



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

Definizione della base dati per la
mappatura dei flussi di calore e della base
metodologica per la valutazione delle
soluzioni di recupero

Benedetti M., Bertini, I., Giordano L., Gugliandolo A.

DEFINIZIONE DELLA BASE DATI PER LA MAPPATURA DEI FLUSSI DI CALORE E DELLA BASE METODOLOGICA PER LA VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI DI RECUPERO

Benedetti M., Bertini I., Giordano L., Gugliandolo A.
(ENEA)

Con il contributo di: P. Regina, F. Cignini, O. Calò
(ENEA)

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: N. 1 - Tecnologie

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

Work package: 3 - Sviluppo di tecniche e soluzioni impiantistiche per l'efficientamento di processi industriali ad alta e bassa temperatura

Linea di attività: LA 3.19 – Definizione della base dati per la mappatura dei flussi di calore e della base metodologica per la valutazione delle soluzioni di recupero

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti

Responsabile del Work package (LA3.1-3.7, LA3.18-3.28): Miriam Benedetti

Indice

SOMMARIO.....	5
INTRODUZIONE.....	7
1 CARATTERIZZAZIONE DEI SETTORI OGGETTO DI ANALISI E CONTESTUALIZZAZIONE DEGLI STRUMENTI SVILUPPATI NELL'ANNUALITÀ PRECEDENTE ATTRAVERSO L'ANALISI DEI DATI DELLE GRANDI AZIENDE E AZIENDE ENERGIVORE ITALIANE.....	8
1.1 METODOLOGIA.....	14
1.2 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AL SETTORE TESSILE.....	19
1.2.1 Analisi di rappresentatività del campione.....	20
1.2.2 Analisi dei consumi di gas.....	26
1.2.3 Analisi sugli interventi effettuati.....	32
1.2.4 Analisi sugli interventi individuati.....	44
1.2.5 Integrazione del database con i dati del settore.....	58
1.2.6 Integrazione delle mappe con i dati del settore.....	67
1.3 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AL SETTORE CASEARIO.....	69
1.3.1 Analisi di rappresentatività del campione.....	70
1.3.2 Analisi dei consumi di gas naturale.....	75
1.3.3 Analisi sugli interventi effettuati.....	81
1.3.4 Analisi sugli interventi individuati.....	85
1.3.5 Integrazione del database con i dati del settore.....	93
1.3.6 Integrazione delle mappe con i dati del settore.....	99
1.4 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA ALLA PRODUZIONE DEI PRODOTTI DA FORNO.....	111
1.4.1 Analisi di rappresentatività del campione.....	112
1.4.2 Analisi dei consumi di gas.....	118
1.4.3 Analisi sugli interventi effettuati.....	126
1.4.4 Analisi sugli interventi individuati.....	134
1.4.5 Integrazione del database con i dati del settore.....	143
1.4.6 Integrazione delle mappe con i dati del settore.....	149
2 SVILUPPO DELLA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE E CONFRONTO DELLE SOLUZIONI DI RECUPERO DI CALORE.....	152
2.1 ANALISI CRITICA DELLA LETTERATURA.....	153
2.2 METODOLOGIA.....	160
2.3 MODELLI DI CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICI, ECONOMICI ED AMBIENTALI.....	161
2.3.1 Risparmi di energia primaria ed emissioni di CO ₂ evitate.....	161
2.3.2 Indici di prestazione economica rielaborati dalla letteratura: indici di redditività economica.....	162
2.3.3 Indici di prestazione economica sviluppati nell'attività di progetto: costi unitari degli interventi di recupero.....	166
2.3.4 Metodo Monte Carlo per l'analisi dell'incertezza.....	170
2.4 IMPLEMENTAZIONE DELLA METODOLOGIA IN AMBIENTE EXCEL/VBA.....	171
2.5 PRELIMINARE VALIDAZIONE DELLA METODOLOGIA SVILUPPATA.....	176
2.6 PRIMO DISEGNO DI MASSIMA DEL SOFTWARE DI SUPPORTO ALLE DECISIONI CON L'INTEGRAZIONE DEI DIVERSI MODULI DEL SOFTWARE.....	180
3 ORGANIZZAZIONE DEI TAVOLI DI LAVORO CON LE AZIENDE.....	182
3.1 INCONTRI CON LE AZIENDE FORNITRICI DI TECNOLOGIE DI RECUPERO DI CALORE.....	186
3.1.1 Testo del questionario preparato per guidare le interviste alle aziende produttrici di tecnologie di recupero del calore.....	188
3.1.2 Utilizzo delle informazioni ottenute durante le interviste per la validazione/integrazione del database di casi di studio.....	192
3.2 INCONTRI CON LE AZIENDE DI PRODUZIONE E INDIVIDUAZIONE POSSIBILI CASI DI STUDIO.....	195
3.2.1 Grande azienda del settore caseario (1).....	196
3.2.2 Grande azienda del settore telecomunicazioni.....	198
3.2.3 Grande azienda del settore caseario (2).....	198

4	ATTIVITÀ DI DISSEMINAZIONE DEI RISULTATI PARZIALI DI PROGETTO.....	199
5	CONCLUSIONI	200
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	201
7	NOMENCLATURA	204

Sommario

Le attività descritte nel presente report riguardano la seconda delle tre linee di attività gestite da ENEA relativamente allo sviluppo di strumenti di supporto alle decisioni aziendali per favorire la più ampia adozione di pratiche e tecnologie per il recupero di calore a bassa temperatura. Il progetto mira in primo luogo a concepire, sviluppare e dimostrare un sistema informativo, comprensivo di strumenti software, che permetta alle aziende di incrementare le possibilità di realizzare interventi di recupero del calore disperso (recupero interno ed esterno all'azienda stessa), abbattendo barriere prevalentemente di tipo conoscitivo e informativo. Il sistema informativo consentirà alle aziende di avere una panoramica completa e personalizzata sulla disponibilità di calore di scarto e sul potenziale di recupero, assistendole anche nella creazione di "business cases".

Per quanto riguarda la presente linea di attività, l'obiettivo principale è quello di ottenere una panoramica sull'uso del calore e sugli interventi di recupero di calore già effettuati o comunque individuati dalle aziende italiane, e in particolare dalle aziende facenti parte dei tre settori individuati come maggiormente interessanti ai fini delle presenti attività: caseario, tessile e prodotti da forno. Questo consentirà da un lato di arricchire il software, prodotto finale del progetto, con informazioni di maggiore dettaglio per questi tre settori e dall'altro di perfezionare gli strumenti già realizzati nella prima annualità di progetto sulla base di dati di letteratura (database di casi di recupero di calore e mappe di processo). Inoltre, l'attività mira anche a sviluppare in via preliminare la metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero di calore che, come previsto dal capitolato, verrà perfezionata nel corso dell'ultima annualità.

L'attività condotta nel corso della prima annualità ha quindi più in concreto riguardato:

- definizione e applicazione ai tre settori selezionati di una metodologia di analisi dei dati delle diagnosi di grandi aziende e aziende energivore pervenute a ENEA ai sensi del D.Lgs. 102/2014;
- utilizzo dei dati delle diagnosi per l'arricchimento del database di casi di recupero di calore;
- utilizzo dei dati delle diagnosi per il perfezionamento delle mappe di processo;
- sviluppo della metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero di calore;
- organizzazione di incontri con le aziende fornitrici di tecnologie di recupero di calore operanti nel mercato italiano;
- organizzazione di incontri con le aziende di produzione potenzialmente interessate ai risultati di progetto operanti nel mercato italiano (e a fornire dati come casi studio per la validazione degli strumenti realizzati);
- attività di diffusione dei risultati parziali di progetto.

L'analisi dei dati delle diagnosi energetiche ha consentito di arricchire notevolmente il database creato da ENEA, grazie all'integrazione di 120 casi di recupero di calore descritti con un notevole dettaglio di informazioni, e di acquisire preziose informazioni relativamente alla capacità delle aziende appartenenti ai tre settori considerati di identificare ed implementare interventi di recupero di calore a bassa e bassissima temperatura. Inoltre, la mappatura dei processi si è arricchita di un dettaglio maggiore per quanto riguarda l'identificazione delle fasi di processo e le caratteristiche di sorgenti, pozzi e flussi. Tale fase di lavoro ha richiesto un notevole effort data la caoticità del set di dati iniziale.

Lo sviluppo della metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero di calore ha portato alla definizione di una serie di indicatori di valutazione degli investimenti, di carattere energetico, economico ed ambientale, tali da fornire alle aziende un set di informazioni completo e chiaro a supporto dei loro processi decisionali. La metodologia è stata inoltre implementata in un foglio di calcolo che, opportunamente sviluppato e integrato con gli altri moduli preparati dai cobeneficiari, consentirà di fornire alle aziende uno strumento semplice ed efficace per poter valutare e confrontare questa tipologia di investimenti.

Infine, il confronto con le aziende, che ha comportato qualche difficoltà organizzativa legata alla pandemia in corso, ha consentito tuttavia di confermare preliminarmente l'efficacia e l'usabilità degli strumenti già sviluppati da ENEA (database e mappe) e di raccogliere informazioni e dati che potranno essere utilizzati per la validazione finale dei prodotti del progetto.

Introduzione

L'attività triennale ha come obiettivo la creazione di uno strumento di supporto alle decisioni per facilitare le aziende nella valutazione delle soluzioni di recupero di calore a bassa temperatura, e quindi incrementare il tasso di penetrazione delle tecnologie disponibili e ridurre la quantità di calore di scarto inutilizzato. Verrà quindi creato un software che le aziende potranno utilizzare per individuare, valutare e selezionare le opportunità di recupero presenti nei loro stabilimenti, con un'interfaccia semplice e al tempo stesso customizzata per specifici settori. Il software sarà corredato da un database di progetti di recupero esistenti utile per la creazione di business case.

L'attività condotta da ENEA è stata suddivisa nelle seguenti 3 linee di attività:

- *LA3.18: Creazione di una base di conoscenze relativa alla generazione, distribuzione e utilizzo del calore a bassa temperatura negli stabilimenti industriali*
- *LA3.19: Definizione della base dati per la mappatura dei flussi di calore e della base metodologica per la valutazione delle soluzioni di recupero*
- *LA3.20: Messa a punto della metodologia per la valutazione e il confronto delle soluzioni di recupero e validazione in casi di studio*

Nel corso della prima annualità è stata condotta un'attività di ricerca bibliografica che ha riguardato sia articoli scientifici, rapporti relativi a progetti di ricerca e sviluppo, che studi condotti da agenzie e gruppi di lavoro nazionali e internazionali. Le informazioni ottenute sono state organizzate in un database e utilizzate come base di partenza per l'individuazione di settori promettenti sui quali focalizzare le analisi successive. Una volta identificati tali settori, sono state raccolte ulteriori informazioni relative ai loro processi e alla produzione e utilizzo di calore all'interno di essi. Tali informazioni sono state invece organizzate in una pre-mappatura, strumento principalmente pensato per facilitare il dialogo con le parti interessate industriali [1].

Nel corso della seconda annualità, le cui attività sono descritte nel presente report, il lavoro si è principalmente focalizzato sulla contestualizzazione al settore industriale italiano dei due strumenti elaborati nell'annualità precedente: il database di casi di recupero di calore industriale a bassa temperatura e la pre-mappatura dei processi produttivi e dei relativi flussi di calore. Per ottenere questo obiettivo, si è proceduto ad una intensa attività di analisi dei dati, nel corso della quale sono stati esaminati i dati forniti da grandi aziende e aziende energivore all'ENEA a dicembre 2019, in adempimento del D.Lgs. 102/2014. Tale lavoro di contestualizzazione, oltre a consentire un'analisi e caratterizzazione dei fabbisogni e degli usi termici delle aziende basate su dati reali, ha consentito di rendere maggiormente applicabile al tessuto produttivo italiano gli strumenti precedentemente elaborati sulla base di dati di letteratura internazionale. Il focus è stato posto principalmente su tre settori: caseario, produzione di prodotti da forno e tessile. Le motivazioni di tale scelta sono legate alle considerazioni scaturite dallo studio svolto nella precedente annualità e brevemente richiamate nei primi capitoli del presente documento.

Sempre nel corso della seconda annualità, si è anche proceduto a sviluppare in maniera ancora prototipale il software di supporto alle decisioni, sia attraverso la creazione di una metodologia e relativo tool di valutazione e prioritizzazione delle alternative di recupero termico (da completare, come previsto dal Piano Triennale 2019-2021, nell'ultima annualità di progetto), che attraverso una prima ideazione della struttura del software integrato (ovvero comprendente sia i moduli sviluppati dai cobeneficiari che i moduli sviluppati da ENEA).

Infine, si è dato inizio alla fase di contatto con le aziende, ponendo le basi per le attività maggiormente legate al confronto con il settore industriale, sia per quanto riguarda la validazione dei tool sviluppati che per quanto riguarda l'analisi delle tecnologie presenti sul mercato nazionale.

1 Caratterizzazione dei settori oggetto di analisi e contestualizzazione degli strumenti sviluppati nell'annualità precedente attraverso l'analisi dei dati delle grandi aziende e aziende energivore italiane

I dati forniti ad ENEA a dicembre 2019 dalle grandi aziende e aziende energivore in adempimento del D.Lgs. 102/2014 sono stati analizzati con la duplice finalità di caratterizzare i fabbisogni e gli usi termici dei settori oggetto di studio e di contestualizzare rispetto al settore produttivo italiano i due strumenti elaborati nell'annualità precedente: il database di casi di recupero di calore industriale a bassa temperatura e la pre-mappatura dei processi produttivi e dei relativi flussi di calore. Tale caratterizzazione e la seguente contestualizzazione sono di fondamentale importanza per rendere efficaci per l'applicazione alle aziende italiane gli strumenti e il software che verrà prodotto come principale risultato del progetto, consentendo una maggiore personalizzazione e anche una maggiore usabilità; i risultati ottenuti verranno infatti utilizzati per realizzare elaborazioni che consentiranno una ridotta necessità di input da parte dell'utente finale del software, comunque mantenendo efficacia e precisione negli output.

Come si è detto, la base dati di questa attività è il database dei dati relativi alle diagnosi energetiche di grandi aziende e aziende energivore forniti all'ENEA in adempimento del D.Lgs. 102/2014. Tali dati sono disponibili per i diversi settori industriali (identificati dai codici ATECO a due, quattro e sei cifre) in diverse forme e su diversi supporti a diversi livelli di dettaglio:

- 1) Fogli excel di sintesi dei dati di consumo delle diagnosi energetiche, all'interno dei quali sono raccolti i dati dell'intero settore considerato. In questi fogli, ogni riga rappresenta un sito produttivo per il quale è stata realizzata la diagnosi energetica, mentre nelle colonne sono raccolti i dati relativi a:
 - a. Dati generali: partita IVA, codice fiscale, ragione sociale, PEC impresa, tipo di impresa (singola, capogruppo, affiliata), partita IVA capogruppo, codice fiscale capogruppo, incaricato REDE, anno di riferimento diagnosi energetica, data registrazione diagnosi energetica, denominazione sito, codice sito, regione sito, provincia sito, comune sito, macro-attività economica sito (codice ATECO a due cifre), attività economica sito (codice ATECO a sei cifre), sottoposto a monitoraggio (si/no), totale produzione annuale, unità di misura della produzione;
 - b. Energia elettrica: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - c. Gas naturale: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - d. Calore: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - e. Freddo: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - f. Biomassa: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - g. Olio combustibile: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;

- h. Gpl: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - i. Gasolio: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - j. Coke di petrolio: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali;
 - k. Altro: energia acquistata, energia consumata, energia consumata dalle attività principali, energia consumata dai servizi ausiliari, energia consumata dai servizi generali.
- 2) Fogli excel di sintesi dei dati relativi agli interventi effettuati nel passato quadriennio nei siti oggetto di diagnosi. In questi fogli, ogni riga rappresenta un sito produttivo per il quale è stata realizzata la diagnosi energetica, mentre nelle colonne sono raccolti i dati relativi a: anno di completamento dell'intervento, nome intervento, tipo intervento (tecnico/gestionale), investimento, risparmio annuo (kWhe), risparmio annuo (kWht), risparmio annuo (carburante), risparmio annuo (tep), area interventi (illuminazione, aria compressa, centrale termica, linee produttive, etc.).
 - 3) Fogli excel di sintesi dei dati relativi agli interventi individuati come fattibili nei siti oggetto di diagnosi. In questi fogli, ogni riga rappresenta un sito produttivo per il quale è stata realizzata la diagnosi energetica, mentre nelle colonne sono raccolti i dati relativi a: nome intervento, tipo intervento, investimento, tempo ritorno investimento, valore attuale netto, tasso attualizzazione, risparmio annuo (kWhe), risparmio annuo (kWht), risparmio annuo (carburante), risparmio annuo (tep).
 - 4) Fogli excel con i dati di riepilogo della produzione, dell'acquisto di energia e dei principali consumi dei singoli siti produttivi sottoposti a diagnosi. La struttura di tali fogli excel è riportata in Figura 1 - Figura 4.



STRUTTURA ENERGIA SITO											
SEZIONE		DESCRIZIONE			VALORI		EFFICIENZA			RISPARMIO ENERGETICO	
SEZIONE	DESCRIZIONE	VALORI	EFFICIENZA	INVESTIMENTO	RISPARMIO	RISULTATI	SEZIONE	DESCRIZIONE	VALORI	RISPARMIO ENERGETICO	SEZIONE
1.1	PRODUZIONE ENERGIA	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		3	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		4	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		5	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.2	RISPARMIO ENERGETICO	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		3	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		4	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		5	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Indicare codice ATECO inserita!

RISPARMIO ENERGETICO

Percentuale di risparmio per settore del codice ATECO e per categoria di consumo ENER

Settore Economico	Settore Economico	Settore Economico	Settore Economico
...

Figura 1: Foglio excel di riepilogo diagnosi energetica - dati generali e produzione di energia

ENERGIA ELETTRICA			CONSUMO	TEP ING.	lpg		Consumi monitorati/ calcolati	Altro	% copertura consumi	E' necessario dettagliare maggiormente la suddivisione dei consumi	
LB	i=1	ENERGIA ELETTRICA		tep	tipo misura	kWh /	0	0	0,0%		
			CONSUMO	TEP ING.	lpg		D.s.		lps		
LC	1.1	ATTIVITA' PRINCIPALI	0,0				valore	u.m.	tipo misura	valore	u.m.
LD	1.1.1								...		
	1.1.2								...		
	1.1.3								...		
	1.1.4								...		
	1.1.5								...		
	1.1.6								...		
	1.1.7								...		
	1.1.8								...		
	1.1.9								...		
	1.1.10								...		
	1.1.11								...		
	1.1.12								...		
1.1.13								...			
1.1.14								...			
1.1.15								...			
1.1.16								...			
1.1.17								...			
1.1.18								...			
1.1.19								...			
1.1.20								...			
LC	1.2	SERVIZI AUSILIARI	0,0		Installazioni fisse di		valore	u.m.	tipo misura	valore	u.m.
LD	1.2.1										
	1.2.2										
	1.2.3										
	1.2.4										
	1.2.5										
	1.2.6										
	1.2.7										
	1.2.8										
	1.2.9										
LC	1.3	SERVIZI GENERALI	0,0		Installazioni fisse di		valore	u.m.	tipo misura	valore	u.m.
LD	1.3.1										
	1.3.2										
	1.3.3										
	1.3.4										
	1.3.5										
	1.3.6										
	1.3.7										
	1.3.8										
	1.3.9										

Figura 2: Foglio excel di riepilogo diagnosi energetica - consumo energia elettrica

GAS NATURALE			CONSUMO	TEP ING.	lpg		Consumi monitorati/ calcolati	Altro	% copertura consumi	E' necessario dettagliare maggiormente la suddivisione dei consumi	
LB	i=2	GAS NATURALE	Sm3	tep	tipo misura	Sm3 /	0	0	0,0%		
			CONSUMO	TEP ING.	lpg		D.s.		lps		
LC	2.1	ATTIVITA' PRINCIPALI	0,0				valore	u.m.	tipo misura	valore	u.m.
LD	2.1.1										
	2.1.2										
	2.1.3										
	2.1.4										
	2.1.5										
	2.1.6										
	2.1.7										
	2.1.8										
	2.1.9										
	2.1.10										
	2.1.11										
	2.1.12										
2.1.13											
2.1.14											
2.1.15											
LC	2.2	SERVIZI AUSILIARI	0,0		Calcoli		valore	u.m.	tipo misura	valore	u.m.
LD	2.2.1	Vaporizzi									
	2.2.2										
	2.2.3										
	2.2.4										
	2.2.5										
	2.2.6										
LC	2.3	SERVIZI GENERALI	0,0		Calcoli		valore	u.m.	tipo misura	valore	u.m.
LD	2.3.1	Climatizzazione uffici									
	2.3.2										
	2.3.3										
	2.3.4										
	2.3.5										
	2.3.6										

Figura 3: Foglio excel di riepilogo diagnosi energetica - consumo gas naturale

- Presenza dei singoli settori e dei relativi flussi di calore a bassa temperatura nella Tabella 4 del report relativo alla LA3.18 (che tiene conto di due importanti documenti [5,6] nei quali si evidenziano i processi industriali maggiormente interessati dalla presenza di flussi di calore di scarto adatti al recupero);
- Numero di diagnosi energetiche pervenute a ENEA ai sensi del D.Lgs. 102/2014 nel 2019.

Tali criteri consentono quindi di tenere conto simultaneamente delle peculiarità dei processi industriali dei vari settori, del loro potenziale, dell'interesse di tali settori verso potenziali azioni di recupero di calore e infine della disponibilità dei dati in possesso di ENEA e relativi al panorama industriale italiano sui quali si basa lo studio illustrato nel presente documento. Come descritto nel report della LA3.18, a tali criteri è stato assegnato un peso e per ciascun settore industriale è stato valutato un punteggio in base ai dati riportati nei documenti e nei database cui i criteri fanno riferimento, andando quindi a realizzare una analisi multicriterio semplificata. Per una descrizione dettagliata si rimanda al report della LA3.18, mentre nel seguito si riporta la tabella contenente pesi, criteri e punteggi finali utilizzati per la selezione dei settori.

Tabella 1: Riepilogo dei punteggi per ogni criterio e del punteggio complessivo di ciascun settore

Peso	1	1	1	4	2	3	
Settore	Potenziale di calore di scarto (GWh) come indicato nello studio del GSE del 2016 [4]	Progetti di recupero di calore presenti nel database EU-MERCI	Opportunità di recupero di calore presenti nel database IAC	Casi di recupero di calore a bassa temperatura per singolo settore inseriti nel database ENEA	Presenza dei singoli settori e dei relativi flussi di calore a bassa temperatura nella Tabella 4 del report della LA3.18 [5,6]	Numero di diagnosi energetiche pervenute a ENEA ai sensi del D.Lgs. 102/2014 nel 2019	Punteggi o complessivo di settore
Iron and Steel	3	2	3	2	2	1	23
Non-Ferrous Metals	1	0	0	0	3	1	10
Chemical and Petrochemical	2	2	2	2	3	2	26
Non-Metallic Minerals	3	3	1	1	1	3	22
Mining and Quarrying	0	0	0	0	1	0	2
Food and Tobacco	1	3	2	3	3	3	33
Textile and Leather	1	0	1	3	3	3	29
Paper, Pulp and Print	2	1	2	1	3	1	18
Transport Equipment	0	0	0	0	1	1	5
Machinery	0	0	0	0	1	2	8
Wood and Wood Products	0	0	1	0	1	1	6

Construction	0	0	0	0	2	1	7
Non-specified (Industry)	0	1	3	0	1	0	6

Dalla Tabella 1 risulta evidente come i settori con il punteggio più alto sono l'alimentare e il settore tessile. Per quanto riguarda il settore alimentare, vista la notevole varietà di tipologie di processi produttivi compresi in tale settore, si è ritenuto opportuno ripetere l'analisi multicriterio considerando i singoli sotto settori per selezionarne due da tenere in considerazione per le analisi successive. Si riporta di seguito la tabella riassuntiva ottenuta in maniera simile a Tabella 1 e per la quale si trovano, come nel caso precedente, maggiori informazioni nel report della LA3.18.

