazioni relative ai consumi specifici di combustibili ed energia elettrica e il loro impiego ai fini della produzione di energia termica e frigorifera a differenti livelli di temperatura;
- secondo livello: per ciascun sottosettore industriale vengono definiti i corrispondenti prodotti indagati, per quali sono forniti i dati relativi ai consumi specifici di combustibili ed elettricità e il loro impiego ai fini della produzione di energia termica e frigorifera a differenti livelli di temperatura;
- terzo livello: per ciascun prodotto di uno specifico sottosettore industriale, sono identificate e caratterizzate le fasi di processo con richieste di energia termica e frigorifera, secondo un grado di approfondimento variabile in relazione alla maggiore o minore disponibilità di dati di letteratura;
- quarto livello: con riferimento ad uno specifico prodotto o processo industriale, viene definito un insieme di casi di studio. Per ciascuno di essi, il database identifica e caratterizza i flussi di energia termica richiesti (correnti fredde) e resi disponibili (correnti calde), ovvero l'insieme delle informazioni necessarie all'applicazione della pinch analysis per il progetto o il retrofit di reti di scambiatori complesse.

Il database è stato implementato in ambiente Excel, organizzando le informazioni in più fogli di lavoro, corrispondenti ai differenti moduli del database. In particolare, sono stati definiti i seguenti moduli:

- "Struttura del database";
- "Sottosettori";
- "Prodotti";
- un insieme di moduli relativi ai singoli sottosettori e denominati "Nome sottosettore";
- un insieme di moduli relativi ai casi di studio di specifici processi produttivi inerenti ai diversi settori industriali oggetto di studio.

Il modulo "Struttura del database" fornisce una rappresentazione grafica della struttura gerarchica del database e consente all'utente di accedere direttamente agli altri moduli (attraverso appositi link ipertestuali), fungendo così da interfaccia utente. Nel modulo "Struttura del database" (Figura 6) sono presenti quattro aree principali (definite dai rettangoli arrotondati di colore grigio) corrispondenti ai quattro differenti livelli di approfondimento delle informazioni fornite. Partendo dall'alto, la prima area definisce i settori industriali oggetto di studio del presente progetto e permette di accedere alle informazioni di primo livello di ciascun settore, cliccando sull'icona corrispondente. La seconda area contiene il medesimo numero di icone della precedente, ma rispetto a quest'ultima consente di accedere alle informazioni di secondo livello di ciascun settore industriale e più in particolare alle tipologie di prodotti indagati. La terza area, oltre a fornire una visione d'insieme dei sottosettori afferenti ai cinque settori d'interesse, permette all'utilizzatore di approfondire l'indagine relativa ai prodotti di uno specifico sottosettore. Pertanto, cliccando sull'icona relativa al sottosettore prescelto, si potrà accedere alle informazioni di terzo livello, riguardanti le singole fasi di processo dei prodotti. La quarta area, corrispondente al quarto livello di approfondimento, consente di accedere ad un insieme di casi di studio riguardanti i dei cinque settori industriali.