Tabella 2: Riepilogo dei punteggi per ogni criterio e del punteggio complessivo di ciascun settore – sotto-settori del settore alimentare

Peso	1	1	4	3	
Settore	Progetti di recupero di calore presenti nel database EU-MERCI	Opportunità di recupero di calore presenti nel database IAC	Casi di recupero di calore a bassa temperatura per singolo settore inseriti nel database ENEA	Numero di diagnosi energetiche pervenute a ENEA ai sensi del D.Lgs. 102/2014 nel 2019	Punteggio complessivo di settore
Processing and preserving of meat and meat products	1	3	1	3	17
Processing and preserving of fruit and vegetables	3	2	1	2	15
Manufacturing of vegetable and animal oils and fats	0	0	0	0	0
Operation of dairies and cheese making	3	3	2	2	20
Manufacture of grain mill products, starches and starch products	1	1	0	2	8
Manufacture of bakery and farinaceous products	1	2	2	3	20
Manufacture of other food products	2	3	3	2	23
Manufacture of prepared animal feeds	0	0	0	1	3

Dalla Tabella 2 risulta quindi evidente come la scelta sia ricaduta sul settore caseario e della produzione di prodotti da forno, che insieme al settore tessile saranno quindi oggetto delle analisi illustrate nel resto del presente documento.

Si precisa inoltre che nel presente lavoro si è deciso di assumere come sorgenti di calore a “bassa temperatura” quelle al di sotto di 230 °C, in accordo alla definizione riportata nello studio condotto dal Department of Energy (DOE) [7].

1.1 Metodologia

Per i tre settori individuati e a partire dai dati a disposizione illustrati nel precedente paragrafo, si è proceduto a realizzare una serie di analisi mirate a caratterizzare fabbisogni e usi termici dei settori oggetto di indagine e conseguentemente a identificare i dati necessari per l’integrazione di database e pre-mappature.

Si è partiti da una prima valutazione dei dati presenti per il settore tessile (che tra i tre settori è quello che presenta un numero più elevato di diagnosi) per progettare le analisi da realizzare e le modalità con cui realizzarle, e anche per una prima valutazione della consistenza e affidabilità dei dati a disposizione. Una volta pronta una prima bozza di questo metodo di analisi dei dati, si è verificata l’applicabilità delle analisi anche agli altri settori.

Per quanto riguarda la consistenza e l’affidabilità dei dati a disposizione, si evidenzia la notevole attività di pulizia e organizzazione della base dati a disposizione da una serie di errori, incongruenze e mancanze, fisiologici considerando la mole di dati in questione e la modalità asincrona di raccolta. Ad esempio, per quanto riguarda gli interventi individuati dalle aziende, è stato necessario un lungo lavoro di riassegnazione delle tipologie di intervento che spesso non corrispondevano alla descrizione dell’intervento stesso; in molti casi inoltre i file excel non riportavano la valutazione economica degli interventi individuati, riportata invece all’interno delle diagnosi energetiche. A valle di questo intenso lavoro di pulizia e organizzazione della base dati si è potuto procedere all’applicazione del metodo di analisi ai tre settori.

Di seguito la descrizione puntuale del metodo di analisi elaborato e applicato ai tre settori oggetto di analisi.

Si fa presente che sono stati applicati dei metodi e degli strumenti di analisi e rappresentazione dei dati che consentissero in modo intuitivo di comprendere la distribuzione dei valori senza tuttavia fare necessariamente affidamento sulla normalità dei dati (non attesa per i valori considerati anche in base ad attività condotte in precedenza da ENEA su gruppi di dati simili [8]).

Analisi relative alla rappresentatività del campione di siti produttivi

Queste analisi sono state svolte per ottenere una prima rappresentazione del campione a disposizione in termini di distribuzione sul territorio nazionale e di grandezza dei siti produttivi, e quindi valutare l’applicabilità dei risultati delle analisi all’intero parco industriale nazionale (Tabella 3).

Quando possibile e dove ritenuto significativo, le analisi sono state effettuate a livello di intero settore (codice ATECO a due/quattro cifre) e poi ripetute a livello di sottosettore (codice ATECO a sei cifre) per ottenere una maggiore precisione nella descrizione di processi produttivi omogenei.

Tabella 3: Analisi svolte in relazione alla rappresentatività del campione di aziende

Descrizione realizzata	analisi	Oggetto dell’analisi	Strumento di analisi/rappresentazione utilizzato	Note
Distribuzione geografica dei siti produttivi (per regione e provincia)		Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafico a barre	Dove possibile, questa analisi oltre che sul numero dei siti è stata effettuata anche sulle unità prodotte.

Distribuzione nei sottosettori (codici ATECO a sei cifre) dei siti produttivi	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafico a barre	
Numero di siti sottoposti a monitoraggio	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre), sottosettori più numerosi (codici ATECO a sei cifre)	Tabella riassuntiva dei valori numerici	
Unità di misura utilizzata per i volumi produttivi	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre), sottosettori più numerosi (codici ATECO a sei cifre)	Grafici a torta	
Entità dei volumi di produzione	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre), sottosettori più numerosi (codici ATECO a sei cifre)	Grafici a scatola e baffi	Per ogni settore la valutazione è stata ripetuta per ciascuna unità di misura della produzione.

Analisi relative ai consumi di gas

Queste analisi sono state svolte per ottenere una prima caratterizzazione dei fabbisogni e degli usi termici dei settori oggetto di studio. L'analisi si è concentrata sul consumo di gas in quanto la produzione di energia termica da altri fonti è considerata minoritaria per i settori considerati, assunzione supportata dai dati delle diagnosi energetiche. Inoltre, i dati dei vettori termici non sono disponibili in formato excel, per cui si ritiene l'analisi dei consumi di gas l'approssimazione migliore di un'analisi sul consumo termico (Tabella 4).

Quando possibile e dove ritenuto significativo, le analisi sono state effettuate a livello di intero settore (codice ATECO a due/quattro cifre) e poi ripetute a livello di sottosettore (codice ATECO a sei cifre) per ottenere una maggiore precisione nella descrizione di processi produttivi omogenei.

Dove ritenuto necessario, le analisi realizzate sono state confrontate con i fogli excel con i dati di riepilogo della produzione, dell'acquisto di energia e dei principali consumi dei singoli siti produttivi sottoposti a diagnosi, con la finalità di analizzare eventuali outlier.

Tabella 4: Analisi svolte in relazione ai consumi di gas

Descrizione realizzata	analisi	Oggetto dell'analisi	Strumento di analisi/rappresentazione utilizzato	Note
Consumo totale di sito		Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre), sottosettori più numerosi (codici ATECO a sei cifre)	Istogrammi	

Ripartizione del consumo totale di sito per destinazione d'uso	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre), sottosectori più numerosi (codici ATECO a sei cifre)	Grafici a scatola e baffi	
Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre), sottosectori più numerosi (codici ATECO a sei cifre)	Grafici a scatola e baffi, istogrammi	Dove possibile (nel caso in cui l'unità di misura della produzione utilizzata nel settore sia sufficientemente omogenea per i diversi siti) i grafici a scatole e baffi sono stati sostituiti dagli istogrammi.
Relazione tra consumo totale di sito e producibilità	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafico di correlazione e regressione	

Nell'ambito di una diagnosi energetica si parla di schema energetico e con questo termine "si intende la descrizione degli utilizzi di ciascun vettore energetico nell'ambito di specifici confini all'interno dell'oggetto della diagnosi energetica" [9].

Lo schema energetico dovrà riferirsi ad ogni vettore energetico (elettrico, termico, vapore, etc) acquistato o utilizzato nel sito in esame e dovrà suddividere i consumi annui del vettore specifico tra le diverse utenze ivi presenti. All'interno di ogni stabilimento l'organizzazione delle attività dovrà essere suddivisa come segue:

- a) *Attività principali*: tutte le attività legate all'articolazione della produzione o che caratterizzano il servizio erogato.
- b) *Servizi generali*: tutte le attività di supporto alle attività principali, ad esempio aria compressa, centrale termica, etc.
- c) *Servizi ausiliari*: tutte le attività che sono connesse con il processo produttivo o il servizio offerto, i cui fabbisogni non sono collegati allo stesso. Ad esempio l'illuminazione, il condizionamento dei locali, etc.

Si è dunque fatto riferimento a questa suddivisione della destinazione d'uso per le analisi indicate alla riga 2 di Tabella 4.

Analisi relative agli interventi effettuati

Queste analisi sono state svolte per ottenere una più approfondita caratterizzazione dei fabbisogni e degli usi termici dei settori oggetto di studio (analizzando la descrizione degli interventi realizzati su differenti processi) e per andare ad ottenere informazioni utili alla validazione e contestualizzazione del database di casi di recupero di calore industriale a bassa temperatura (Tabella 5).

Le categorie relative alle diverse tipologie di intervento assegnate dalle aziende sono state analizzate e valutate soprattutto in base alle informazioni derivanti dai PDF delle singole diagnosi. Questa parte di lavoro ha quindi richiesto l'analisi di dettaglio di ogni singolo PDF relativo alle diagnosi energetiche considerate. Tali categorie sono state in molti casi modificate dal gruppo di lavoro per meglio rappresentare gli interventi

descritti. Per quanto riguarda gli interventi di recupero invece, le categorie sono state individuate e assegnate direttamente dal gruppo di lavoro sulla base degli interventi descritti.

Per le analisi relative ai valori di risparmio energetico ottenuto dai diversi interventi, laddove necessario, il gruppo di lavoro è intervenuto sulla base dati a disposizione rendendo omogenea l'unità di misura, per lo più operando la conversione in TEP dei risparmi misurati altrimenti attraverso opportuni fattori di conversione ($1 \text{ kWhe}=0.187 \times 10^{-3} \text{ tep}$, $1 \text{ kWht}=860 \times 10^{-7}/0.9 \text{ tep}$) [10].

Tabella 5: Analisi svolte in relazione agli interventi effettuati

Descrizione analisi realizzata	Oggetto dell'analisi	Strumento di analisi/rappresentazione utilizzato
Ripartizione percentuale degli investimenti tra le diverse tipologie di intervento	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafico a torta
Suddivisione interventi in categorie e ulteriore definizione delle categorie per gli interventi di recupero e relativa suddivisione	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafici a barre
Analisi di investimento e risparmio per tutti gli interventi, per gli interventi di recupero singolarmente e globalmente	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafici a scatola e baffi

Analisi relative agli interventi individuati

Queste analisi sono state svolte per ottenere una più approfondita caratterizzazione dei fabbisogni e degli usi termici dei settori oggetto di studio (analizzando la descrizione degli interventi realizzati su differenti processi) e per andare ad ottenere informazioni utili alla validazione e contestualizzazione del database di casi di recupero di calore industriale a bassa temperatura (Tabella 6).

Le categorie relative alle diverse tipologie di intervento assegnate dalle aziende sono state analizzate e valutate anche in base, ove necessario, alle informazioni derivanti dai PDF delle singole diagnosi. Tali categorie sono state in alcuni casi modificate dal gruppo di lavoro per meglio rappresentare gli interventi descritti. Per quanto riguarda gli interventi di recupero invece, le categorie sono state individuate e assegnate direttamente dal gruppo di lavoro sulla base degli interventi descritti.

Per le analisi relative ai valori di risparmio energetico stimato per i diversi interventi, il gruppo di lavoro, laddove necessario, è intervenuto sulla base dati a disposizione rendendo omogenea l'unità di misura, per lo più operando la conversione in TEP dei risparmi misurati altrimenti attraverso opportuni fattori di conversione ($1 \text{ kWhe}=0.187 \times 10^{-3} \text{ tep}$, $1 \text{ kWht}=860 \times 10^{-7}/0.9 \text{ tep}$) [10].

Tabella 6: Analisi svolte in relazione agli interventi individuati

Descrizione analisi realizzata	Oggetto dell'analisi	Strumento di analisi/rappresentazione utilizzato	Note
Ripartizione percentuale degli investimenti tra le diverse tipologie di intervento	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafico a torta	Analisi realizzata con una base dati generalmente molto ridotta data la poca disponibilità di tali dati.
Suddivisione interventi in categorie e ulteriore	Intero campione (settore con	Grafici a barre	

definizione delle categorie per gli interventi di recupero e relativa suddivisione	codice ATECO a due/quattro cifre)		
Analisi di investimento e risparmio per tutti gli interventi, per gli interventi di recupero singolarmente e globalmente	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafici a scatola e baffi	
Analisi del risparmio come funzione dell'investimento	Intero campione (settore con codice ATECO a due/quattro cifre)	Grafico di correlazione e regressione	Analisi realizzata esclusivamente per le categorie di intervento più popolate.

I dati relativi agli interventi individuati ed effettuati, arricchiti da informazioni aggiuntive derivanti dai PDF delle diagnosi, sono stati integrati all'interno del database di casi di recupero di calore industriale a bassa temperatura, ove disponibili e secondo la struttura del database stesso definita nell'annualità precedente [1] e richiamata in Figura 5 . Per ogni settore, si è proceduto ad analizzare gli interventi di recupero individuati ed effettuati, estrapolando informazioni relative ai più comuni abbinamenti fonte/vettore/pozzo di calore e anche alle tecnologie maggiormente utilizzate per ciascuna tipologia di intervento.

FONTE	Primo autore	Arla Arinco	Law, R.
	Altri autori	Arla Arinco	Law, R., Harvey, A., Reay, D.
	Anno	2012	2016
	Tipo di fonte	Report progetto	Articolo scientifico
	Rivista/Associazione	International Energy Agency (IEA)	Applied Thermal Engineering
	Link	https://iea-industry.org/annexes/annex-ii-application-of-industrial-heat-pumps-and-electrification-in-industry-to-be-continued-in-2018/	http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.103
AZIENDA	Riferimento geografico	Danimarca	Turchia
	Settori coinvolti (produzione calore)	Alimentare	Tessile
	Sotto settore	Produzione di latte e derivati	
	Altri settori coinvolti (utilizzo calore)		
PRODUZIONE DI CALORE DI SCARTO	Processo che genera calore di scarto	Raffreddamento di acqua da 45°C a 22°C	Candeggio, Lavaggio, Tintura filati
	Vettore	Acqua	Acqua
	Quantità (flusso, potenza termica o calore prodotto)		
	Stagionalità produzione		
	Temperatura	45°C	83°C
	Portata	40 m ³ /h	8.33 kg/s
PROCESSO DI RECUPERO	Tecnologia di recupero impiegata	Pompa di calore ibrida a due stadi	Scambiatore di calore a piastre
	Stadio di sviluppo della tecnologia	Tecnologia consolidata	Tecnologia consolidata
	Vettore di scambio	NH3-H2O	Acqua
	Quantità vettore di scambio		
UTILIZZO DEL CALORE DI SCARTO	Processo che riceve calore	Preriscaldamento aria per produzione di latte in polvere	Accumulo acqua calda
	Interno/esterno	Interno	Interno
	Valorizzazione calore di scarto	Energia termica	Energia termica
	Quantità (flusso, potenza o energia prodotta)	1.25 MW	12.1 kg/s
	Stagionalità utilizzo		
	Temperatura di utilizzo	80°C	60 °C
ALTRO	Principali barriere		
	Soluzioni identificate		
	Altro	COP=4.6; PBT=2.3 anni (1.5 anni con incentivi); risparmi di energia primaria=7.2 GWh/anno; emissioni di CO ₂ evitate=1400 t/anno	Risparmio di 321.416 GBP/anno a fronte di un investimento di 5308 GBP

Figura 5: Struttura del database dei casi di recupero di calore industriale a bassa e bassissima temperatura

Per quanto riguarda le attività relative alla contestualizzazione e arricchimento delle informazioni presenti nelle pre-mappature realizzate nel corso dell'annualità precedente, invece, il lavoro si è basato principalmente sui dati riportati nei fogli excel con i dati di riepilogo della produzione, dell'acquisto di energia e dei principali consumi dei singoli siti produttivi sottoposti a diagnosi nei PDF contenenti le diagnosi energetiche dei singoli siti produttivi. In una prima fase, si è proceduto a selezionare le diagnosi di ciascun settore contenenti rappresentazioni esaustive del processo produttivo, che sono poi state trasferite su file

excel. Infine, tali file excel sono stati arricchiti dalle informazioni relative a flussi di calore di scarto (temperature, portate, vettori, ecc.) e possibilità di recupero derivanti sia da letteratura che dal database.

Il processo di trasferimento delle informazioni analizzate verso il database e le pre-mappature per la loro contestualizzazione al sistema produttivo italiano verrà maggiormente approfondito direttamente nei prossimi paragrafi dedicati ai singoli settori oggetto di studio.

1.2 Applicazione della metodologia al settore tessile

Il settore tessile è associato, nella classificazione ATECO, alla divisione 13 “Industrie tessili” e alla seguente definizione:

“Questa divisione include la preparazione e la filatura di fibre tessili compresa la tessitura di materie tessili, il finissaggio dei tessuti e degli articoli di vestiario, la fabbricazione di articoli in tessuto, diversi dagli articoli di vestiario (ad esempio: biancheria da casa, coperte, scendiletto, corde eccetera). La coltivazione di piante produttrici di fibre naturali rientra nella divisione 01, mentre la fabbricazione di fibre artificiali e sintetiche è un processo chimico che va classificato nella classe 20.60. La fabbricazione di articoli di vestiario rientra nella divisione 14.” [11]

Nel seguito del presente capitolo sono riportate le analisi eseguite considerando le diagnosi di grandi aziende e aziende energivore pervenute a ENEA per le industrie appartenenti a tale divisione.

I sottosettori più numerosi per i quali sono state svolte analisi più particolareggiate sono i seguenti:

13.10.11 Preparazione e filatura di fibre tessili

“Questa classe include le operazioni preparatorie e la filatura delle fibre tessili. Il trattamento può riguardare diverse materie prime, come: seta, lana, altre fibre animali, vegetali o artificiali, sintetiche, carta o vetro eccetera.

- *operazioni preparatorie per il trattamento delle fibre tessili: cardatura e pettinatura di tutti i tipi di fibre animali, vegetali o artificiali, sgrassatura, carbonizzazione e tintura del vello di lana, lavaggio della seta, roccatura, annodatura
 - *stigliatura del lino**
 - *filatura e produzione di filo cardato, pettinato o trama per tessitura o cucitura, per il commercio o per ulteriore lavorazione
 - *testurizzazione, torcitura, piegatura, ritorcitura e immersione di filati sintetici o artificiali
 - *fabbricazione di filati di carta*
 - *fabbricazione di filati cucirini***
- Dalla classe 13.10 sono escluse:*
- *operazioni preparatorie effettuate insieme alle attività di agricoltura o allevamento, cfr. 01*
 - *macerazione di piante che producono fibre tessili vegetali (iuta, lino, fibra della noce di cocco eccetera), cfr. 01.16
 - *ginnatura del cotone, cfr. 01.63**
 - *fabbricazione di fibre e fasci sintetici o artificiali, fabbricazione di monofili (inclusi i filati ad alta tenacità e i filati per tappeti) di fibre sintetiche o artificiali, cfr. 20.60
 - *produzione di fibre di vetro, cfr. 23.14” [11]**

13.20.00 Tessitura

“Questa classe include la tessitura di materie prime di vario tipo: seta, lana, altre fibre animali, vegetali o artificiali, sintetiche o di vetro eccetera.

- *fabbricazione di tessuti ad armatura larga in cotone, lana, lana pettinata o seta, incluse le miscele o i filati artificiali (acetato, viscosa, cupro, modal eccetera) o sintetici (polipropilene, elastan, lycra, nylon eccetera)*
 - *fabbricazione di altri tessuti ad armatura larga in lino, ramiè, canapa, iuta, rafia e filati speciali*
 - *fabbricazione di tessuti in velluto o ciniglia, tessuti a spugna, garze eccetera*
 - *fabbricazione di tessuti in fibre di vetro*
 - *fabbricazione di tessuti in carbonio e aramide*
 - *fabbricazione di imitazioni di pelliccia mediante tessitura*
- Dalla classe 13.20 sono escluse:*
- *fabbricazione di tessuti a maglia e all'uncinetto, cfr. 13.91*
 - *fabbricazione di rivestimenti tessili per pavimenti, cfr. 13.93*
 - *fabbricazione di tessuti non tessuti, cfr. 13.95*
 - *fabbricazione di nastri, cfr. 13.96*
 - *fabbricazione di feltro, cfr. 13.99* [11]

13.30.00 Finissaggio dei tessili, degli articoli di vestiario e attività similari

“Questa classe include il finissaggio dei tessili e degli articoli di vestiario, ossia candeggio, tintura, apprettatura ed attività similari.

- *candeggio e tintura di fibre tessili, filati, tessuti ed articoli tessili, inclusi gli articoli di vestiario*
- *apprettatura, asciugatura, vaporizzazione, restringimento, rammendatura, sanforizzazione, mercerizzazione di tessili e di articoli tessili, inclusi gli articoli di vestiario*
 - *decolorazione di jeans*
 - *pieghettatura di tessuti e lavori simili*
- *impermeabilizzazione, rivestimento, gommatura, o impregnatura di indumenti*
 - *stampa su tessuti e articoli di vestiario*
 - *rimagliatura, trapuntatura di tessuti*
- *stiratura, applicazione di etichette su capi di abbigliamento conto terzi, rifinitura (attacco bottoni, taglio fili in avanzo, ripulitura dei capi di abbigliamento), controllo e imbustamento degli articoli tessili, smacchiatura, piegatura*
 - *Dalla classe 13.30 sono escluse:*
 - *fabbricazione di articoli tessili impregnati, rivestiti ricoperti o laminati con gomma, nel caso in cui questa sia l'elemento principale, cfr. 22.19*
 - *stampa realizzata da aziende specializzate in attività di stampa su materiali diversi, cfr. 18.12*
 - *stampa immediata, su richiesta del cliente, di T-shirt, cfr. 95.29* [11]

1.2.1 Analisi di rappresentatività del campione

Le seguenti figure (Figura 6 e Figura 7) rappresentano la distribuzione geografica del campione di siti produttivi analizzato: tali siti risultano distribuiti su tutto il territorio nazionale con una concentrazione decisamente maggiore in Lombardia, Piemonte, Toscana e Veneto e in particolare nelle province di Biella, Como, Prato, Bergamo e Varese.

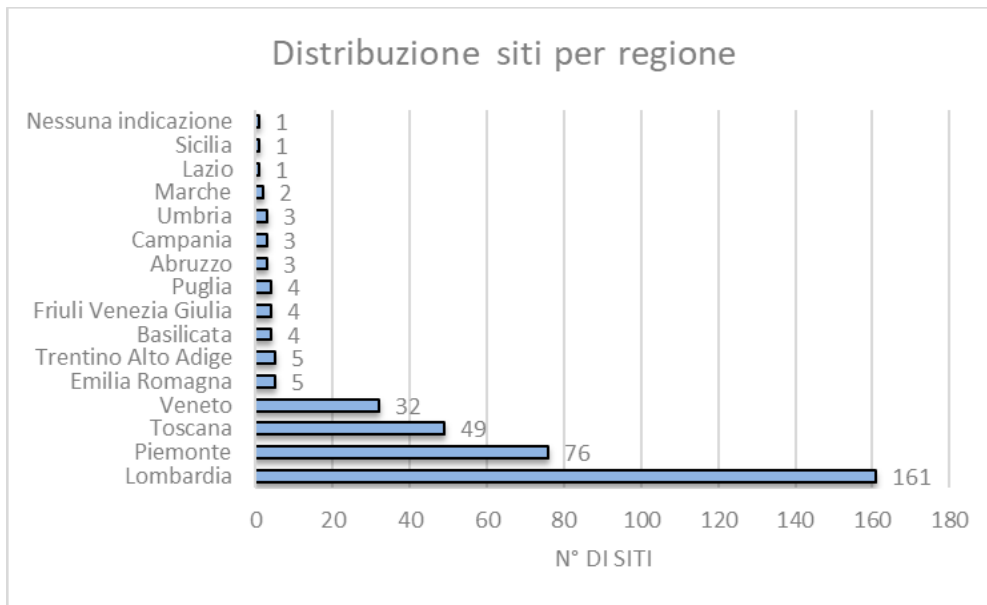


Figura 6: Distribuzione delle aziende del settore tessile per regione

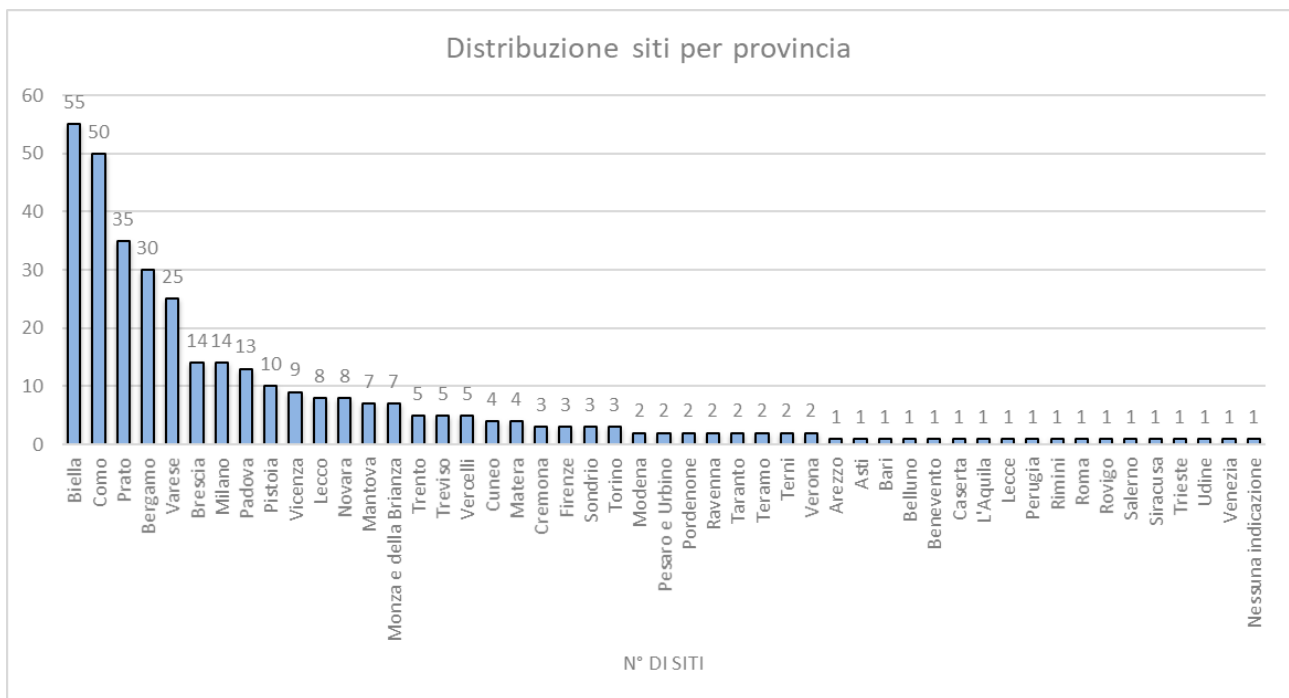


Figura 7: Distribuzione delle aziende del settore tessile per provincia

Come evidente dalla Figura 8, la maggior parte dei siti produttivi analizzati appartengono ai tre sottosettori già menzionati: tessitura, preparazione e filatura di fibre tessili e finissaggio di tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari. Questi tre sottosettori insieme coprono 271 siti su 354 (il 76% circa del campione). Il settore tessile risulta notevolmente frammentato in un elevato numero di sottosettori, caratterizzati da notevoli differenze nei processi produttivi, motivo per cui si è scelto di fermare l'analisi ai tre sottosettori indicati.

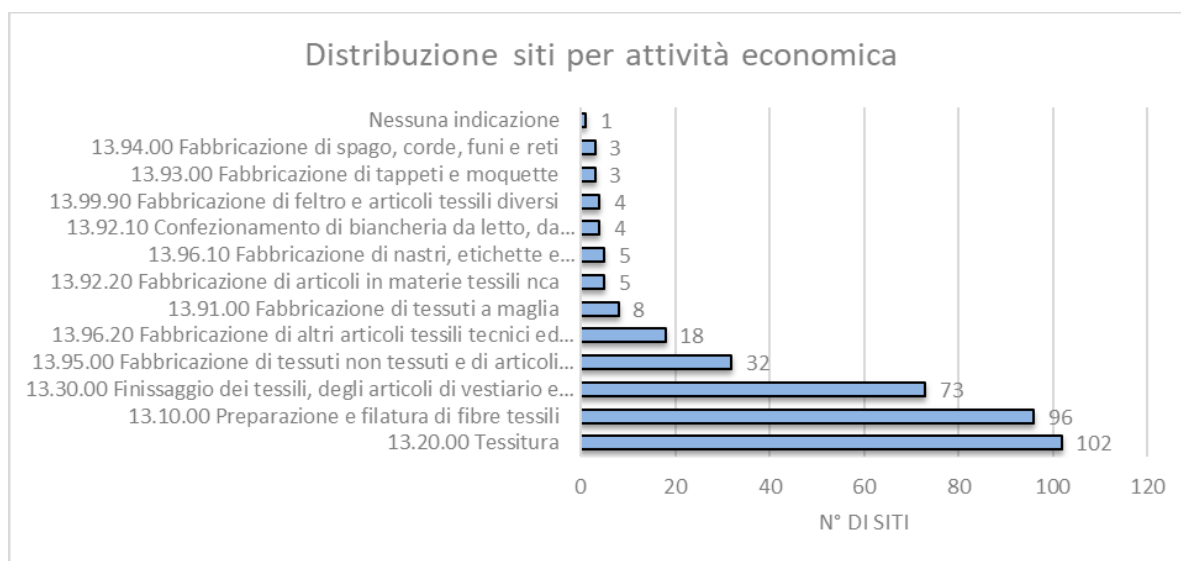


Figura 8: Distribuzione delle aziende del settore tessile per sottosectori

Dei siti produttivi analizzati per il settore tessile, una buona percentuale (il 73% circa) dichiara di avere un sistema di monitoraggio dei consumi energetici, come evidenziato in Tabella 7.

Tabella 7: Numero di siti sottoposti a monitoraggio per il settore tessile

N° DI SITI SOTTOPOSTI A MONITORAGGIO		
	Si	No
13 INDUSTRIE TESSILI	258	96
13.10.00 Preparazione e filatura di fibre tessili	64	32
13.20.00 Tessitura	70	32
13.30.00 Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e / attività simili	61	12

Per quanto riguarda la misura della produzione, l'unità di misura maggiormente utilizzata nel settore tessile risulta essere il chilogrammo (kg), seguito dal metro (m), dal metro quadro (m²), dai pezzi (Pz) e da ore lavorate (h) (si veda la Figura 9). Si specifica che alcuni siti riportano la produzione espressa in tonnellate, ma che per i fini di queste analisi è stata preventivamente convertita in chilogrammi. Le modalità di misura della produzione risultano comunque notevolmente disomogenee non solo all'interno del settore ma anche all'interno dei singoli sottosectori considerati. Il chilogrammo rimane l'unità di misura più utilizzata nei sottosectori considerati tranne nel sottosectore 13.20.00, per cui risulta essere il metro (si veda la Figura 9). I dati riportati nella seguente figura relativamente alle unità di misura della produzione sono utili ad interpretare le scelte operate nel seguito per alcune analisi, per le quali non è stato possibile considerare i campioni di siti dei sottosectori nella loro interezza (con i dati a disposizione non è possibile confrontare la produzione misurata per unità di peso con quella misurata per unità di lunghezza, area o pezzi).

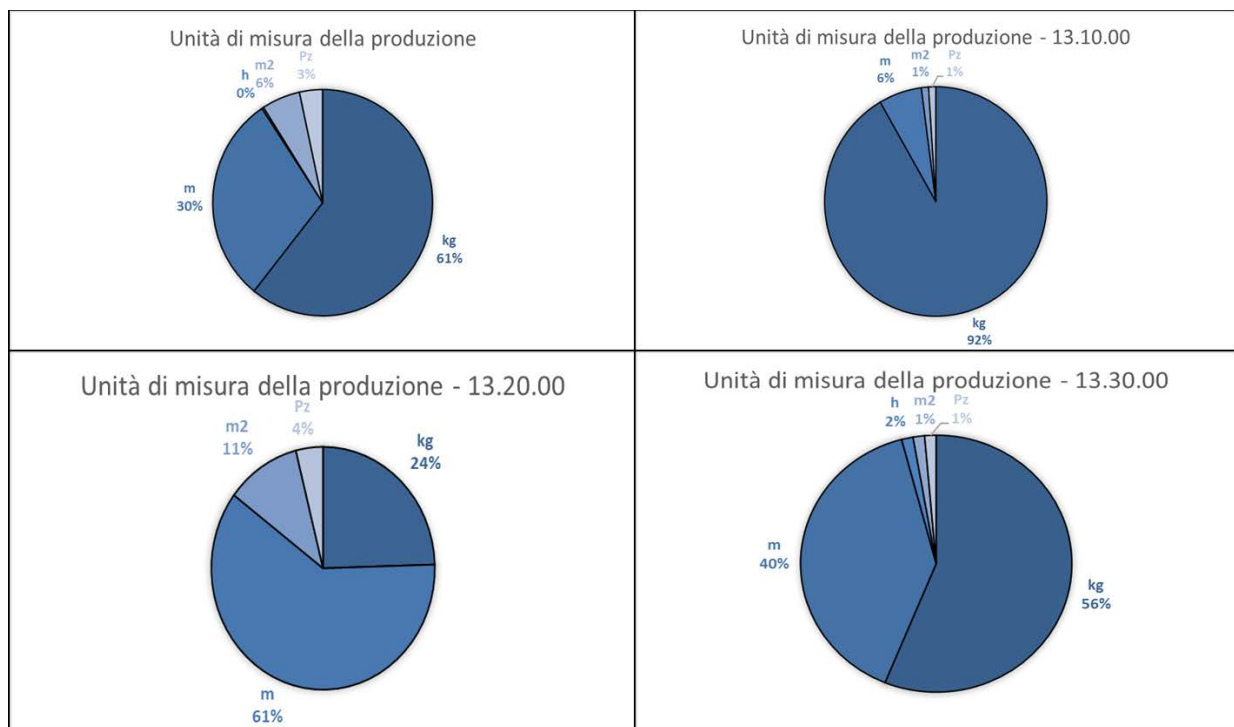


Figura 9: Unità di misura nel settore tessile e sottosettori significativi

I grafici e le tabelle che seguono consentono di avere una misura della dimensione dei siti facenti parte del campione, attraverso l'analisi della loro produzione annuale. Risulta evidente come la dimensione dei siti considerati nel campione copre uno spettro molto ampio. Si specifica che dall'analisi riportata in Figura 10 e

Tabella 8 è stato escluso un singolo outlier che riportava valori di produzione evidentemente fuori range.

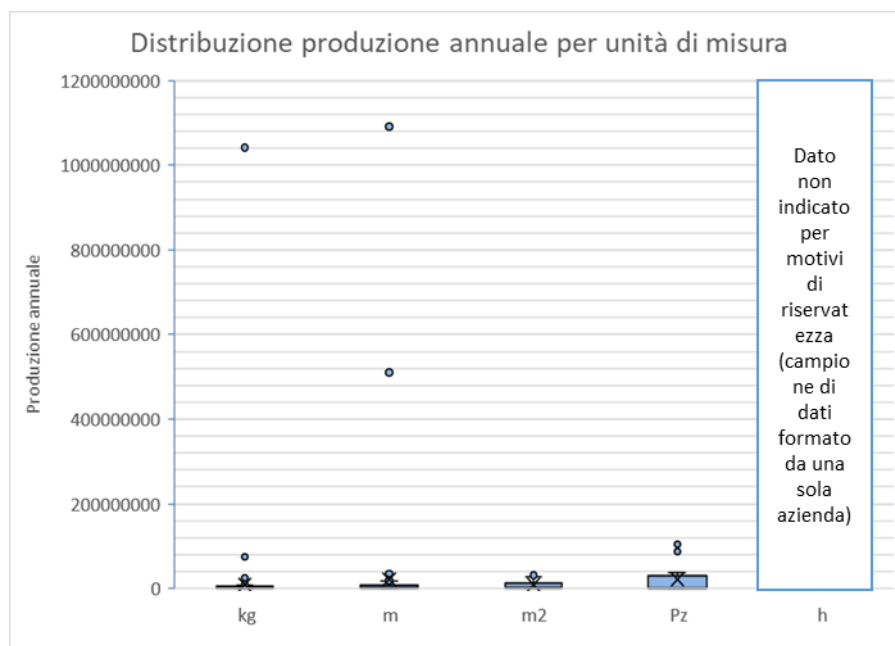


Figura 10: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile

Tabella 8: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile

	<i>kg</i>	<i>m</i>	<i>m2</i>	<i>Pz</i>	<i>h</i>
Minimo	19.281,40	1,00	6.250,00	5.563,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
Quartile 1	890.663,50	1.136.995,63	777.640,00	56.014,50	
Mediana	1.928.800,00	2.797.627,50	3.056.856,00	1.256.514,50	
Media	9.394.557,73	21.537.532,35	9.105.200,60	20.832.858,33	
Quartile 3	3.934.850,00	8.044.792,75	9.337.971,50	18.883.436,75	
Massimo	1.042.000.000,00	1.091.313.000,00	43.000.000,00	104.185.536,00	

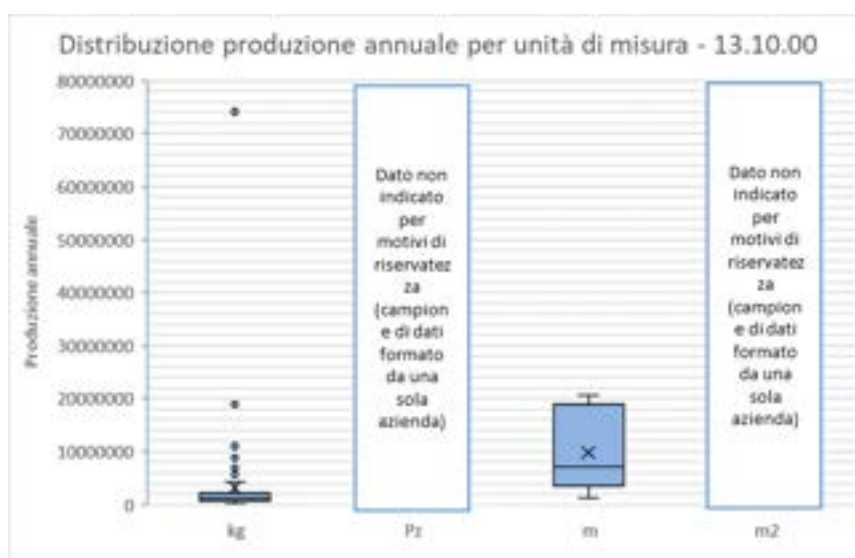


Figura 11: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile - sottosettore 13.10.00

Tabella 9: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile – sottosettore 13.10.00

13.10.00		<i>kg</i>	<i>Pz</i>	<i>m</i>	<i>m2</i>
	Minimo	19.281,40	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)	1.178.590,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
	Quartile 1	627.018,75		4.821.777,84	
	Mediana	1.169.410,00		7.073.886,50	
	Media	3.113.977,03		9.811.517,02	
	Quartile 3	2.222.535,25		15.845.906,50	
Massimo	74.146.000,00	20.701.751,00			

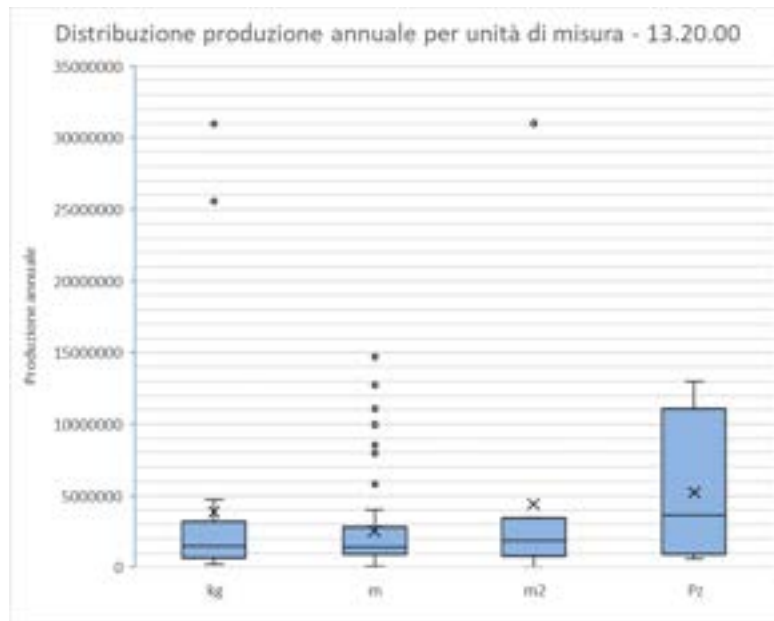


Figura 12: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile - sottosettore 13.20.00

Tabella 10: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile - sottosettore 13.20.00

		<i>kg</i>	<i>m</i>	<i>m2</i>	<i>Pz</i>
13.20.00	Minimo	225.000,00	57.576,00	6.250,00	566.022,00
	Quartile 1	743.456,25	905.948,00	777.640,00	1.601.760,75
	Mediana	1.474.000,00	1.385.146,00	1.887.600,00	3.666.557,00
	Media	3.875.886,86	2.543.191,91	4.396.334,09	5.217.721,25
	Quartile 3	2.760.574,25	2.801.623,25	3.374.070,50	7.282.517,50
	Massimo	30.961.000,00	14.699.000,00	31.016.000,00	12.971.749,00

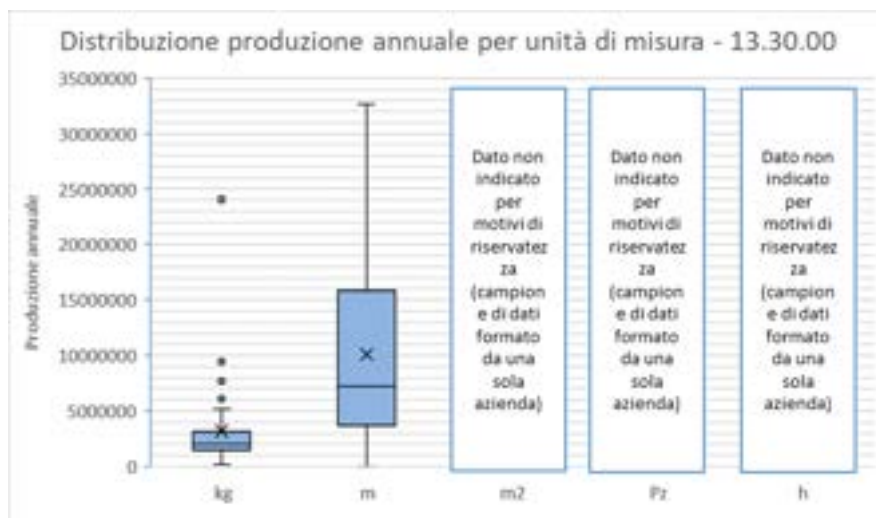


Figura 13: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile - sottosettore 13.30.00

Tabella 11: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore tessile - sottosettore 13.30.00

	kg	M	m2	Pz	h
13.30.00	Minimo	153.368,00	1,00	Dato non	Dato non
	Quartile 1	1.464.485,50	4.184.992,00	indicato per	indicato per
	Mediana	2.013.793,00	7.245.241,00	motivi di	motivi di
	Media	3.193.875,56	10.098.611,65	riservatezza	riservatezza
	Quartile 3	3.076.548,00	15.621.617,60	(campione di	(campione di dati
	Massimo	24.070.387,00	32.638.098,00	dati formato da una sola azienda)	formato da una sola azienda)	formato da una sola azienda)

1.2.2 Analisi dei consumi di gas

Al fine di valutare non solo la dimensione dei siti componenti il campione, ma anche la quantità di energia termica da essi richiesta, è stato analizzato il consumo di gas globale e per destinazione d’uso (attività principali, servizi ausiliari e servizi generali, come definiti in [9]). Di nuovo, il campione di siti del settore tessile analizzati si presenta fortemente disomogeneo. La disomogeneità del campione è dovuta in parte anche ad una difficile interpretazione del dato fornito dalle aziende: nei fogli excel di riepilogo non viene infatti segnalata la presenza di eventuali cogeneratori a gas, e la comunicazione del dato relativo al gas consumato per la cogenerazione non è standardizzata (ad esempio, alcune aziende includono tale porzione di gas consumato nel consumo globale di gas del sito, altre no; alcune lo includono nel consumo associato ai servizi ausiliari, altre no). Dalle analisi seguenti risulta evidente come il sottosettore 13.30.00 risulta avere mediamente dei consumi di gas naturale molto più elevati rispetto agli altri due.