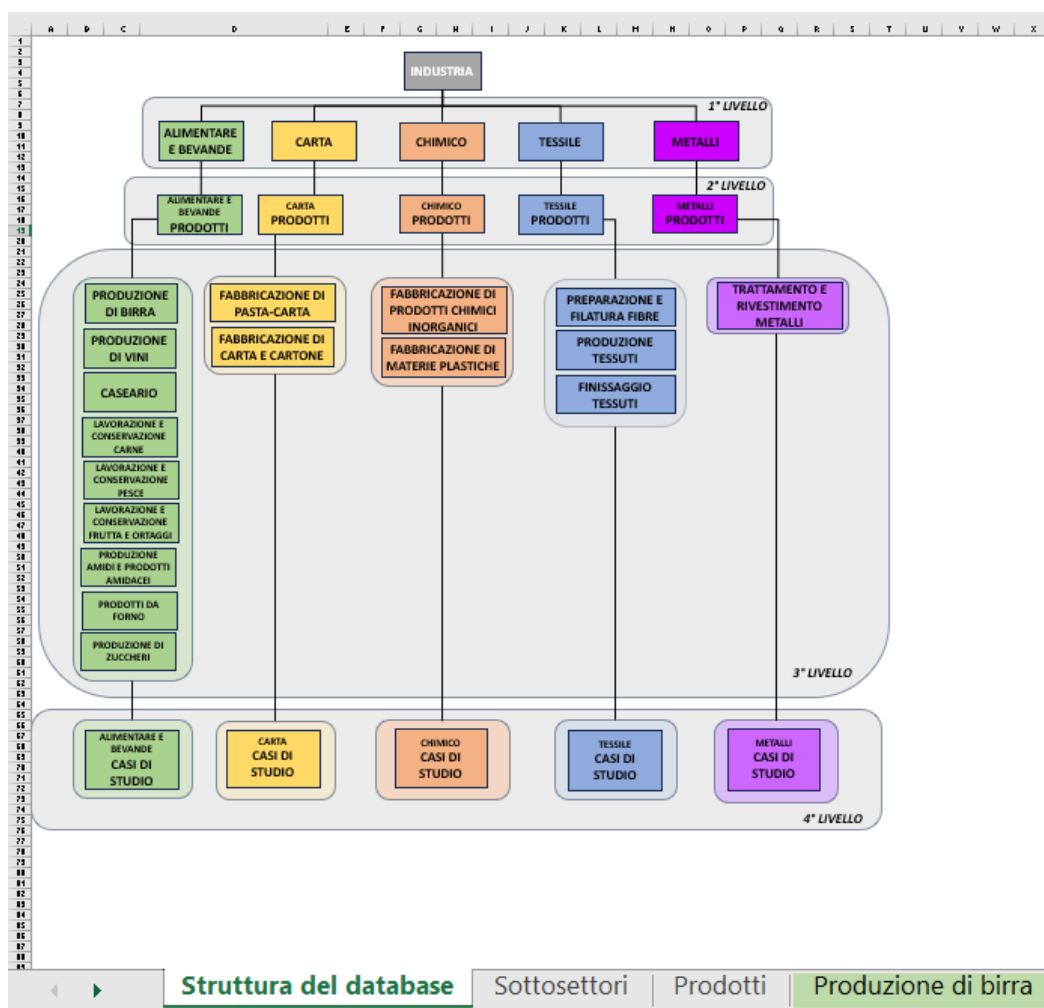


Figura 6. Foglio di lavoro “Struttura del database” del database di caratterizzazione energetica dei processi industriali

La struttura modulare del database permetterà all’utente di accedere alle informazioni in esso contenute in relazione al grado di approfondimento desiderato, ovvero a livello di settore e relativi sottosettori (primo livello), a livello dei prodotti di uno specifico sottosettore (secondo livello), a livello delle fasi di processo di uno specifico prodotto (terzo livello) o ancora di specifici casi di studio riguardanti la progettazione di reti di scambiatori di calore per l’efficientamento energetico dei processi medesimi (quarto livello). La Figura 7 fornisce una rappresentazione schematica di un possibile utilizzo del database da parte dell’utente.