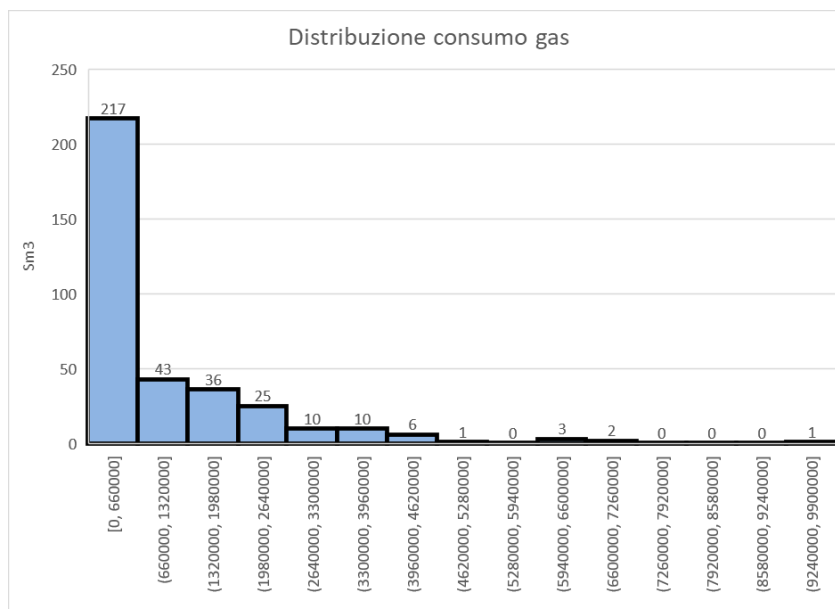


Figura 14: Distribuzione del consumo di gas nel settore tessile

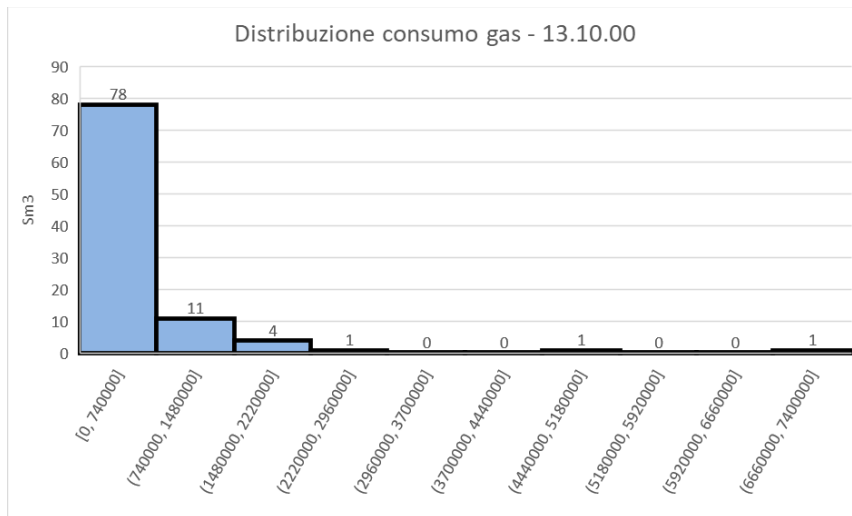


Figura 15: Distribuzione del consumo di gas nel settore tessile - sottosettore 13.10.00

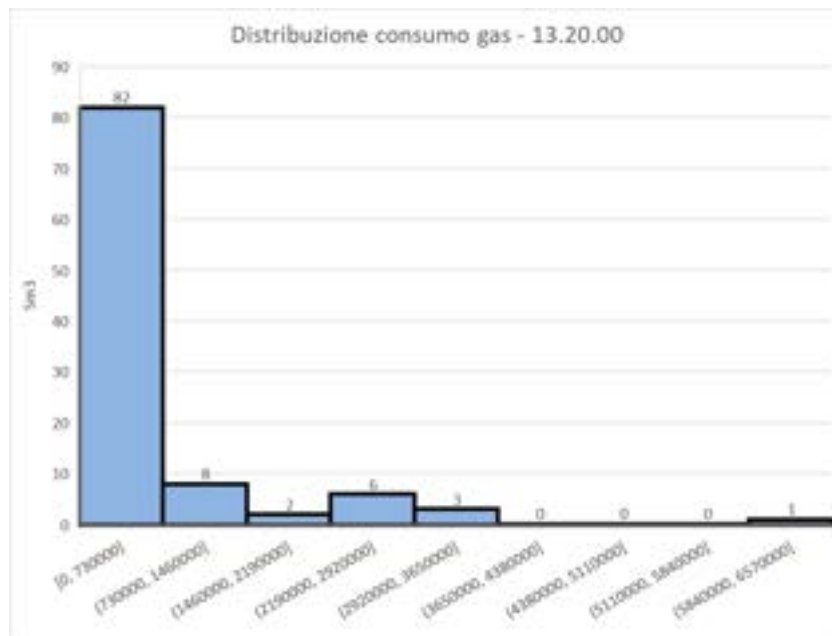


Figura 16: Distribuzione del consumo di gas nel settore tessile - sottosettore 13.20.00

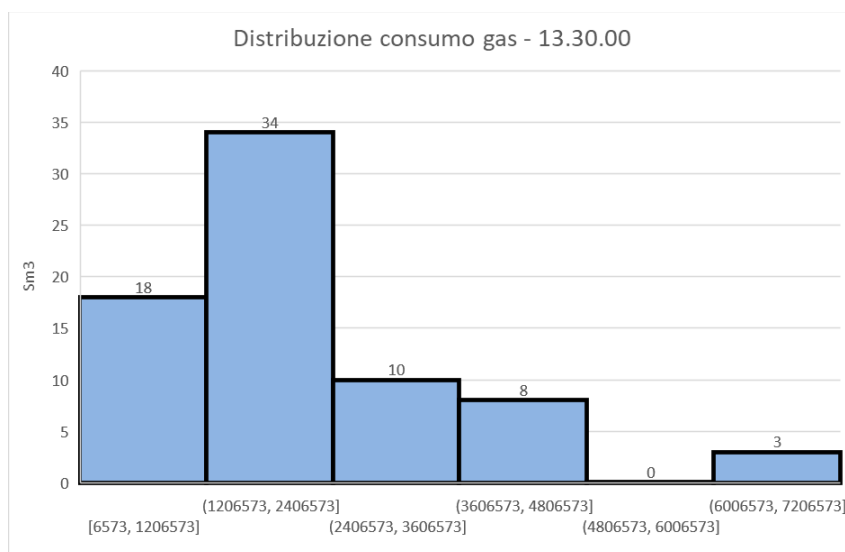


Figura 17: Distribuzione del consumo di gas nel settore tessile - sottosettore 13.30.00

Tabella 12: Distribuzione del consumo di gas nel settore tessile e nei sottosectori oggetto di studio

	TOTALE	13.10.00	13.20.00	13.30.00
Dimensione campione	354	96	102	73
Deviazione standard	1.329.250,11	968.512,83	978.643,75	1.413.906,06
Media	873.801,90	403.900,56	546.586,92	2.095.812,13
Intervallo confidenza media (+ o -) con alpha 0,05	138.945,58	196.238,94	192.223,87	329.888,69
Mediana	188.472,00	35.135,00	98.820,50	1.766.766,00
Minimo	0,00	0,00	0,00	6.573,00
Massimo	9.365.910,00	6.854.469,00	5.962.094,00	6.870.797,00

Per quanto riguarda la ripartizione del gas consumato nella principali destinazioni d'uso, nel settore tessile le attività principali coprono in media il 37% del totale, i servizi ausiliari il 30% e i servizi generali il 33%. Nei sottosectori 13.10.00 e 13.20.00 invece il gas consumato per i servizi generali rappresenta la percentuale più elevata con rispettivamente il 42% e il 47% di media, fatto legato probabilmente a un maggiore uso del vapore come vettore termico e un minore uso di gas nel processo (rispetto, ad esempio, a quanto verificato per il sottosector 13.30.00). Si fa presente che nelle analisi riferite ai grafici in Figura 18e Figura 19 sono stati rimossi i dati relativi a circa 60 siti produttivi per incoerenze intrinseche (percentuali superiori al 100%).

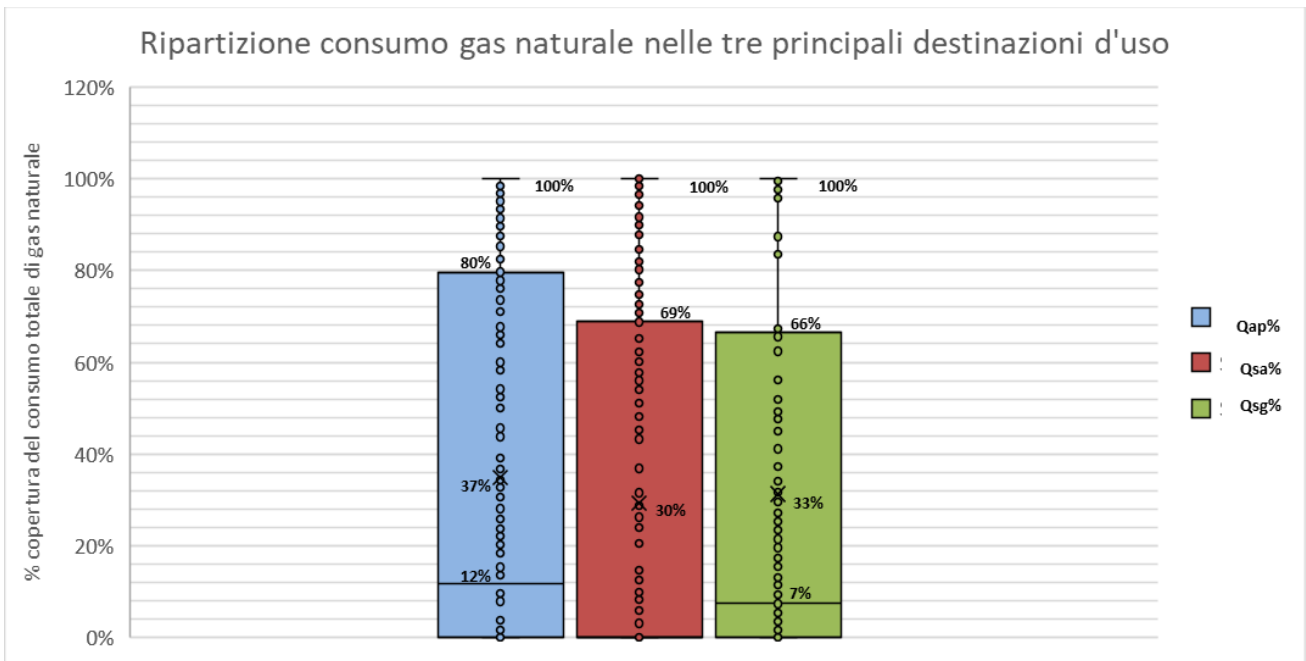


Figura 18: Ripartizione consumo gas naturale nelle tre principali destinazioni d'uso nel settore tessile

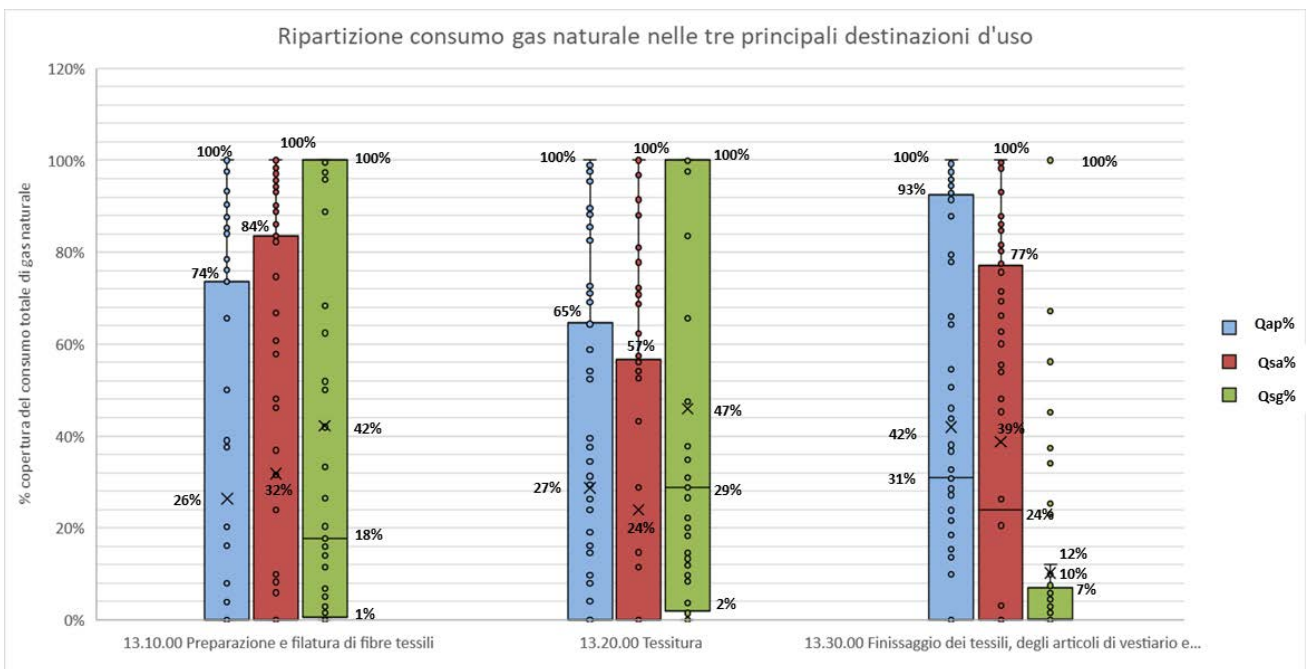


Figura 19: Ripartizione consumo gas naturale nelle tre principali destinazioni d'uso nei sottosettori oggetto di studio del settore tessile

Sono inoltre state effettuate analisi con la finalità di esplorare la relazione tra consumo specifico di gas e produzione dei siti facenti parte del campione. Questa relazione risulta poco marcata non solo per il settore tessile in generale, ma anche per i singoli sottosettori. Questo è probabilmente da imputarsi da un lato al fatto che i dati non sono stati forniti in maniera omogenea e standardizzata da tutte le aziende del settore e dall'altro al fatto che i processi produttivi sono molteplici e diversificati anche all'interno del singolo sottosettore. Per il sottosettore 13.10.00 il grafico a scatole e baffi è stato sostituito da un più semplice istogramma in quanto la quasi totalità delle aziende del sottosettore utilizza la medesima unità di misura della produzione (si confronti Figura 9). Si specifica che dall'analisi riportata in Figura 20 e Tabella

13 è stato escluso un singolo outlier che riportava valori di produzione evidentemente fuori range. Dalle analisi seguenti risulta evidente che anche per il consumo specifico i valori sono mediamente più elevati per il sottosettore 13.30.00 rispetto agli altri due analizzati.

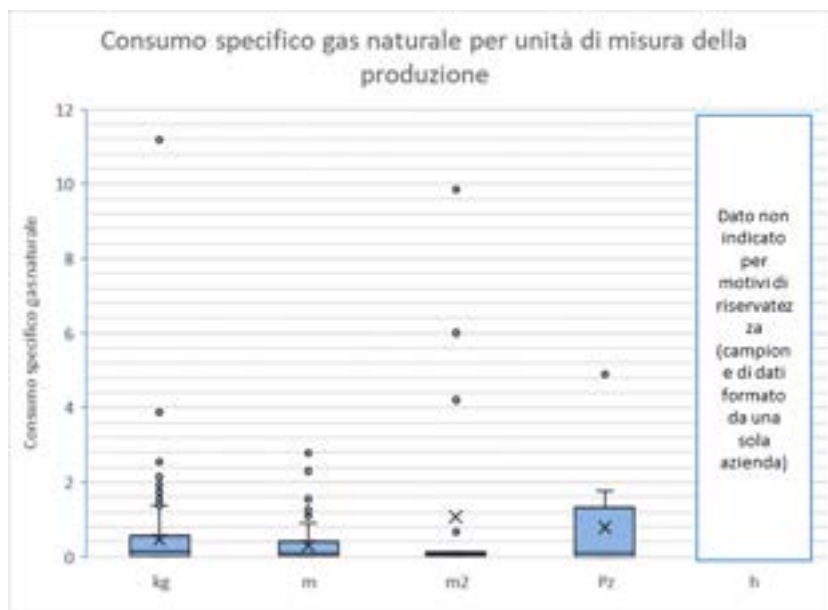


Figura 20: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile

13: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile

	<i>Sm³/kg</i>	<i>Sm³/m</i>	<i>Sm³/m²</i>	<i>Sm³/Pz</i>	<i>Sm³/h</i>
Minimo	0,00	0,00	0,00	0,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
Quartile 1	0,01	0,01	0,01	0,00	
Mediana	0,15	0,09	0,06	0,10	
Media	0,46	0,30	1,07	0,78	
Quartile 3	0,55	0,40	0,10	0,85	
Massimo	11,18	2,78	9,85	4,89	

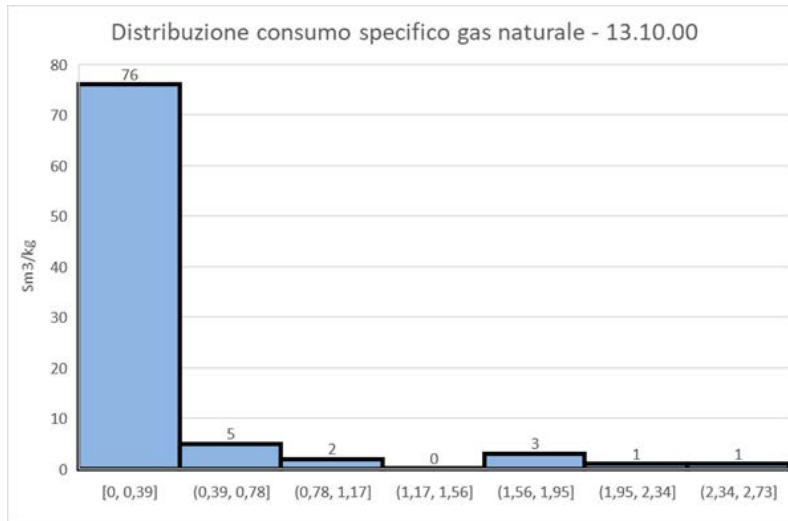


Figura 21: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile – sottosettore 13.10.00

Tabella 14: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile – sottosettore 13.10.00

13.10.00		Sm3/kg	Sm3/Pz	Sm3/m	Sm3/m2
	Minimo	0,00	0,03	0,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
	Quartile 1	0,00	0,03	0,00	
	Mediana	0,02	0,03	0,06	
	Media	0,22	0,03	0,20	
	Quartile 3	0,14	0,03	0,31	
	Massimo	2,54	0,03	0,72	

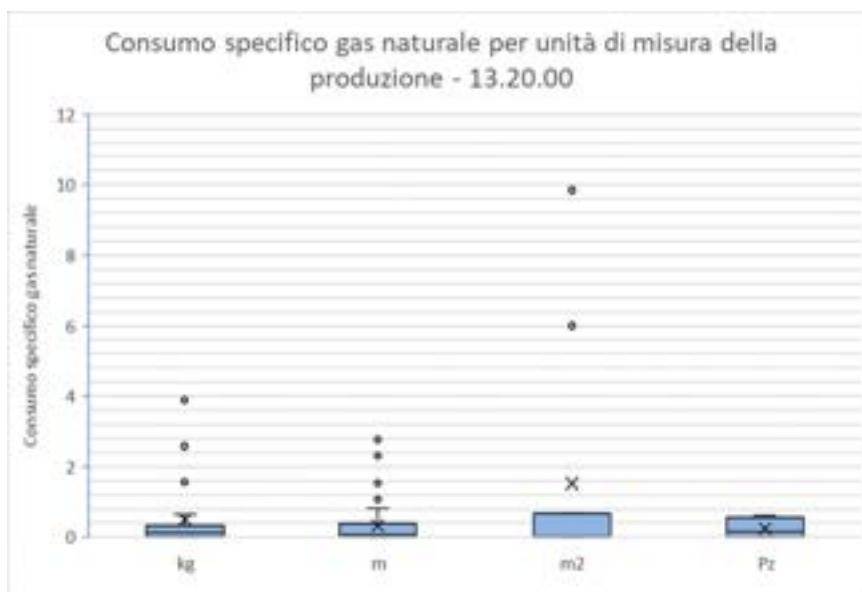


Figura 22: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile – sottosettore 13.20.00

Tabella 15: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile – sottosettore 13.20.00

13.20.00		<i>Sm3/kg</i>	<i>Sm3/m</i>	<i>Sm3/m2</i>	<i>Sm3/Pz</i>
	Minimo	0,00	0,00	0,00	0,00
	Quartile 1	0,01	0,00	0,01	0,00
	Mediana	0,12	0,06	0,02	0,16
	Media	0,49	0,33	1,52	0,24
	Quartile 3	0,31	0,38	0,39	0,40
	Massimo	3,89	2,78	9,85	0,62

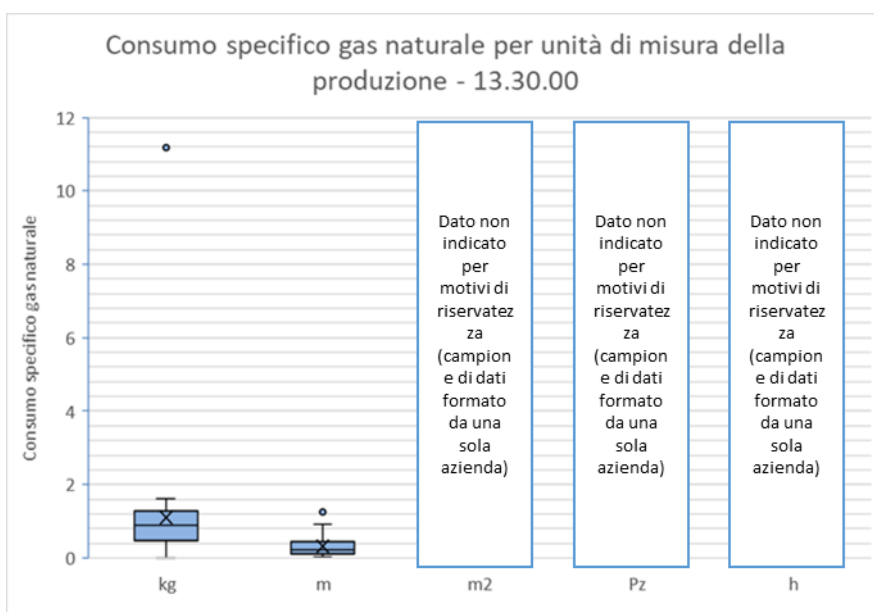


Figura 23: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile – sottosettore 13.30.00

Tabella 16: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore tessile – sottosettore 13.30.00

13.30.00		<i>Sm3/kg</i>	<i>Sm3/m</i>	<i>Sm3/m2</i>	<i>Sm3/Pz</i>	<i>Sm3/h</i>
	Minimo	0,00	0,02	Dato non indicato per motivi di riservatezza	Dato non indicato per motivi di riservatezza	Dato non indicato per motivi di riservatezza
	Quartile 1	0,48	0,10	(campioni e di dati formato da una sola azienda)	(campioni e di dati formato da una sola azienda)	(campioni e di dati formato da una sola azienda)
	Mediana	0,88	0,21			
	Media	1,10	0,32			
	Quartile 3	1,27	0,43			
	Massimo	11,18	1,26			

1.2.3 Analisi sugli interventi effettuati

Nel settore caseario sono stati realizzati complessivamente 358 interventi di risparmio di energia elettrica e termica; allo scopo di analizzarli e metterli a confronto dal punto di vista energetico ed economico, è stato necessario ridefinire preliminarmente le categorie di intervento principali rispetto a quelle indicate nelle

diagnosi e riassegnare, in maniera opportuna, i corrispondenti interventi a ciascuna di esse. In particolare, sono state individuate 21 categorie di intervento, di seguito elencate:

- illuminazione;
- monitoraggio, organizzazione e formazione (ISO 50001);
- aria compressa;
- linee produttive;
- centrale termica;
- climatizzazione;
- motori;
- recupero termico;
- fotovoltaico;
- centrale frigorifera;
- cogenerazione/trigenerazione;
- pompe;
- rifasamento;
- depuratore;
- accumulo elettrico;
- distribuzione vapore;
- involucro edilizio;
- distribuzione acqua calda;
- solare termico;
- UPS;
- altro.

Come evidenziato in Figura 24, il maggior numero di interventi di risparmio energetico ha interessato il sistema di illuminazione (92), il monitoraggio, l'organizzazione e la formazione (51), la centrale aria compressa (47), e le linee produttive (45) che complessivamente costituiscono oltre la metà degli interventi effettuati. Gli interventi di recupero termico realizzati sono stati complessivamente 14.

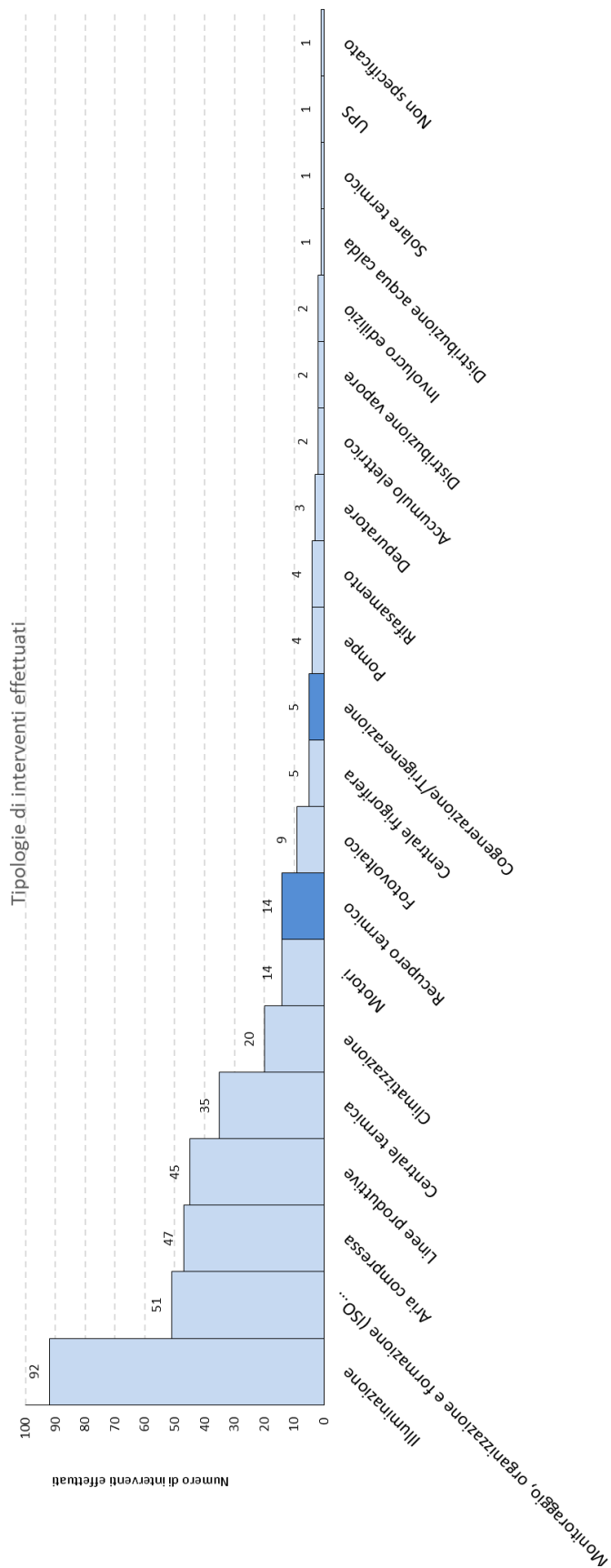


Figura 24: Numero e tipologia di interventi effettuati nel settore tessile

Come evidenziato in Figura 25 e Tabella 18, i risparmi, convertiti in TEP anche qualora forniti in kWh elettrici o termici per consentire il confronto attraverso opportuni fattori di conversione ($1 \text{ kWh}_e = 0.187 \times 10^{-3} \text{ tep}$, $1 \text{ kWh}_t = 860 \times 10^{-7} / 0.9 \text{ tep}$) [10], presentano una variabilità più o meno accentuata all'interno delle singole classi di intervento, in quanto i valori conseguiti sono influenzati non solo dalle dimensioni dell'intervento stesso, ma anche dal tipo di tecnologia adottata. In particolare, la realizzazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione determina mediamente i risparmi più consistenti ($\approx 1500 \text{ TEP/anno}$); seguono gli interventi relativi alla centrale termica ($\approx 250 \text{ TEP/anno}$). Si specifica che per queste analisi è stata considerata solo una piccola parte degli interventi identificati, in quanto sia i dati relativi ai risparmi che quelli relativi ai costi di investimento risultano spesso mancanti (risultano completi per meno del 40% degli interventi descritti).

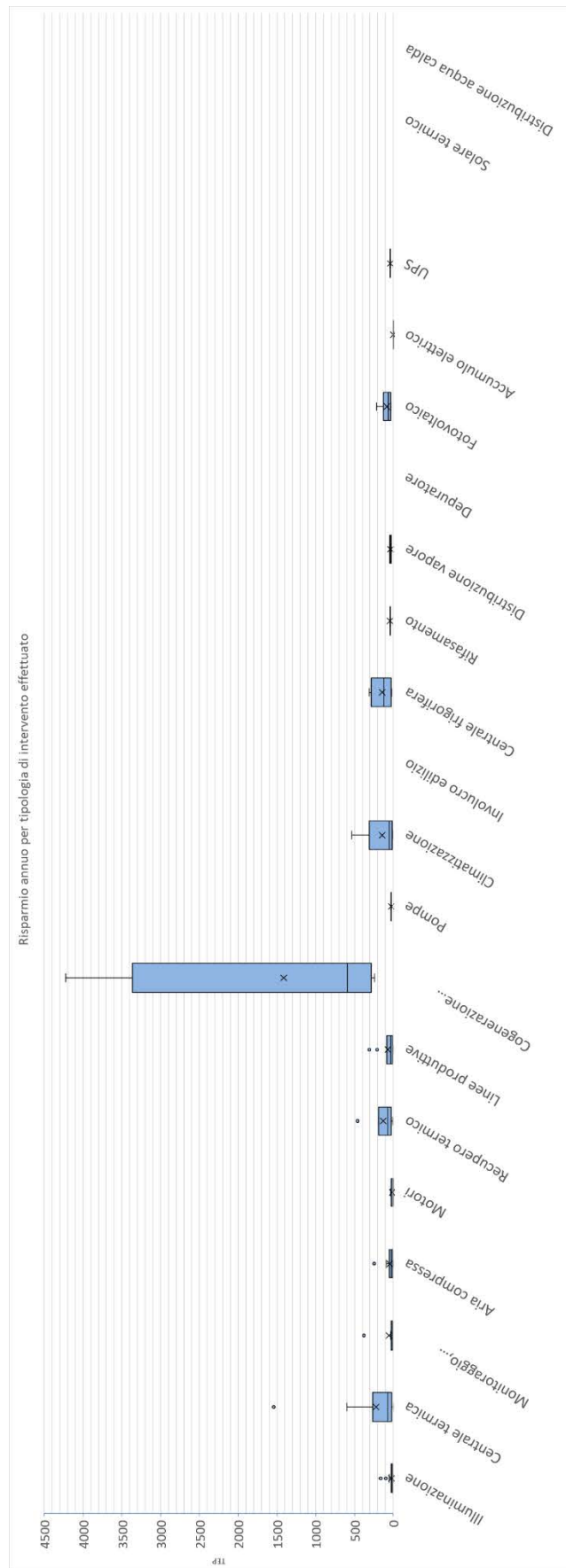


Figura 25: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi effettuati nel settore tessile

Tabella 17: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi effettuati nel settore tessile

	<i>Illuminazione</i>	<i>Monitoraggio, organizzazione e</i>	<i>Aria compressa</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Motori</i>	<i>Recupero termico</i>	<i>Fotovoltaico</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Cogenerazione/Trigenerazione</i>	<i>Pompe</i>	<i>Rifasamento</i>	<i>Accumulo elettrico</i>	<i>Distribuzione vapore</i>	<i>UPS</i>
Dimensione campione	54	9	14	10	17	11	4	8	6	4	4	1	1	2	2	1
Minimo (TEP/anno)	0,07	4,30	1,52	1,76	1,98	4,66	0,0	8,65	31,7	22,9	242,2	25,07	41,04	0,6	25,52	39,27
Quartile 1 (TEP/anno)	6,30	5,42	6,65	7,13	19,00	20,9	2,1	36,8	38,8	30,8	360,5	25,07	41,04	0,6	30,29	39,27
Mediana (TEP/anno)	18,2	9,43	23,4	34,5	73,00	51,1	9,3	68,1	64,3	121,	590,2	25,07	41,04	0,7	35,06	39,27
Media (TEP/anno)	21,9	53,5	44,4	69,6	221,4	143,	12,	129,	84,3	143,	1.411,	25,07	41,04	0,7	35,06	39,27
Quartile 3 (TEP/anno)	25,3	19,3	50,2	43,9	236,9	200,	19,	182,	90,8	233,	1.641,	25,07	41,04	0,7	39,83	39,27
Massimo (TEP/anno)	161,	380,	246,	309,	1.538,	536,	31,	461,	215,	308,	4.222,	25,07	41,04	0,8	44,60	39,27

Anche i costi di investimento delle singole classi di intervento presentano una notevole dispersione (Figura 26 e Tabella 19). Come atteso, la realizzazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione rappresenta l'intervento più impegnativo dal punto di vista economico, con un costo di investimento medio di circa 1200 k€. Per le altre classi di intervento, invece, il costo di investimento medio risulta ben più contenuto.

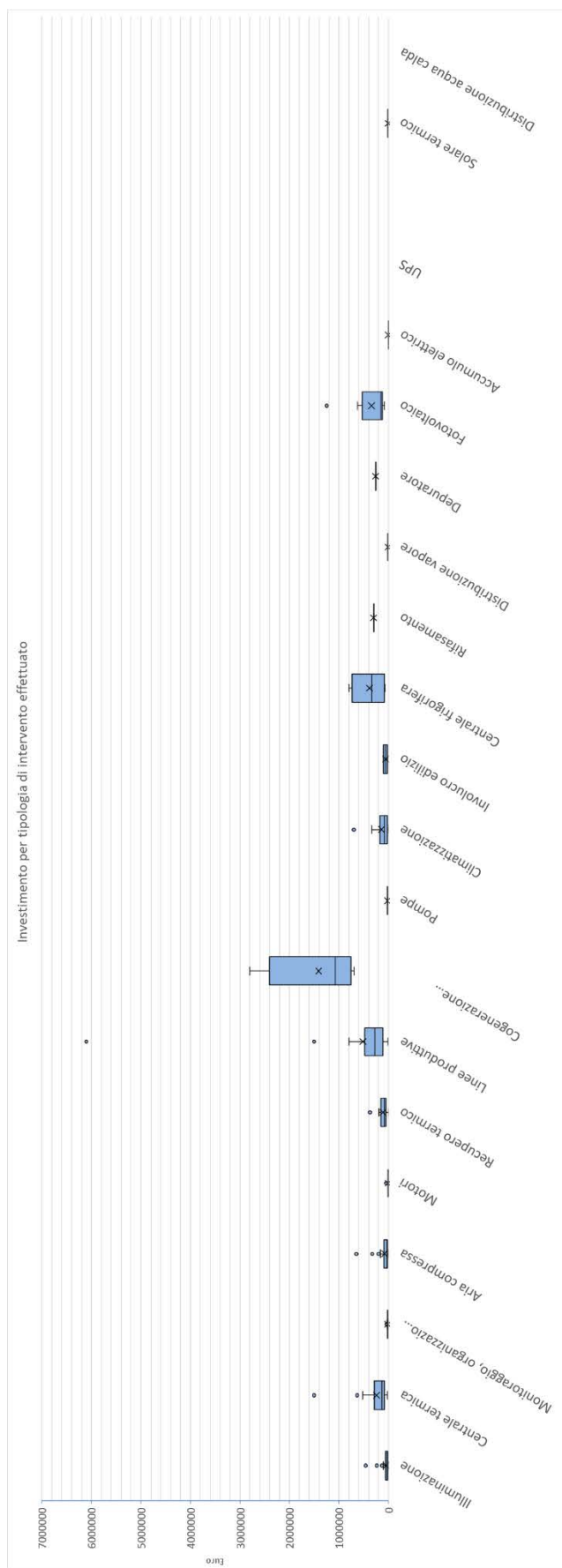


Figura 26: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di intervento per il settore tessile

Tabella 18: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi effettuati nel settore tessile

	illuminazione	Monitoraggio, organizzazione e formazione (ISO)	Aria compressa	Linee produttive	Centrale termica	Climatizzazione	Motori	Recupero termico	Fotovoltaico	Centrale frigorifera	Cogenerazione/Trigenerazione	Pompe	Rifasamento	Accumulo elettrico	Distribuzione vapore	UPS
Dimensione campione	54	9	14	10	17	11	4	8	6	4	4	1	1	2	2	1
Minimo (TEP/anno)	0,07	4,30	1,52	1,76	1,98	4,66	0,04	8,65	31,79	22,90	242,20	25,07	41,04	0,63	25,52	39,27
Quartile 1 (TEP/anno)	6,30	5,42	6,65	7,13	19,00	20,90	2,15	36,84	38,81	30,81	360,55	25,07	41,04	0,68	30,29	39,27
Mediana (TEP/anno)	18,20	9,43	23,45	34,55	73,00	51,13	9,31	68,10	64,32	121,22	590,27	25,07	41,04	0,73	35,06	39,27
Media (TEP/anno)	21,90	53,50	44,45	69,68	221,44	143,22	12,44	129,78	84,33	143,51	1.411,33	25,07	41,04	0,73	35,06	39,27
Quartile 3 (TEP/anno)	25,31	19,30	50,21	43,94	236,95	200,93	19,60	182,48	90,82	233,93	1.641,04	25,07	41,04	0,78	39,83	39,27
Massimo (TEP/anno)	161,23	380,00	246,05	309,45	1.538,84	536,07	31,09	461,70	215,63	308,71	4.222,57	25,07	41,04	0,84	44,60	39,27

Tabella 19: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di intervento per il settore tessile

	illuminazione	Monitoraggio, organizzazione e formazione (ISO)	Aria compressa	Linee produttive	Centrale termica	Climatizzazione	Motori	Recupero termico	Fotovoltaico	Centrale frigorifera	Cogenerazione/Trigenerazione	Pompe	Rifasamento	Depuratore	Accumulo elettrico	Distribuzione vapore	Involucro edilizio	Solare termico
Dimensione campione	67	42	27	33	28	15	7	11	8	4	4	2	1	1	2	2	2	1
Minimo (Euro)	800,00	1.000,00	1.000,00	12.000,00	25.000,00	4.286,00	2.100,00	4.200,00	84.375,00	70.000,00	692.812,00	15,00	300,00	260,00	3.000,00	7.800,00	14,90	6.500,00
Quartile 1 (Euro)	14.866,23	5.125,00	21.100,00	112.000,00	80.750,00	29.000,00	3.050,00	55.876,00	120.000,00	107,50	885.703,00	16,50	300,00	260,00	3.250,00	8.350,00	35,67	6.500,00
Mediana (Euro)	30.000,00	10.223,00	32.000,00	274.300,00	133.827,36	80.000,00	4.000,00	80.000,00	157.500,00	335,00	1.075,00	18,00	300,00	260,00	3.500,00	8.900,00	56,45	6.500,00
Media (Euro)	51.195,26	15.093,54	82.736,93	517.115,59	239.005,13	141,15	11,80	112,80	342.958,63	385,00	1.410,70	18,00	300,00	260,00	3.500,00	8.900,00	56,45	6.500,00
Quartile 3 (Euro)	58.600,00	15.360,00	87.846,00	476.056,70	260.500,00	173,72	12,70	138,90	328.073,50	612,50	1.600,00	19,50	300,00	260,00	3.750,00	9.450,00	77,22	6.500,00
Massimo (Euro)	460,29	100,00	650,00	6.100,00	1.500,00	700,00	45,00	372,10	1.250,00	800,00	2.800,00	21,00	300,00	260,00	4,00	10,00	98,00	6.500,00
	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Infine, la Figura 27 mostra la ripartizione degli investimenti complessivamente sostenuti dall'insieme dei siti produttivi sottoposti a diagnosi energetica tra le diverse categorie di intervento. Si nota che circa il 40% del capitale investito è stato destinato alla realizzazione di interventi direttamente sulle linee di produzione ed il 15% ad interventi inerenti alla centrale termica. Alle altre classi di intervento spettano contributi decisamente più contenuti, compresi tra meno dell'1% (solare termico) e l'8% (illuminazione). Tra questi ricadono gli interventi di recupero termico, con una quota degli investimenti corrispondente al 3%.

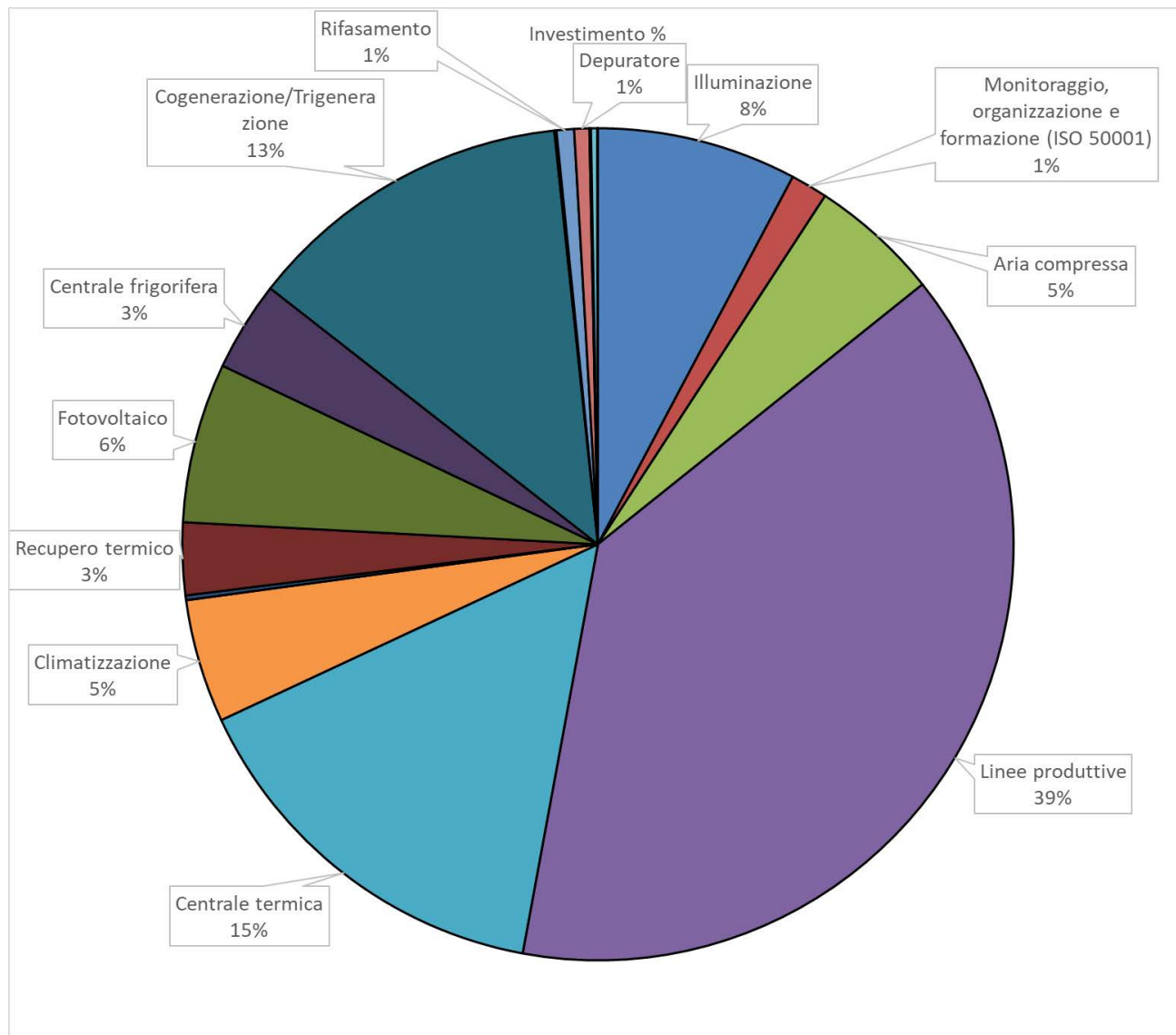


Figura 27: Ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi effettuati nel settore tessile

Per i soli interventi di recupero termico, i grafici che seguono mostrano una ulteriore suddivisione in categorie specifiche (Figura 28), nonché il dettaglio della variabilità riscontrata nei risparmi sia per l'intera categoria (Figura 29) che per le sottocategorie specifiche (Figura 30 e Tabella 20) e il dettaglio della variabilità riscontrata nei costi di investimento sia per l'intera categoria (Figura 31) che per le sottocategorie specifiche (Figura 32 e Tabella 21).

Come è possibile notare dalle analisi realizzate, per il settore considerato, a parte gli interventi di recupero calore dai compressori, l'attenzione relativa agli interventi di recupero direttamente dalle fasi di processo è piuttosto elevata. L'intervento che consente di ottenere i risparmi maggiori appare essere il recupero dallo

scarico dei lavaggi (≈ 190 TEP/anno), ma risulta essere anche quello caratterizzato da un maggior costo medio di investimento (≈ 120000 Euro).

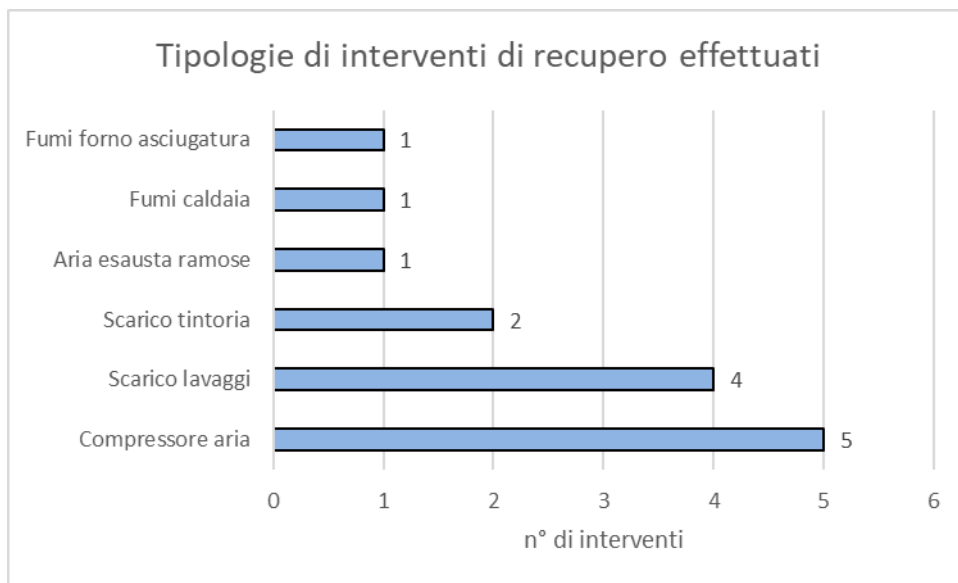


Figura 28: Numerosità e tipologie di interventi di recupero termico effettuati nel settore tessile

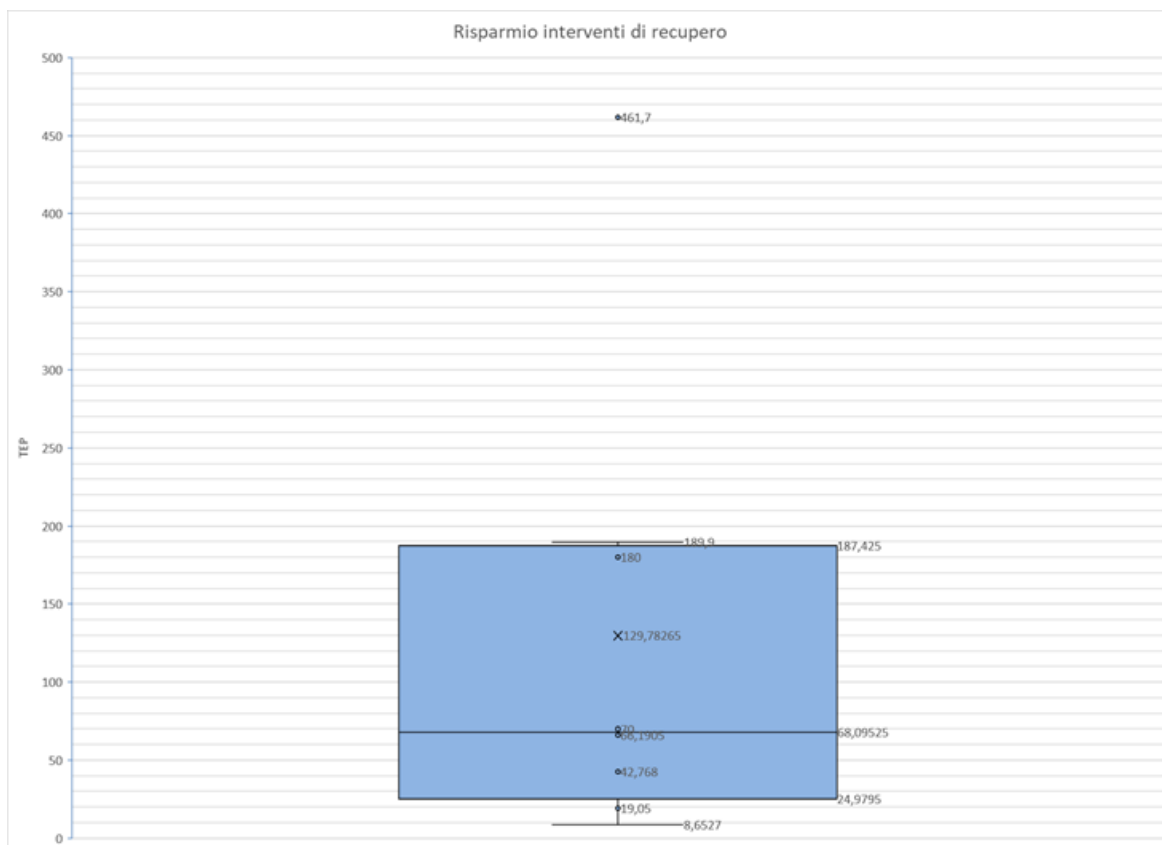


Figura 29: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore tessile

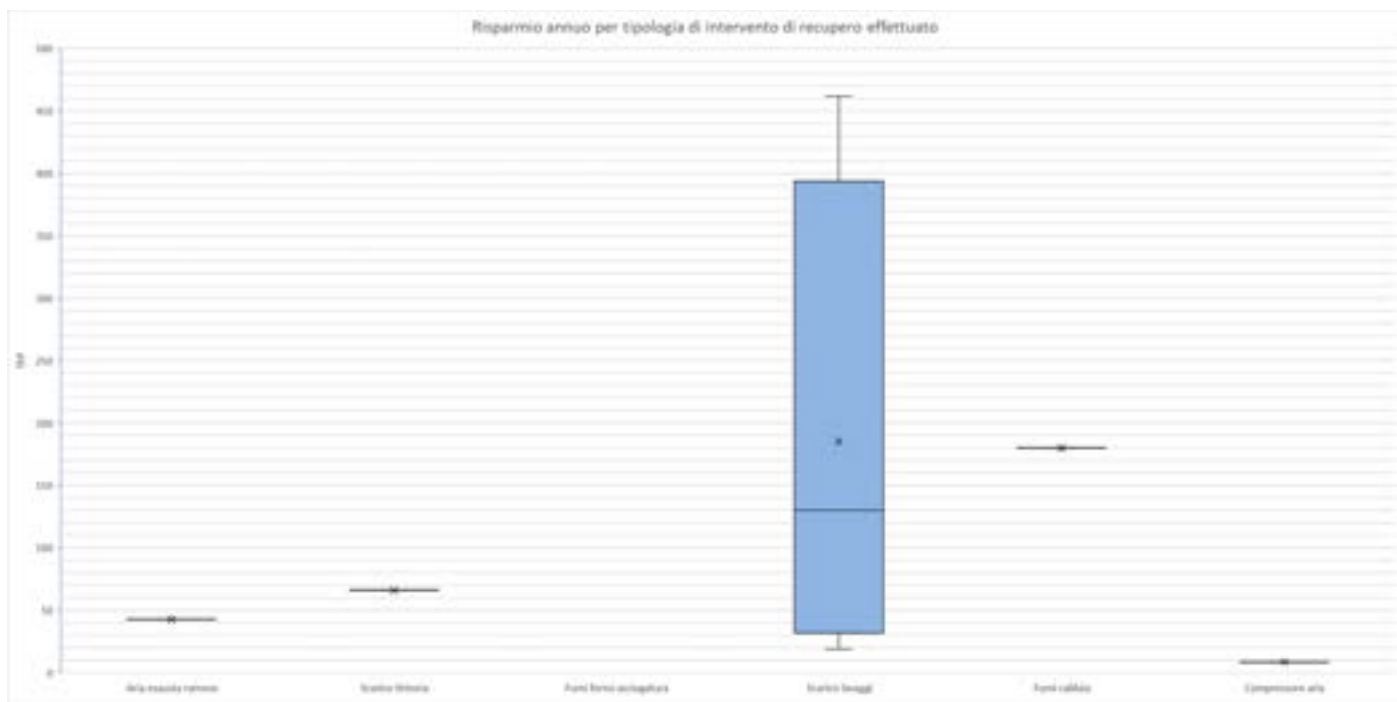


Figura 30: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore effettuato nel settore tessile