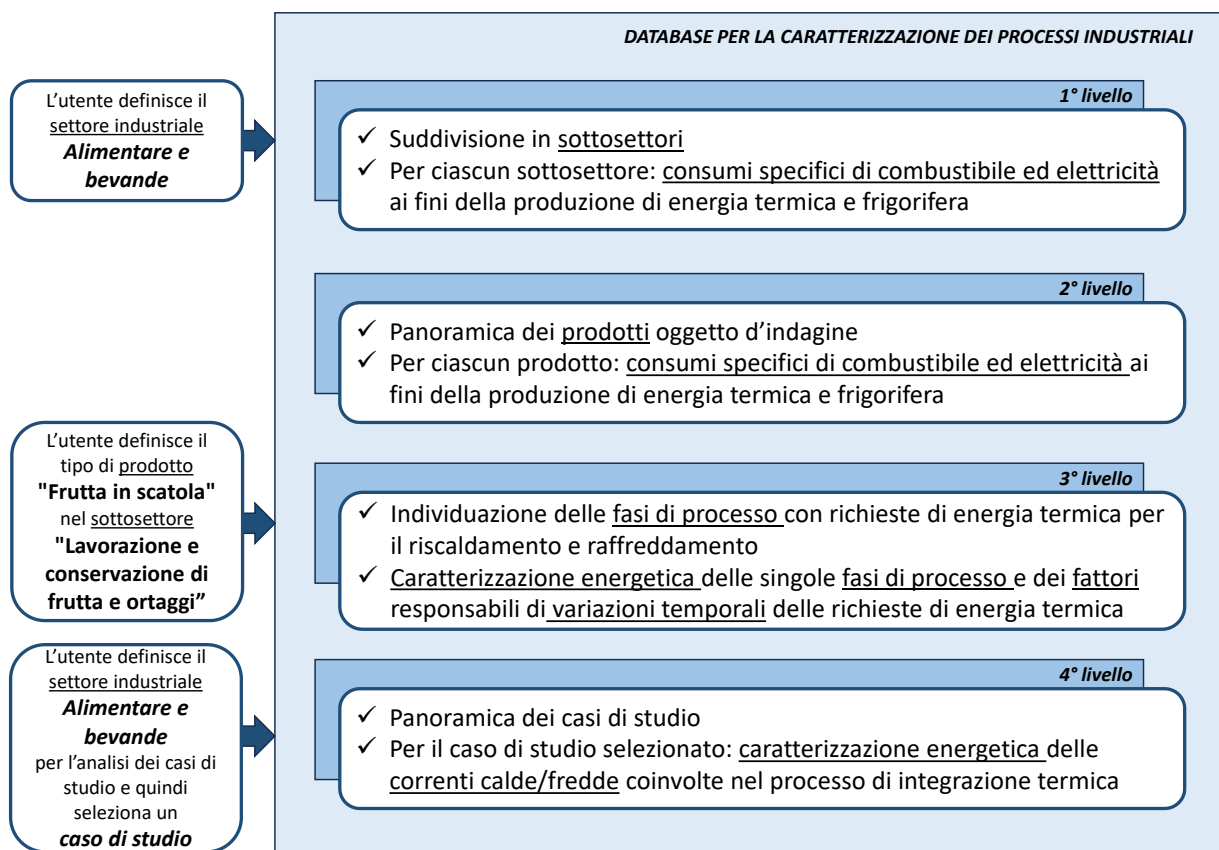


Figura 7. Rappresentazione schematica di un possibile utilizzo del database da parte dell'utente e descrizione delle informazioni ottenibili ai differenti livelli di approfondimento

La fase di implementazione è stata seguita dal preliminare popolamento del database. Tale attività ha riguardato principalmente i livelli di approfondimento che vanno dal primo al terzo. Nel corso della LA 2.1 sono stati identificati anche trenta casi di studio, che costituiranno una base per lo sviluppo della metodologia di generazione di profili tempo-dipendenti delle richieste e disponibilità di energia termica dei processi produttivi; tali casi di studio consentiranno inoltre la successiva validazione dello strumento software risultante dall'integrazione dei moduli aggiuntivi (sviluppati nell'ambito delle LA 2.1-2.3) all'interno del modulo della pinch analysis (derivante dall'attività di UNIVAQ_DIIIE1 del PTR19-21). L'inserimento dei dati relativi ai casi di studio nel database è stato avviato e sarà completato nella LA 2.2.

In tale linea di attività, si prevede di approfondire ulteriormente lo studio dei processi industriali dei settori di interesse, al fine di conseguire un arricchimento del database e perfezionare la definizione dei parametri responsabili delle fluttuazioni temporali dei flussi di energia termica.