Tabella 20: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore effettuato nel settore tessile

	<i>Compressore aria</i>	<i>Scarico lavaggi</i>	<i>Scarico tintoria</i>	<i>Aria esausta ramose</i>	<i>Fumi caldaia</i>
Dimensione campione	1	4	1	1	1
Minimo (TEP/anno)	8,65	19,05	66,19	42,77	180,00
Quartile 1 (TEP/anno)	8,65	57,26	66,19	42,77	180,00
Mediana (TEP/anno)	8,65	129,95	66,19	42,77	180,00
Media (TEP/anno)	8,65	185,16	66,19	42,77	180,00
Quartile 3 (TEP/anno)	8,65	257,85	66,19	42,77	180,00
Massimo (TEP/anno)	8,65	461,70	66,19	42,77	180,00

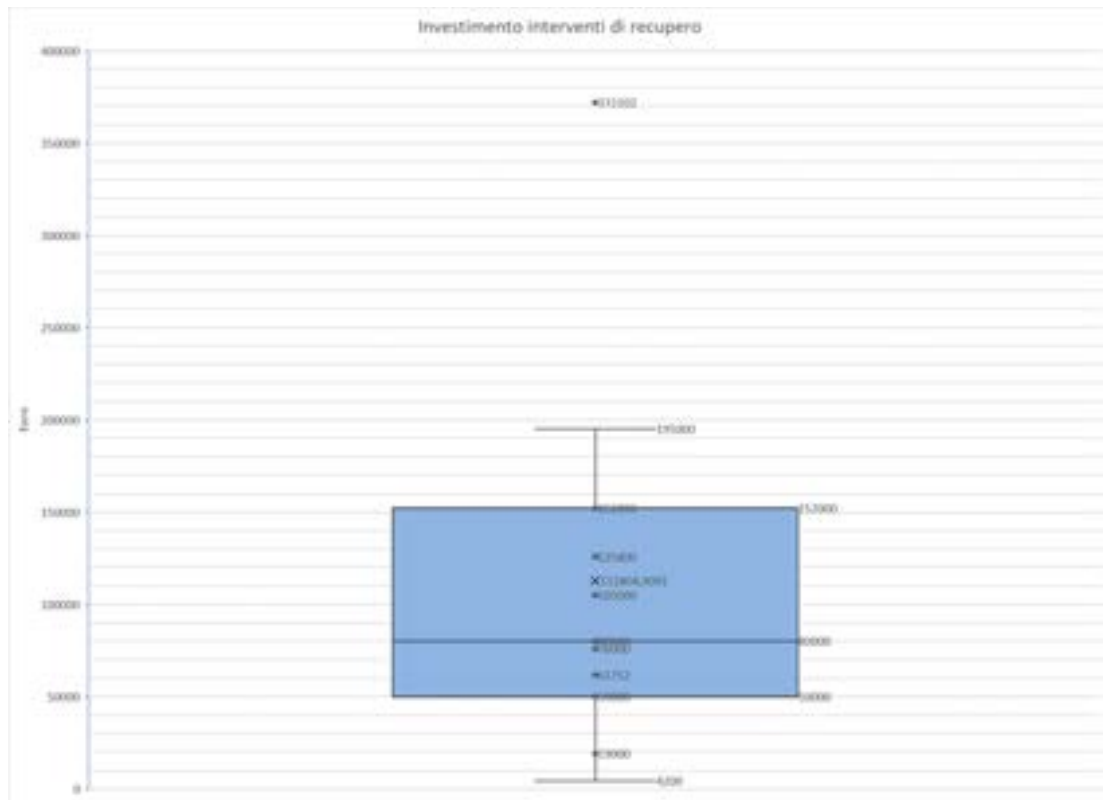


Figura 31: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore tessile

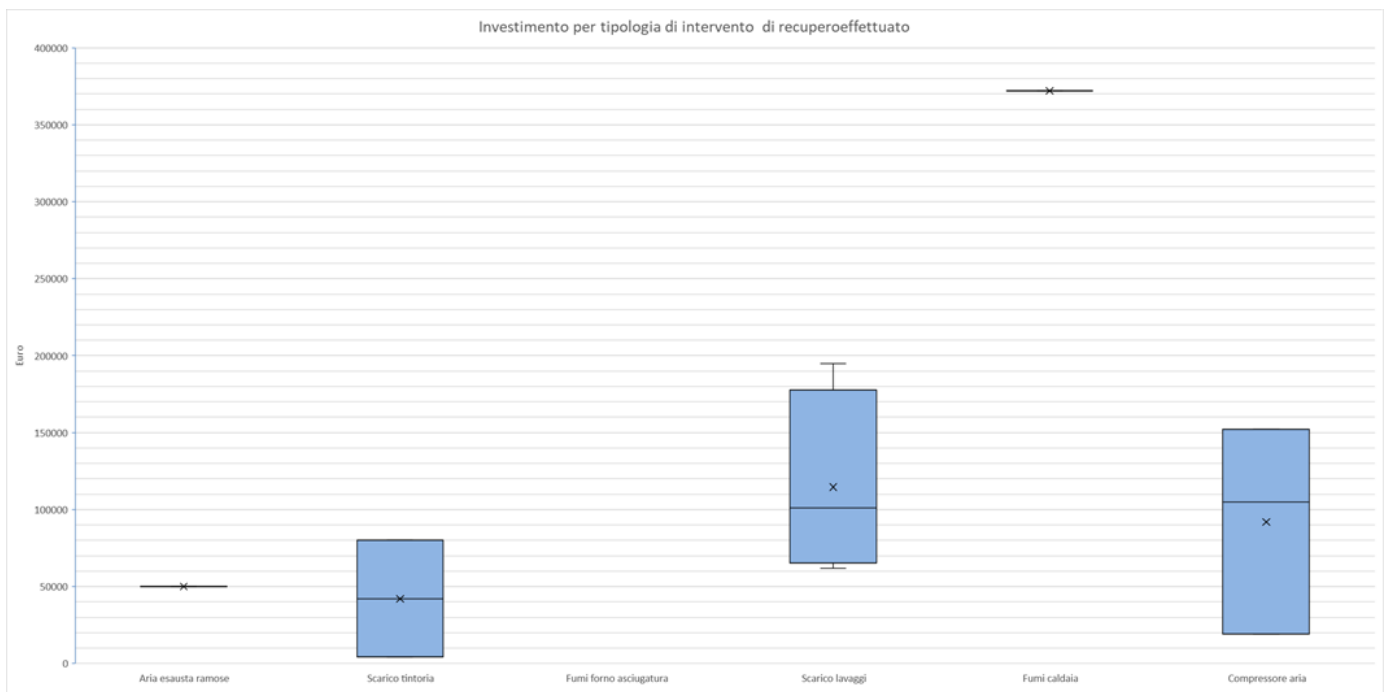


Figura 32: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore tessile

Tabella 21: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore tessile

	Compressore aria	Scarico lavaggi	Scarico tintoria	Aria esausta ramosa	Fumi caldaia
Dimensione campione	3	4	2	1	1
Minimo (Euro)	19.000,00	61.752,00	4.200,00	50.000,00	372.102,00
Quartile 1 (Euro)	62.000,00	72.438,00	23.150,00	50.000,00	372.102,00
Mediana (Euro)	105.000,00	100.900,00	42.100,00	50.000,00	372.102,00
Media (Euro)	92.000,00	114.638,00	42.100,00	50.000,00	372.102,00
Quartile 3 (Euro)	128.500,00	143.100,00	61.050,00	50.000,00	372.102,00
Massimo (Euro)	152.000,00	195.000,00	80.000,00	50.000,00	372.102,00

1.2.4 Analisi sugli interventi individuati

Nell’ambito delle diagnosi energetiche del settore tessile sono stati individuati 1314 potenziali interventi di risparmio energetico (Figura 33), raggruppati in 23 categorie di intervento principali. In particolare, alle 12 categorie definite nel caso degli interventi effettuati, sono state aggiunte due ulteriori tipologie di intervento, relative a:

- Power Quality;
- trasformatori.

Tra gli interventi individuati, oltre 400 riguardano l’efficientamento del sistema di illuminazione (236) e della centrale di produzione dell’aria compressa (193); seguono, in ordine di numerosità, gli interventi relativi al monitoraggio, organizzazione e formazione (173), i motori (149) e l’installazione di pannelli fotovoltaici (123). Per quanto riguarda il recupero dell’energia termica, sono stati individuati 71 interventi, di cui più di un terzo relativi ai servizi ausiliari ed in particolare agli impianti di produzione dell’aria compressa (19), e al recupero dei fumi dalle caldaie (12). Si veda a riguardi la Figura 34.

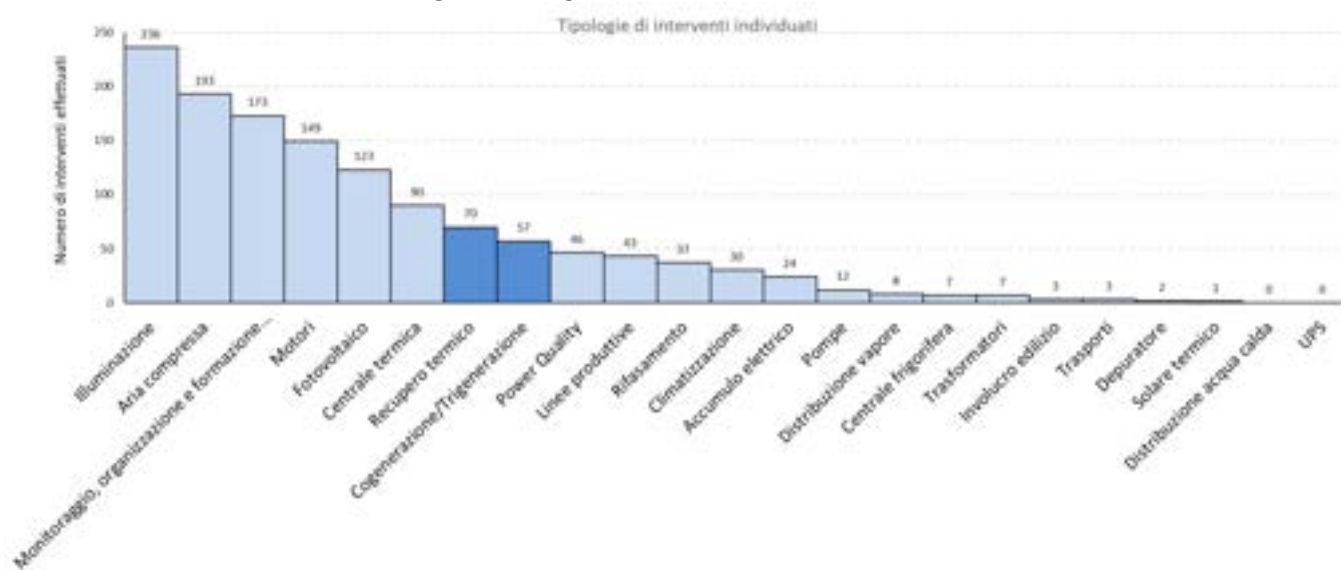


Figura 33: Numero e tipologia di interventi individuati nel settore tessile

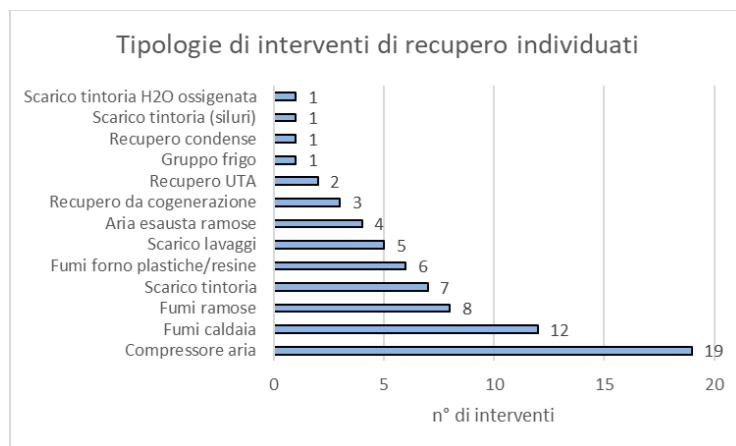


Figura 34: Numerosità e tipologie di interventi di recupero termico individuati nel settore tessile

Relativamente agli interventi individuati, le diagnosi energetiche hanno fornito informazioni più dettagliate rispetto a quelle presenti per gli interventi effettuati. In particolare, dal punto di vista energetico, nella maggior parte dei casi, sono stati definiti i risparmi di energia elettrica (e talvolta termica) e sono stati valutati il costo di investimento dei singoli interventi ed i principali indici di redditività, tra cui il valore attuale netto e il tempo di ritorno semplice.

Come evidenziato per gli interventi effettuati, in alcuni casi tali informazioni sono risultate solo parzialmente disponibili. Sulla base dei dati relativi ai risparmi di energia elettrica e termica, è stato possibile valutare, attraverso opportuni fattori di conversione ($1 \text{ kWh}_e = 0.187 \times 10^{-3} \text{ tep}$, $1 \text{ kWh}_t = 860 \times 10^{-7} / 0.9 \text{ tep}$) [10], il risparmio complessivo di energia primaria, espresso in tep/anno. A questo riguardo, la Figura 35 e la Tabella 22 mettono a confronto le funzioni di distribuzione dei risparmi annui di energia primaria per le diverse classi di intervento.

L'installazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione si conferma come l'intervento con il più elevato risparmio complessivo di energia primaria; come mostrato in Figura 35 e Tabella 22, mediamente questo tipo di interventi consente di avere risparmi dell'ordine dei 600 tep/anno, con punte di oltre 2000 tep/anno. La grande variabilità dei risparmi stimati è da imputare non solo alle differenti dimensioni degli impianti, ma anche alle differenze in termini di tecnologie implementate. Dal punto di vista economico, l'attenzione è stata focalizzata sul costo di investimento delle diverse categorie di intervento. Come evidenziato in Figura 36 e

Tabella 23, l'installazione o il retrofitting di impianti di cogenerazione e trigenerazione rappresenta l'intervento con il costo di investimento medio più elevato (1200 k€).

Il costo di investimento delle altre tipologie di intervento presenta oscillazioni più contenute.

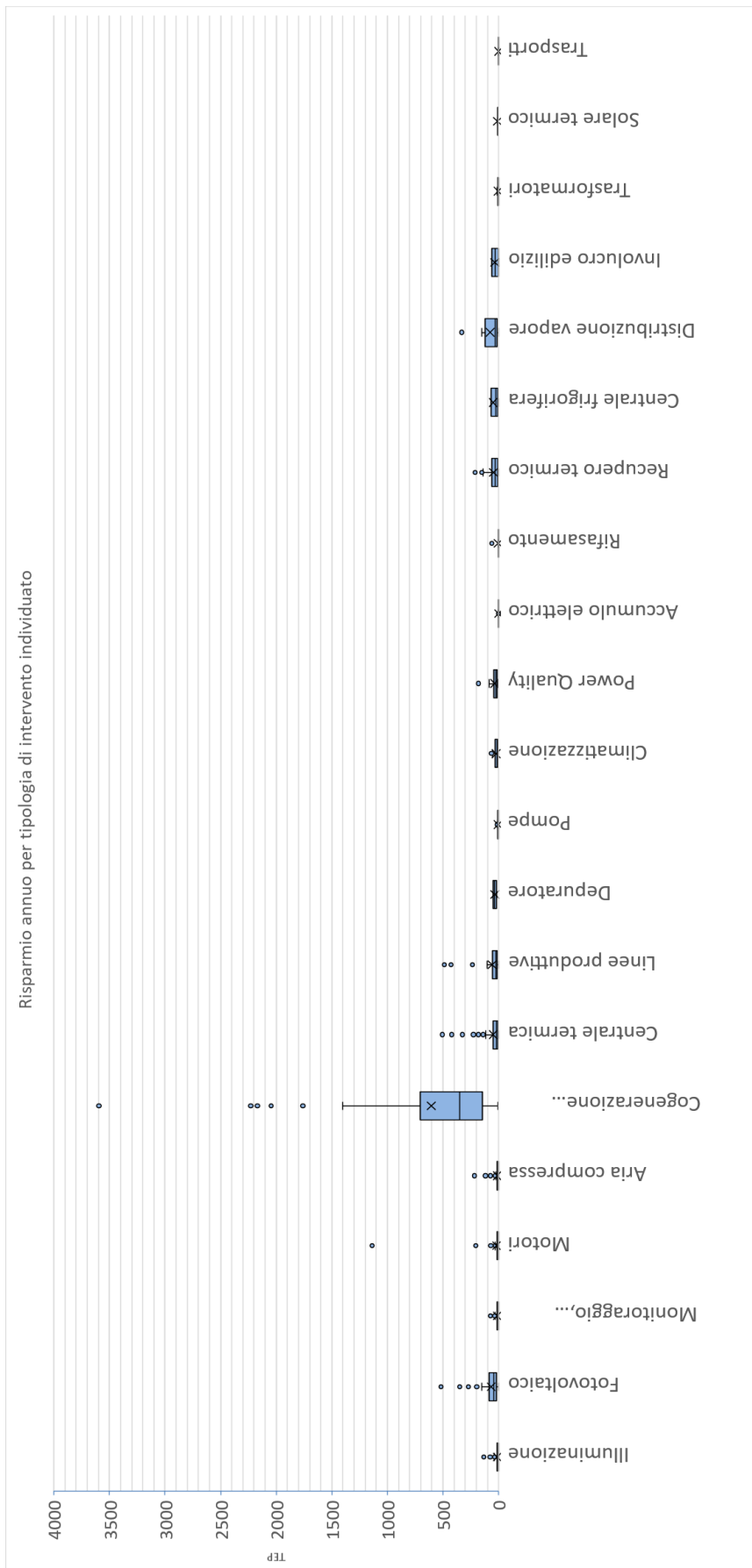


Figura 35: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria delle diverse classi di interventi individuati per il settore tessile



Figura 36: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di interventi individuati per il settore tessile

Tabella 22: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria delle diverse classi di interventi individuati per il settore tessile

	<i>Illuminazione</i>	<i>Aria compressa</i>	<i>Monitoraggio, organizzazione e formazione (ISO)</i>	<i>Motori</i>	<i>Fotovoltaico</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Recupero termico</i>	<i>Cogenerazione/T rigenerazione</i>	<i>Power Quality</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Rifasamento</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Accumulo elettrico</i>	<i>Pompe</i>	<i>Distribuzione vapore</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Trasformatori</i>	<i>Involucro edilizio</i>	<i>Trasporti</i>	<i>Depuratore</i>	<i>Solare termico</i>
Dimensione campione	227	18	148	14	118	80	67	46	45	42	33	30	24	12	8	7	7	2	3	2	1
Minimo (TEP/anno)	0,00	0,00	0,23	0,17	1,91	0,02	0,00	4,58	3,99	1,69	0,14	1,95	0,23	0,38	3,00	1,71	0,62	2,65	0,85	21,64	8,66
Quartile 1 (TEP/anno)	3,21	2,26	2,67	2,54	21,79	4,82	8,86	147,22	12,84	12,97	0,60	6,11	0,33	2,98	23,85	6,59	2,30	17,88	0,85	28,39	8,66
Mediana (TEP/anno)	7,00	5,33	6,24	5,67	42,50	16,75	30,40	351,80	24,56	27,52	0,86	15,71	0,57	5,43	32,04	26,20	3,80	33,11	0,85	35,15	8,66
Media (TEP/anno)	12,91	11,99	13,00	20,11	68,52	48,87	45,18	605,69	37,26	58,59	3,79	21,70	1,79	5,06	77,59	48,67	4,98	33,11	1,19	35,15	8,66
Quartile 3 (TEP/anno)	15,80	12,24	14,61	13,66	86,93	48,63	60,66	678,50	41,26	52,82	1,68	27,90	1,08	6,32	65,65	57,09	5,85	48,34	1,36	41,91	8,66
Massimo (TEP/anno)	131,93	21,77	100,20	1.136,39	519,00	505,33	211,50	3.595,70	210,52	487,00	58,90	98,74	20,03	13,37	331,01	185,42	14,15	63,57	1,88	48,67	8,66

Tabella 23: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di interventi individuati per il settore tessile

	<i>illuminazione</i>	<i>Aria compressa</i>	<i>Monitoraggio, organizzazione e</i>	<i>Motori</i>	<i>Fotovoltaico</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Recupero termico</i>	<i>Cogenerazione/Trigenerazione</i>	<i>Power Quality</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Rifasamento</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Accumulo elettrico</i>	<i>Pompe</i>	<i>Distribuzione vapore</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Trasformatori</i>	<i>Involucro edilizi</i>	<i>Trasporti</i>	<i>Depuratore</i>	<i>Solare termico</i>
Dimensioni campione	236	193	173	149	123	89	70	57	46	43	37	30	24	12	8	7	7	3	3	2	1
Minimo (Euro)	200,00	0,00	0,00	450,00	0,00	0,00	0,00	2.000,00	12.150,00	0,00	0,00	0,00	500,00	1.490,00	1.500,00	10.000,00	7.000,00	1.500,00	24.000,00	25.000,00	12.300,00
Quartile 1 (Euro)	9.115,84	1.500,00	4.000,00	4.800,00	138.040,00	2.080,00	8.500,00	465.000,00	46.962,50	21.400,00	1.000,00	8.500,00	700,00	6.500,00	6.625,00	30.450,00	13.000,00	3.200,00	24.000,00	38.750,00	12.300,00
Mediana (Euro)	20.000,00	5.000,00	5.000,00	13.100,00	225.000,00	15.000,00	32.500,00	750.000,00	63.055,00	41.400,00	1.675,00	44.800,00	1.250,00	11.000,00	20.600,00	50.000,00	17.000,00	5.000,00	24.000,00	52.500,00	12.300,00
Media (Euro)	36.740,63	13.913,21	83.060,79	27.517,81	337.592,44	65.225,44	49.732,86	1.208.274,02	80.901,85	370.815,12	3.217,57	70.814,75	3.888,25	12.006,50	38.087,00	107.271,43	20.029,57	28.236,00	24.000,00	52.500,00	12.300,00
Quartile 3 (Euro)	42.347,50	18.000,00	15.000,00	32.305,00	429.500,00	96.000,00	70.000,00	1.420.000,00	91.125,00	94.900,00	5.000,00	127.500,00	2.050,00	18.320,75	55.000,00	140.000,00	27.700,00	41.604,00	24.000,00	66.250,00	12.300,00
Massimo (Euro)	400.000,00	150.000,00	12.312,312,00	300.000,00	1.980.000,00	484.000,00	400.000,00	6.854.788,00	267.467,00	10.000,00	14.350,00	335.000,00	51.000,00	25.000,00	111.476,00	350.000,00	34.807,00	78.208,00	24.000,00	80.000,00	12.300,00

Per quanto riguarda gli indici di redditività, non si è ritenuto opportuno procedere ad un’analisi di dettaglio come nel caso dei costi di investimento, sia per il minor numero di dati a disposizione, sia per il fatto che tali grandezze non risultano direttamente confrontabili tra loro all’interno delle diverse categorie di intervento, essendo dipendenti dalle assunzioni relative ai parametri economici, tra cui la vita utile dell’intervento, il tasso di interesse e quello di inflazione, i costi dei vettori energetici impiegati (energia elettrica, gas naturale, ecc.) e il numero di ore di funzionamento dell’impianto.

Focalizzando l’attenzione sugli interventi di recupero di calore, la Figura 37 e la Figura 38, insieme alla Tabella 24, mettono in evidenza come i risparmi di energia primaria conseguibili presentino una certa variabilità anche all’interno della medesima tipologia di intervento, più o meno accentuata anche in rapporto alla numerosità dei casi di studio considerati. Tra gli interventi di recupero relativi ai servizi ausiliari, quelli realizzati in corrispondenza dell’impianto di cogenerazione offrono mediamente i risparmi più elevati (50 tep/anno). Rispetto al caso degli interventi sui servizi ausiliari, i risparmi associati agli interventi sulle linee produttive mostrano una variabilità più accentuata, dovuta principalmente alla molteplicità dei processi di recupero termico considerati.

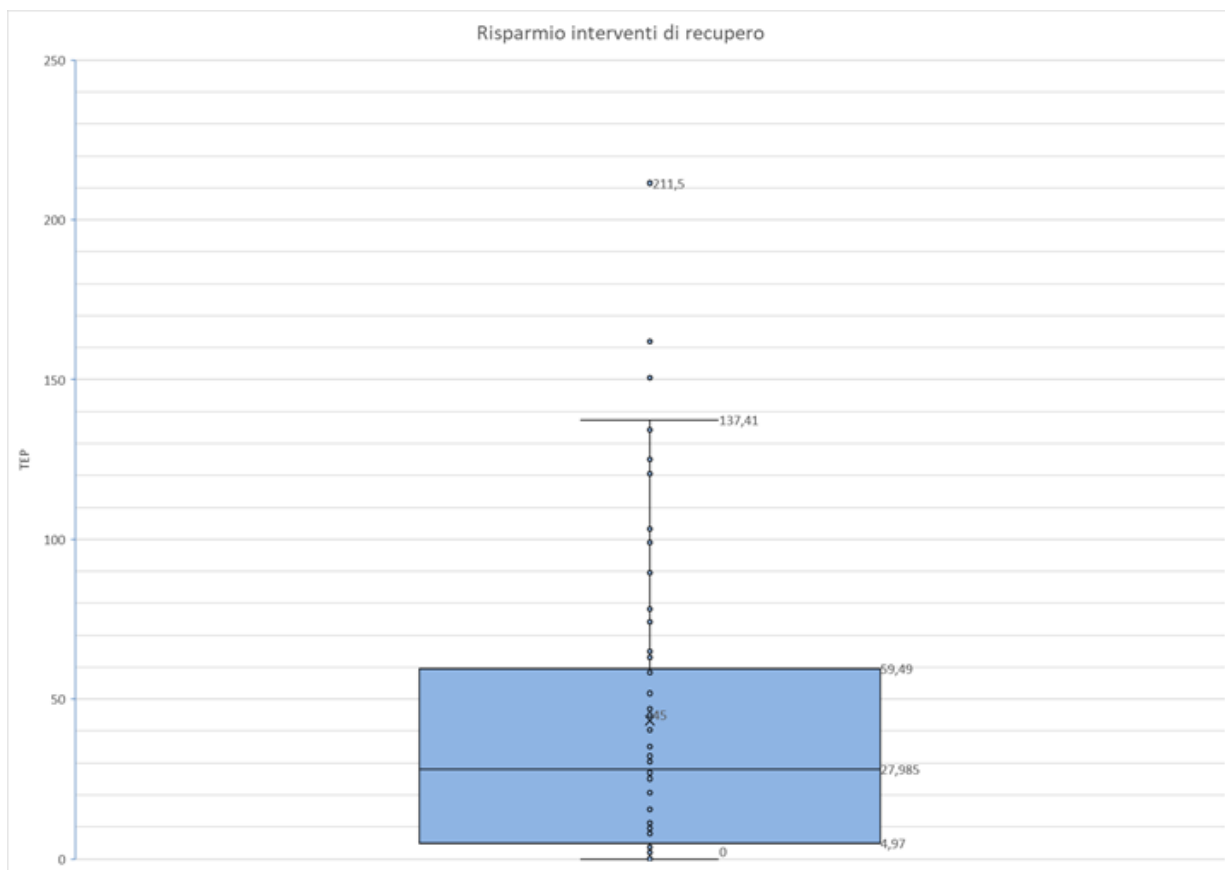


Figura 37: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi di recupero di calore individuati nel settore tessile

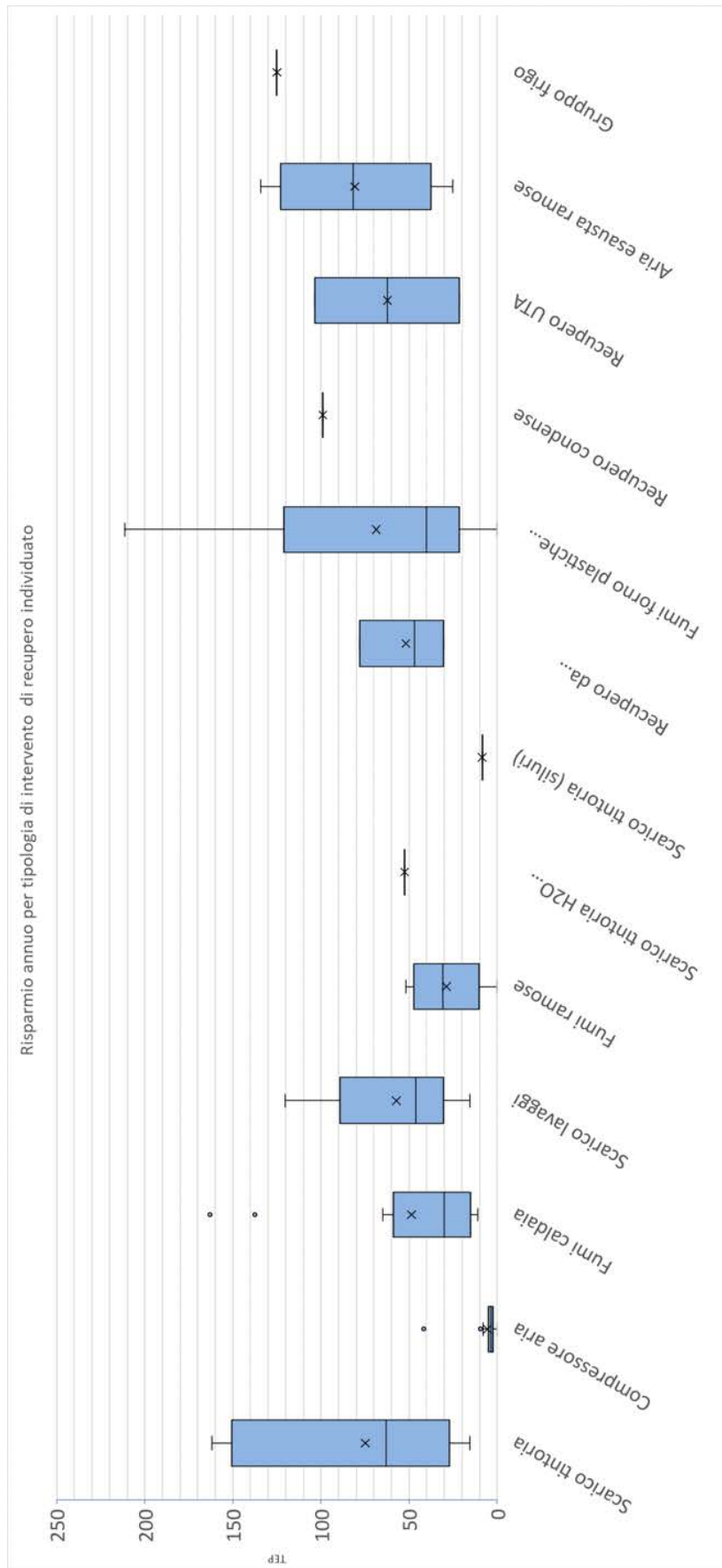


Figura 38: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore tessile

Tabella 24: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore tessile

	<i>Compressore aria</i>	<i>Fumi caldaia</i>	<i>Fumi ramose</i>	<i>Scarico tintoria</i>	<i>Fumi forno plastiche/resine</i>	<i>Scarico lavaggi</i>	<i>Aria esausta ramose</i>	<i>Recupero da cogenerazione</i>	<i>Recupero UTA</i>	<i>Gruppo frigo</i>	<i>Recupero condense</i>	<i>Scarico tintoria (siluri)</i>	<i>Scarico tintoria H2O ossigenata</i>
Dimensione campione	19	12	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1
Minimo (TEP/anno)	0,0 0	10,8 4	0,0 0	15,5 3	0,00	15,6 0	25,0 8	30, 40	21,2 8	125, 08	98, 98	8,4 5	52, 50
Quartile 1 (TEP/anno)	2,5 2	21,7 6	11, 87	33,8 2	30,0 8	45,0 0	61,9 4	38, 69	41,7 8	125, 08	98, 98	8,4 5	52, 50
Mediana (TEP/anno)	3,3 0	29,9 0	30, 87	63,0 0	40,3 3	46,3 4	81,8 8	46, 98	62,2 9	125, 08	98, 98	8,4 5	52, 50
Media (TEP/anno)	5,5 6	48,5 8	28, 67	74,8 4	68,5 5	57,1 5	80,7 9	51, 83	62,2 9	125, 08	98, 98	8,4 5	52, 50
Quartile 3 (TEP/anno)	4,7 3	46,5 5	46, 46	107, 86	79,4 6	58,3 2	100, 72	62, 55	82,7 9	125, 08	98, 98	8,4 5	52, 50
Massimo (TEP/anno)	41, 76	163, 00	51, 82	162, 00	211, 50	120, 50	134, 30	78, 12	103, 29	125, 08	98, 98	8,4 5	52, 50

Le Figura 39 e la Figura 40, insieme alla Tabella 25, mettono a confronto i costi di investimento degli interventi di recupero di calore operati sui servizi ausiliari (impianto di cogenerazione, condensatore evaporativo della centrale frigorifera, centrale dell'aria compressa) e sulle linee produttive. In particolare, si evidenzia che gli interventi di recupero di calore operati sugli impianti ausiliari presentano costi di investimento mediamente più bassi rispetto a quelli operati sulle linee di produzione.

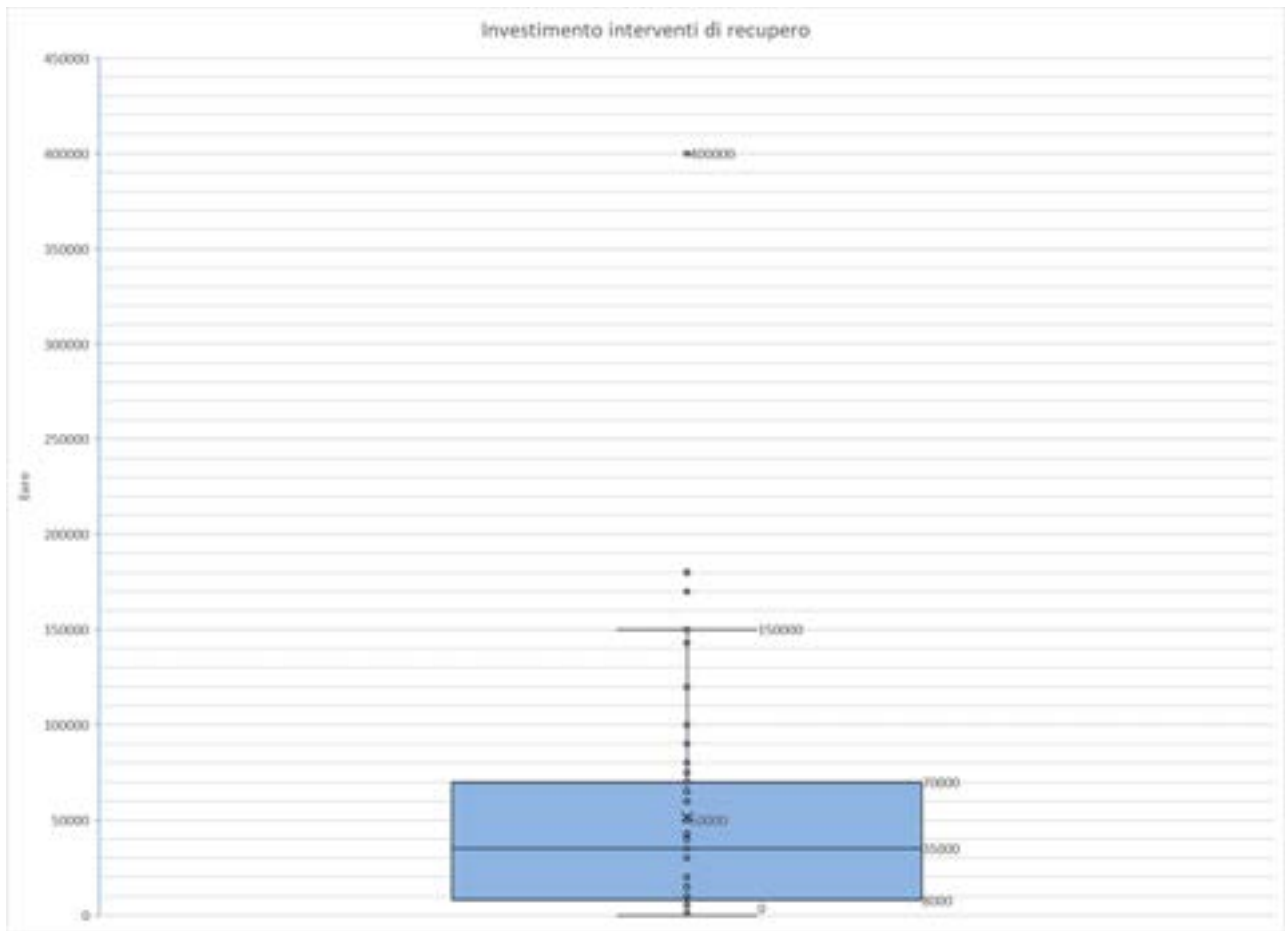


Figura 39: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore individuati nel settore tessile

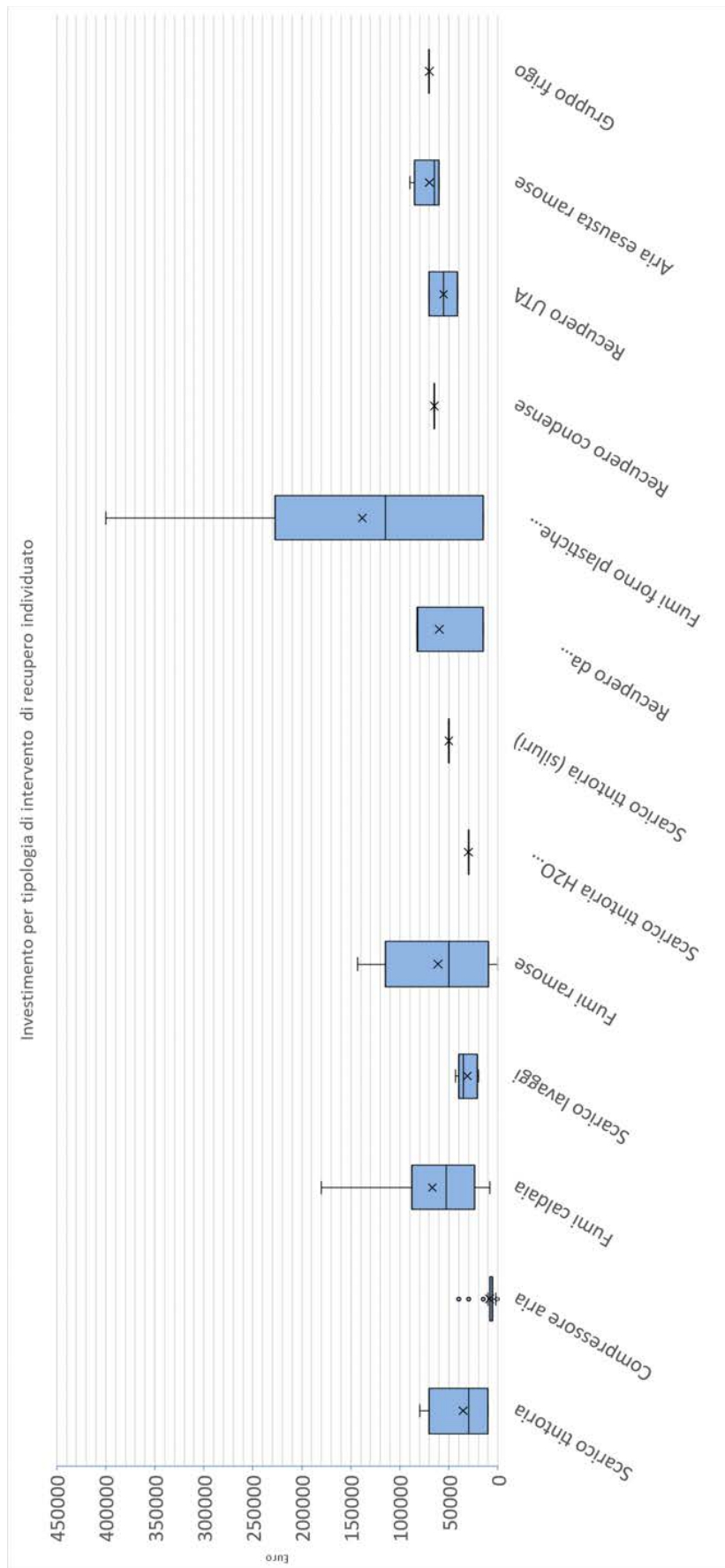


Figura 40: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore tessile

Tabella 25: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore tessile

	<i>Compressore aria</i>	<i>Fumi caldaia</i>	<i>Fumi ramose</i>	<i>Scarico tintoria</i>	<i>Fumi forno plastiche/resine</i>	<i>Scarico lavaggi</i>	<i>Aria esausta ramose</i>	<i>Recupero da cogenerazione</i>	<i>Recupero UTA</i>	<i>Gruppo frigo</i>	<i>Recupero condense</i>	<i>Scarico tintoria (siluri)</i>	<i>Scarico tintoria H2O ossigenata</i>
Dimensione campione	19	12	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1
Minimo	1.00 0,00	8.00 0,00	0,00	10.0 00,0 0	15.0 00,0 0	20.0 00,0 0	60.0 00,0 0	15.0 00,0 0	41.0 00,0 0	70.0 00,0 0	65.0 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0
Quartile 1	5.50 0,00	32.0 00,0 0	16.5 75,0 0	15.0 00,0 0	31.2 50,0 0	22.0 00,0 0	60.0 00,0 0	48.5 00,0 0	48.2 50,0 0	70.0 00,0 0	65.0 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0
Mediana	5.50 0,00	52.5 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0	115. 000, 00	35.0 00,0 0	65.0 00,0 0	82.0 00,0 0	55.5 00,0 0	70.0 00,0 0	65.0 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0
Media	8.73 6,84	67.0 00,0 0	61.1 62,5 0	35.7 14,2 9	138. 333, 33	31.3 00,0 0	70.0 00,0 0	59.8 33,3 3	55.5 00,0 0	70.0 00,0 0	65.0 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0
Quartile 3	6.75 0,00	82.5 00,0 0	105. 000, 00	50.0 00,0 0	165. 000, 00	36.5 00,0 0	75.0 00,0 0	82.2 50,0 0	62.7 50,0 0	70.0 00,0 0	65.0 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0
Massimo	40.0 00,0 0	180. 000, 00	143. 000, 00	80.0 00,0 0	400. 000, 00	43.0 00,0 0	90.0 00,0 0	82.5 00,0 0	70.0 00,0 0	70.0 00,0 0	65.0 00,0 0	50.0 00,0 0	30.0 00,0 0

Sempre con riferimento agli interventi di recupero termico, i dati estrapolati dalle diagnosi energetiche hanno permesso di definire delle correlazioni tra i risparmi di energia primaria ed i corrispondenti costi di investimento. A questo proposito, la Figura 41, la Figura 42 e la Figura 43 riportano l'andamento dei risparmi annuali di energia primaria in funzione del costo di investimento per gli interventi di recupero termico relativi alla centrale dell'aria compressa e alle linee produttive rispettivamente. In tutti e tre i casi, il risparmio cresce in maniera pressoché lineare con il costo di investimento.

Per le altre tipologie di recupero di calore i dati a disposizione non hanno consentito di stabilire alcuna relazione tra il risparmio annuale ed il relativo costo di investimento.