L'analisi della letteratura e la preliminare implementazione del database hanno consentito di individuare un preliminare insieme di parametri caratteristici, da impiegare come dati di input del modello che sarà oggetto di sviluppo della LA 2.2 e riguarderà la definizione di distribuzioni delle potenze termiche richieste/rese disponibili in funzione dei corrispondenti livelli di temperatura e del numero di ore operative dell'impianto (Tabella 2).

Tabella 2. Preliminare insieme di parametri caratteristici per la costruzione di curve di durata delle potenze termiche richieste/rese disponibili

1. Unità funzionale del processo produttivo (ad es. quantità di materia prima in ingresso o quantità di prodotto finale ottenuto)
2. Numero di fasi di processo
3. Numero di correnti coinvolte per singola fase di processo
4. Tipo di corrente (calda o fredda)
5. Portata della corrente (kg/s)
6. Calore specifico della corrente (kJ/(kgK))
7. Temperatura iniziale della corrente (°C)
8. Temperatura finale della corrente (°C)
9. Potenza termica complessiva (kW) o specifica (riferita all'unità funzionale) della corrente (in assenza di dati su portata, calore specifico e temperature iniziale e finale della corrente)
10. Tipo di fase di processo (batch o continuo)
11. Intervallo di tempo (min/ore) della fase di processo relativa al singolo batch (solo per processi batch)
12. Numero di batch su base giornaliera (solo per processi batch e in relazione al numero di turni di lavoro dell'azienda)
13. Numero di giorni di operatività dell'impianto (giorni/anno)

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

L'attività svolta non ha richiesto il contributo di consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

- Lorena Giordano, Miriam Benedetti, Marcello Salvio. Estimating the Potential for Waste Heat Recovery in Italian Dairy Sector Using a Bottom-Up Approach and Data from Energy Audits. Sustainability 2023, 15(12), 9719; <https://doi.org/10.3390/su15129719>.
- Daniele Dadi, Vito Introna, Miriam Benedetti. Decarbonization of Heat through Low-Temperature Waste Heat Recovery: Proposal of a Tool for the Preliminary Evaluation of Technologies in the Industrial Sector. Sustainability 2022, 14, 12626; <https://doi.org/10.3390/su141912626>.
- Damiana Chinese, Pier Franceco Orrù, Andrea Meneghetti, Giovanni Cortella, Lorena Giordano, Miriam Benedetti. Symbiotic and optimized energy supply for decarbonizing cheese production: An Italian case study. Energy 2022, 257, 124785; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124785>.

10 Eventi di disseminazione

Il gruppo di lavoro ENEA è stato impegnato nelle seguenti attività di disseminazione scientifica:

- Pubblicazione del contributo in rivista: Lorena Giordano, Miriam Benedetti, Marcello Salvio. Estimating the Potential for Waste Heat Recovery in Italian Dairy Sector Using a Bottom-Up Approach and Data from Energy Audits. Sustainability 2023, 15(12), 9719; <https://doi.org/10.3390/su15129719>.
- Pubblicazione del contributo su rivista: Daniele Dadi, Vito Introna, Miriam Benedetti. Decarbonization of Heat through Low-Temperature Waste Heat Recovery: Proposal of a Tool for the Preliminary Evaluation of Technologies in the Industrial Sector. Sustainability 2022, 14, 12626; <https://doi.org/10.3390/su141912626>.
- Pubblicazione del contributo su rivista: Damiana Chinese, Pier Franco Orrù, Andrea Meneghetti, Giovanni Cortella, Lorena Giordano, Miriam Benedetti. Symbiotic and optimized energy supply for decarbonizing cheese production: An Italian case study. Energy 2022, 257, 124785; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124785>.
- Preparazione del contributo in atti di convegno: Simona Abbate, Marco Di Bartolomeo, Lorena Giordano, Miriam Benedetti, Roberto Carapellucci. Optimization of heat exchanger network via pinch technology: a case study of a dairy facility in Italy. Proceedings of the ASME 2023 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2023, October 29 – November 2, 2023, New Orleans, LA, USA.
- Preparazione del contributo in atti di convegno: Damiana Chinese, Andrea Meneghetti, Giovanni Cortella, Lorena Giordano, Miriam Benedetti, Elisa Tomasinsig. Industrial waste heat recovery collaborations through 4th generation district heating: a decision support tool. Proceedings of SEEP2023, 25-28 July 2023, Brunel University London-UK.
- Attivazione di uno special issue della rivista Sustainability di MDPI relativo all'efficienza energetica nel settore alimentare, in cui è espressamente previsto un focus sul recupero di calore (special issue in chiusura a marzo 2024: https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/P4S7887YT0).
- 28 settembre 2022: presentazione dei database sviluppati e delle principali funzionalità del software di supporto alle decisioni sul recupero di calore industriale a professionisti del settore nell'ambito del corso sul tema "Efficienza Energetica in Ambito Industriale" organizzato da SAFE.
- 24 ottobre 2022: presentazione dei risultati conseguiti nel corso delle attività del PTR19-21 e degli obiettivi e principali attività di progetto presso l'ambasciata di Danimarca in Italia.
- 21 marzo 2023: presentazione dei database sviluppati e delle principali funzionalità del software di supporto alle decisioni sul recupero di calore industriale a professionisti del settore nell'ambito del master SAFE in gestione delle risorse energetiche.
- 3 maggio 2023: presentazione dei risultati conseguiti nel corso delle attività del PTR19-21 e degli obiettivi e principali attività di progetto nell'ambito del seminario "Metodi e Approcci per l'Efficienza Energetica dei Processi Produttivi Industriali" tenuto per gli studenti del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche.
- 16 maggio 2023: presentazione dei risultati conseguiti nel corso delle attività del PTR19-21 e degli obiettivi e principali attività di progetto al Focus Group "Energy Transition strategic supply chains: industrial roadmap for Europe and Italy" organizzato via web da ENEL, ENEL Foundation e AMBROSETTI The European House.
- 28 giugno 2023: presentazione dei risultati conseguiti nel corso delle attività del PTR19-21 e degli obiettivi e principali attività di progetto all'evento "The Digital Energy Challenge - Dall'efficienza energetica alla decarbonizzazione, il ruolo del digitale per lo sviluppo di un moderno energy management".

Nel corso della LA 2.1 è stata condotta un'ulteriore attività di disseminazione volta alla raccolta di feedback da parte degli utenti che hanno avuto modo di impiegare i prodotti del PTR19-21. Tale attività ha confermato l'utilità degli strumenti realizzati ed evidenziato l'interesse da parte degli utenti ad approfondire il tema della pinch technology, permettendo così di pianificare le attività discusse nel presente report e quelle delle LA 2.2-2.3. Di seguito si riporta il dettaglio delle attività di acquisizione di feedback:

- 14 giugno 2022: videoconferenza con un accademico del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa, in cui sono stati presentati i database e le principali funzionalità del software; positivi i feedback raccolti.
- 17 novembre 2022: videoconferenza con TEON (<https://www.teon.it/>), in cui sono stati presentati i database e le principali funzionalità del software; i feedback raccolti sono stati positivi e l'azienda si è detta disponibile a fare da beta tester per questa versione e per le versioni future del software.
- 11 maggio 2023: videoconferenza con un accademico dell'Università degli Studi di Palermo, in cui sono stati presentati i database e le principali funzionalità del software; positivi i feedback raccolti.

Gli strumenti prodotti nel PTR19-21 sono stati resi disponibili online (febbraio 2023), chiedendo feedback agli utenti (tramite contatto messo a disposizione). Tutte le aziende coinvolte nel progetto e anche tutti i partecipanti al convegno "Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali" tenutosi in data 2 dicembre 2021 sono stati informati via mail.