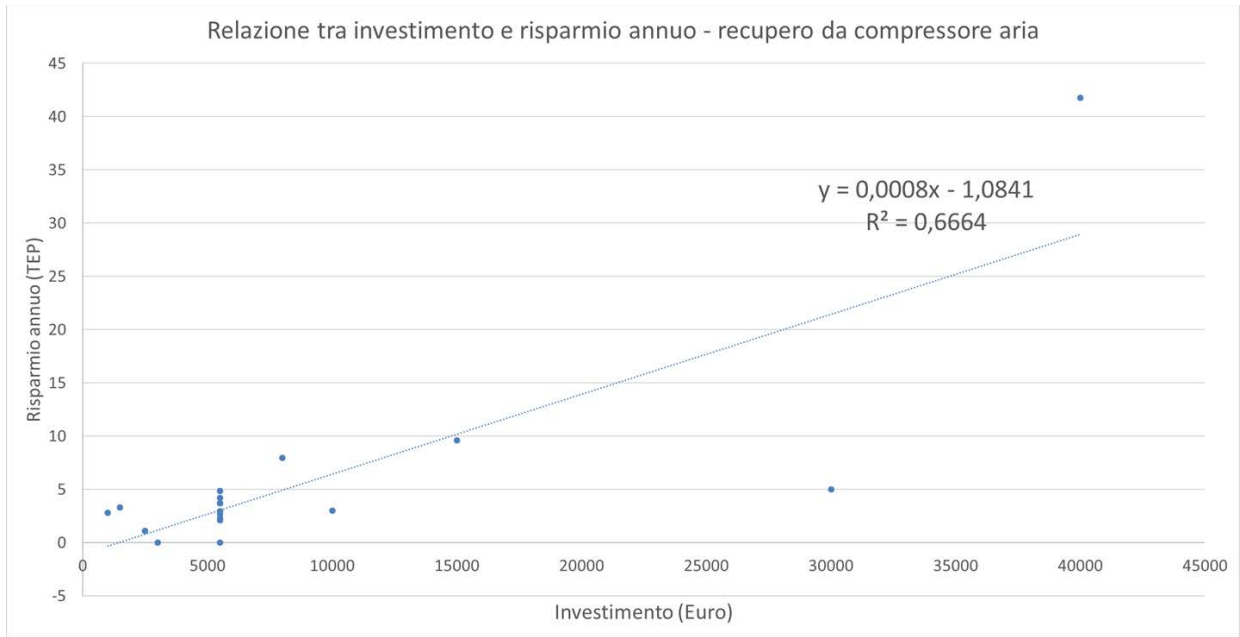


Figura 41: Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi alla centrale dell'aria compressa nel settore tessile

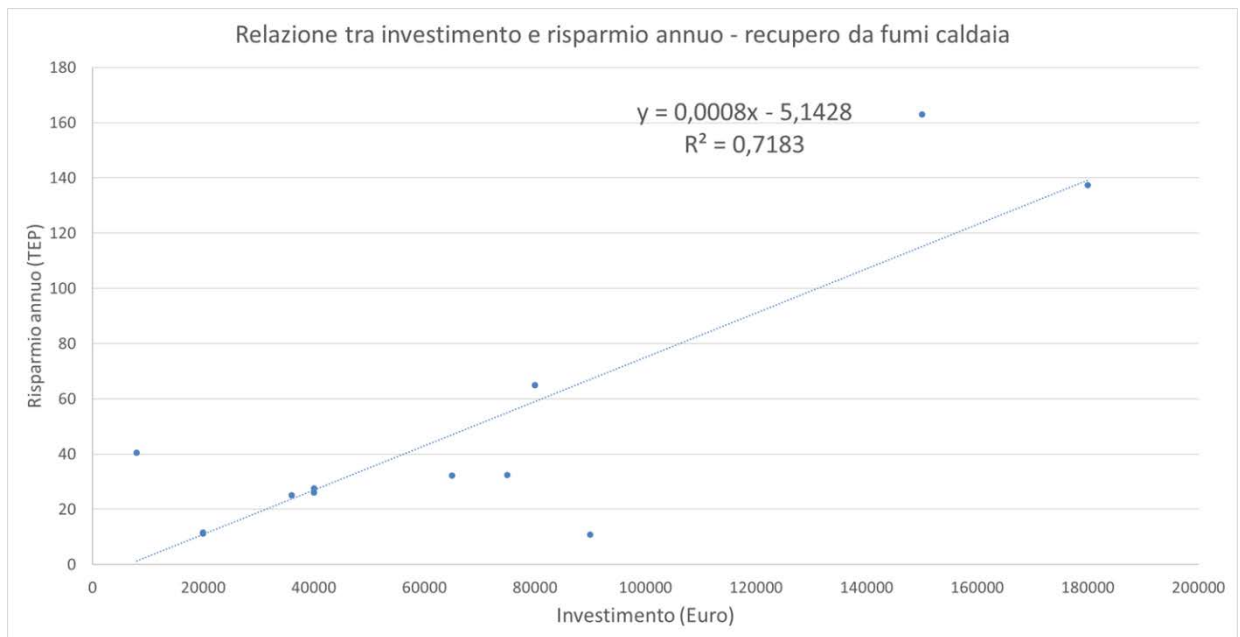


Figura 42: Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi ai fumi della caldaia nel settore tessile

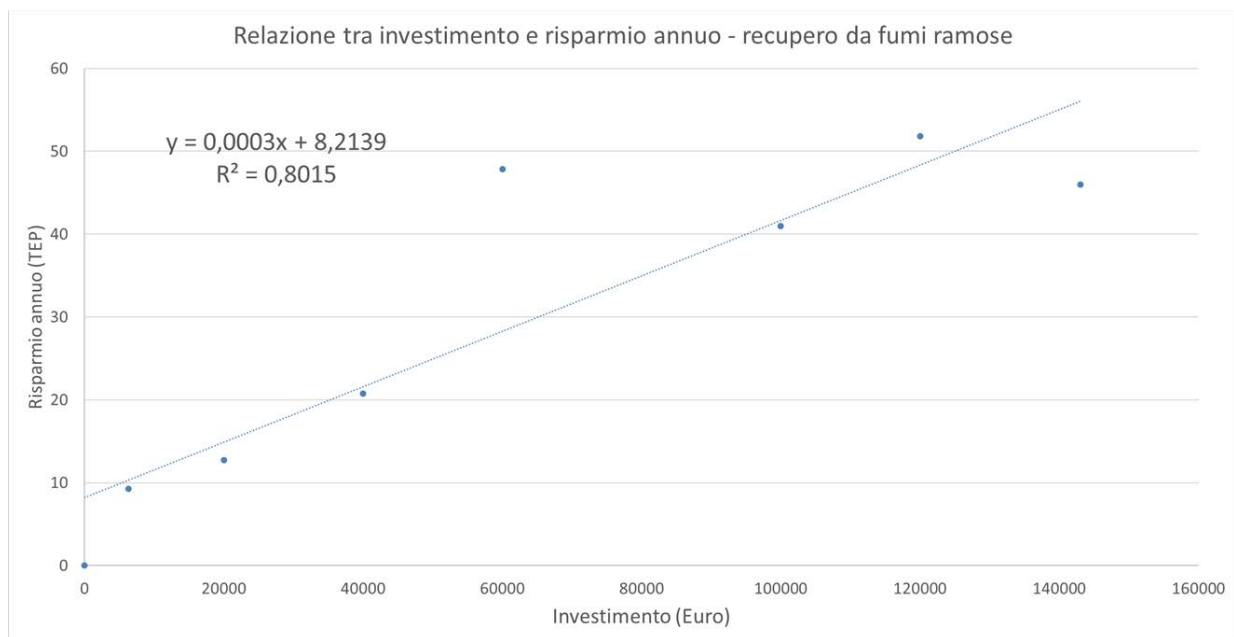


Figura 43: Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi ai fumi delle ramose nel settore tessile

Infine il diagramma a torta di Figura 44 evidenzia la ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di intervento di risparmio energetico. Rispetto al caso degli interventi realizzati, il contributo degli impianti di cogenerazione e trigenerazione aumenta in maniera significativa (arrivando al 40%), così come quello associato alla realizzazione di impianti fotovoltaici (24%); il valore associato agli interventi di recupero di calore rimane invece sostanzialmente invariato al 3%.

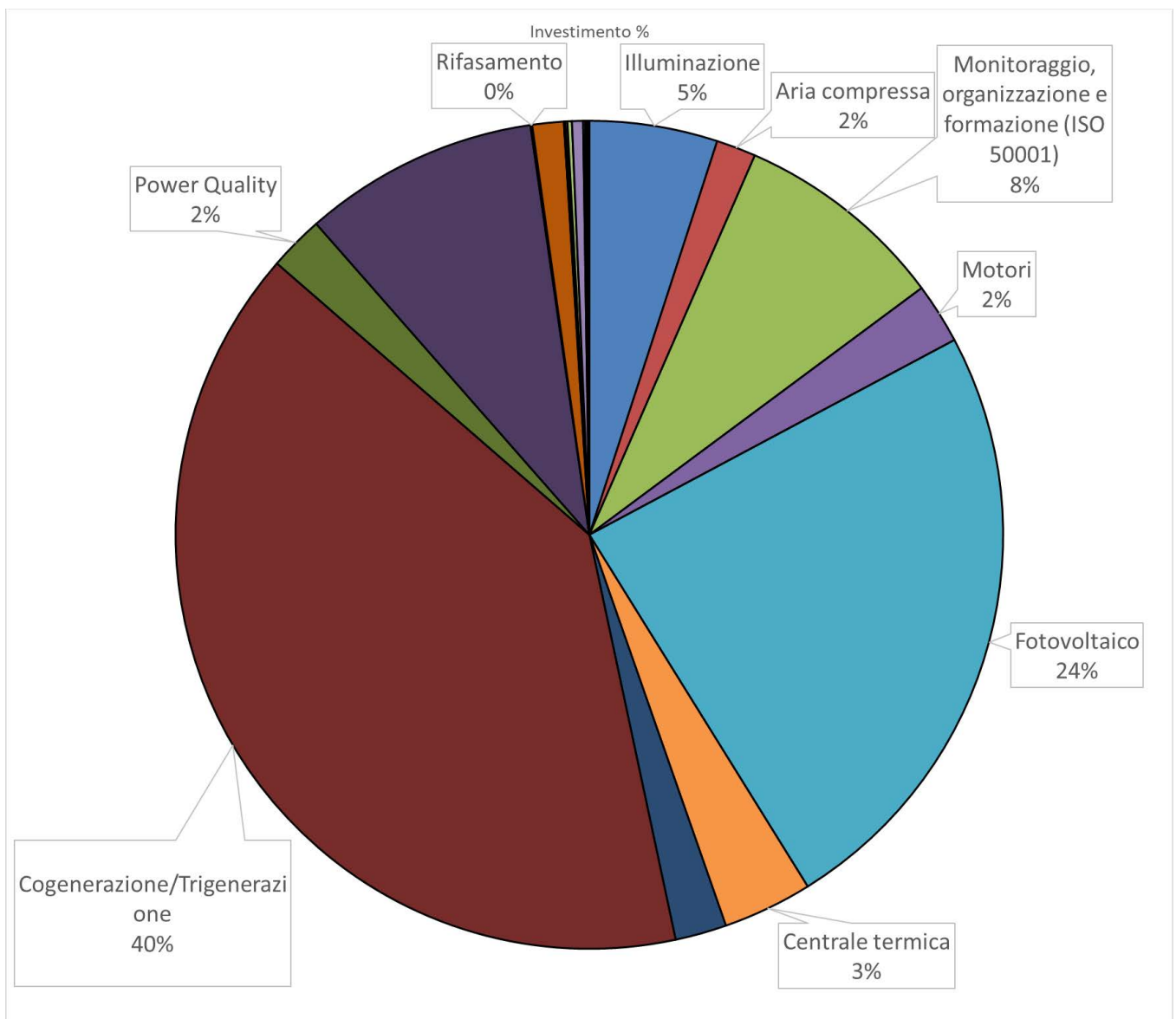


Figura 44: Ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi individuati nel settore tessile

1.2.5 Integrazione del database con i dati del settore

Il database dei casi di studio è stato ulteriormente arricchito attraverso l'integrazione dei dati relativi a 62 interventi di recupero termico effettuati e individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche del settore tessile, che presentavano dati sufficienti per risultare rappresentativi. Rispetto ai casi di studio individuati nella precedente annualità (relativi a progetti di recupero nei processi di produzione tessile), i nuovi casi di studio hanno fornito un quadro più esaustivo circa:

- le possibili soluzioni di recupero del calore di scarto generato nel processo o in seno ai diversi servizi ausiliari;
- i possibili utilizzi del calore recuperato;
- le tecnologie impiegate;
- le prestazioni energetiche ed economiche degli interventi proposti.

A questo proposito, la Tabella 26 mette in relazione i diversi interventi di recupero individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche ed i relativi utilizzi del calore di scarto. Si nota come, in tutte le soluzioni proposte,

il calore sia recuperato internamente allo stabilimento stesso, e molto spesso internamente rispetto alla medesima fase di processo (attraverso preriscaldi).

Tabella 26: Utilizzo del calore di scarto negli interventi di recupero di calore individuati nel settore tessile

Utilizzo del calore di scarto	Intervento di recupero								
	Compressore aria	Fumi caldaia	Fumi ramose	Scarico tintoria	Fumi forno plastiche/resine	Aria esausta forno	Scarico lavaggi	Aria esausta ramose	Recupero da cogenerazione
Riscaldamento ambienti	9	1	-	-	2	-	-	-	-
Alimentazione bruciapelo	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Tintoria/finissaggio	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Preriscaldamento caldaia	-	10	-	-	-	-	-	-	-
Produzione ACS	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Preriscaldamento aria comburente ramose	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Preriscaldamento aria reintegro ramose	-	-	2	-	-	-	-	1	-
Produzione energia elettrica	-	-	1	-	2	-	-	-	-
Preriscaldamento tintoria	-	-	-	8	-	-	-	-	-
Preriscaldamento aria comburente forno	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Preriscaldamento aria ingresso forno	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Preriscaldamento acqua lavaggio	-	-	-	-	-	-	5	-	-
Concentratore ad assorbimento della soluzione reflua	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Raffrescamento ambiente magazzino	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Vasche di tintura	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Nel caso del settore tessile non sono state eseguite ulteriori analisi sulle tipologie di tecnologie utilizzate negli interventi di recupero in quanto praticamente tutte riconducibili a scambiatori di calore. Il grafico in Figura 45, insieme alla Tabella 27, fornisce invece dettagli sulla temperatura del calore di scarto (e sulla sua variabilità) per quanto riguarda gli interventi di recupero termico effettuati e individuati.

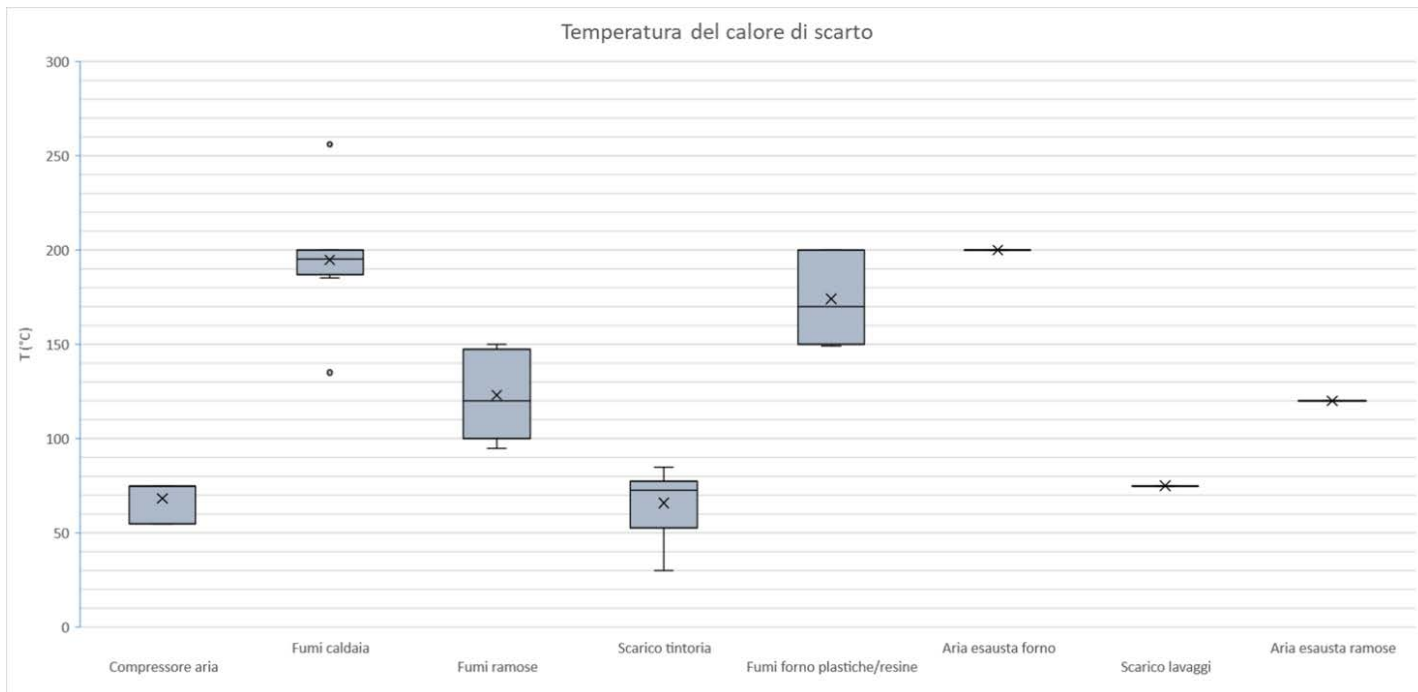


Figura 45: Temperatura del calore di scarto nelle diverse tipologie di interventi di recupero termico effettuati e individuati nel settore tessile

Tabella 27: Temperatura del calore di scarto nelle diverse tipologie di interventi di recupero termico effettuati e individuati nel settore tessile

	Compressore e aria	Fumi caldaia	Fumi ramose	Scarico tintoria	Fumi forno plastiche/resine	Aria esausta forno	Scarico lavaggi	Aria esausta ramose
Dimensione campione	3	8	5	6	5	1	1	1
Minimo (°C)	55,00	135,00	95,00	30,00	149,00	200,00	75,00	120,00
Quartile 1 (°C)	65,00	190,25	105,00	62,50	151,00	200,00	75,00	120,00

Mediana (°C)	75,00	195,00	120,00	72,50	170,00	200,00	75,00	120,00
Media (°C)	68,33	194,75	123,00	65,83	174,00	200,00	75,00	120,00
Quartile 3 (°C)	75,00	200,00	145,00	75,00	200,00	200,00	75,00	120,00
Massimo (°C)	75,00	256,00	150,00	85,00	200,00	200,00	75,00	120,00

Infine, le tabelle seguenti riportano i dati degli interventi di recupero di calore estrapolati dalle diagnosi energetiche e inseriti nel database dei casi di studio; in particolare, per ciascun caso, sono riportati i dati inerenti al tipo di settore e al sotto-settore coinvolti (Tabella 28), al processo che produce il calore di scarto (Tabella 29), alla tecnologia che opera il recupero e l'eventuale trasformazione del calore di scarto (Tabella 30), e al processo che riceve il calore recuperato (Tabella 31).

Tabella 28. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore tessile: caratterizzazione dei settori

Identificativo		Aziende				
ID doc	ID caso	Ref.	Riferimento geografico	Settori coinvolti (produzione calore)	Sottosettore	Altri settori coinvolti (utilizzo calore)
1	1		Italia	Tessile	Tessitura	
1	2		Italia	Tessile	Tessitura	
2	3		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
3	4		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
4	5		Italia	Tessile	Preparazione e filatura di fibre tessili	
5	6		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
5	7		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
6	8		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
6	9		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
6	10		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
6	11		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
7	12		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
7	13		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
8	14		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
9	15		Italia	Tessile	Tessitura	
9	16		Italia	Tessile	Tessitura	
10	17		Italia	Tessile	Tessitura	
11	18		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
11	19		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
12	20		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
13	21		Italia	Tessile	Tessitura	
14	22		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
14	23		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
14	24		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività simili	
15	25		Italia	Tessile	Tessitura	
16	26		Italia	Tessile	Tessitura	

17	27		Italia	Tessile	Tessitura	
18	28		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
19	29		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
20	30		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
20	31		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
21	32		Italia	Tessile	Tessitura	
21	33		Italia	Tessile	Tessitura	
22	34		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
22	35		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
23	36		Italia	Tessile	Tessitura	
24	37		Italia	Tessile	Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
25	38		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
26	39		Italia	Tessile	Tessitura	
27	40		Italia	Tessile	Preparazione e filatura di fibre tessili	
28	41		Italia	Tessile	Preparazione e filatura di fibre tessili	
29	42		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
30	43		Italia	Tessile	Tessitura	
31	44		Italia	Tessile	Tessitura	
32	45		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
33	46		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
34	47		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
35	48		Italia	Tessile	Preparazione e filatura di fibre tessili	
36	49		Italia	Tessile	Finissaggio dei tessuti, degli articoli di vestiario e attività similari	
37	50		Italia	Tessile	Fabbricazione di altri articoli tessili tecnici ed industriali	
38	51		Italia	Tessile	Tessitura	
39	52		Italia	Tessile	Tessitura	
40	53		Italia	Tessile	Tessitura	
41	54		Italia	Tessile	Tessitura	
42	55				Fabbricazione di tessuti a maglia	
43	56				Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
44	57				Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
45	58				Tessitura	
46	59				Fabbricazione di tessuti non tessuti e di articoli in tali materie (esclusi gli articoli di abbigliamento)	
47	60				Preparazione e filatura di fibre tessili	
48	61				Preparazione e filatura di fibre tessili	
48	62				Preparazione e filatura di fibre tessili	

Tabella 29. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore tessile: caratterizzazione dei processi con produzione di calore di scarto

Identificativo			Produzione calore di scarto					
ID doc	ID caso	Ref.	Processo che genera calore di scarto	Vettore	Quantità (potenza termica o	Stagionalità	Temperatura	Portata

					calore prodotto)			
1	1	Macchina per l'asciugatura continua (ramosa)	Aria esausta	150 kWt	La macchina è in funzione l'80% dei giorni lavorativi, con un fattore di carico di circa il 60%	145°C	15000 m3/h	
1	2	Scarichi caldi tintoria e raffreddamenti indiretti	Acqua		Tutto l'anno			
2	3	Asciugatura	Fumi			105°C	13000 m3/h	
3	4	Preparazione, mercerizzo, lavaggio sbozzimato	Acqua					
4	5	Macchina tintoria	Acqua			70°C	400 m3/giorno	
5	6	Compressore aria	Olio di lubrificazione	27206 kcal/ora	1600 ore di funzionamento o all'anno			
5	7	Caldaia a vapore	Fumi			200°C		
6	8	Compressore aria	Olio di lubrificazione	25736 kcal/ora	1800 ore di funzionamento o all'anno			
6	9	Macchina tintoria	Acqua			75°C	13800 litri/giorno	
6	10	Lavaggio	Acqua				9720 mc/anno	
6	11	Macchina ramosa	Fumi			120°C		
7	12	Compressore aria	Olio di lubrificazione	23530 kcal/ora	1200 ore di funzionamento o all'anno			
7	13	Caldaia	Fumi			256°C	3101308 Nm3/anno	
8	14	Compressore aria	Olio di lubrificazione	29412 kcal/ora	1200 ore di funzionamento o all'anno			
9	15	Caldaia a vapore	Fumi	126821656 kcal/anno		200°C		
9	16	Macchina ramosa	Fumi	233077292 kcal/anno		95°C	24694 Nm3/ora	
10	17	Compressore aria	Olio di lubrificazione					
11	18	Compressore aria	Olio di lubrificazione	15441 kcal/h	1800 ore di funzionamento o all'anno			
11	19	Caldaia a vapore	Fumi			195°C	13315277 Nm3/anno	
12	20	Caldaia a vapore	Fumi			195°C		
13	21	Macchina tintoria	Acqua			60°C	560 m3/giorno	
14	22	Macchina tintoria	Acqua e acqua ossigenata		2000 ore di funzionamento o all'anno	85°C		
14	23	Macchina tintoria	Acqua			30°C	36000 mc/anno	
14	24	Macchina tintoria	Acqua			75°C	90000 litri/anno	
15	25	Raffreddamento siluri	Acqua					
16	26	Compressore aria	Olio di lubrificazione	18383 kcal/h	1200 ore di funzionamento o all'anno	75°C		
17	27	Compressore aria	Olio di lubrificazione	16177 kcal/h	1600 ore di funzionamento o all'anno	75°C		
18	28	Macchina tintoria	Acqua					
19	29	Macchina ramosa	Fumi					
20	30	Caldaia	Fumi					
20	31	Macchina ramosa	Fumi					

21	32		Lavaggio	Acqua				
21	33		Macchina ramosa	Fumi				
22	34		Cogeneratore					
22	35		Cogeneratore					
23	36		Forno	Fumi		5760 ore di funzionamento o all'anno	200°C	6500 Nm3/h
24	37		Forno	Fumi			200°C	35309648 kg/anno
25	38		Compressore aria					
26	39		Compressore aria	Aria di raffreddamento				
27	40		Cogeneratore	Acqua				
28	41		Lavaggio	Acqua				
29	42		Macchina ramosa	Fumi		2544 ore di funzionamento o all'anno	150°C	15 kg/s
30	43		Compressore aria		100 kW	5800 ore di funzionamento o all'anno		
31	44		Compressore aria	Acqua di raffreddamento	220916 kWh/anno		55°C	
32	45		Caldaia	Fumi				
33	46		Caldaia	Fumi			192°C	3411-7797 kg/h
34	47		Caldaia	Fumi			185°C	
35	48		Compressore aria	Acqua di raffreddamento	164268 kWh/anno			
36	49		Macchina ramosa	Aria esausta		2300 ore di funzionamento o all'anno	120°C	18200 kg/ora
37	50		Forno	Aria esausta	1354 kW		200°C	
38	51		Climatizzazione sala bianca	Aria esausta				15800 m3/ora
39	52		Compressore aria	Acqua di raffreddamento	150 kWt	1600 ore di funzionamento o all'anno		
40	53		Lavaggio	Acqua		2250 ore di funzionamento o all'anno		
41	54		Compressore aria	Olio di lubrificazione				
42	55		Caldaia	Fumi				
43	56		Forno	Fumi		5489 ore di funzionamento o all'anno	151°C	10800 m3/ora
44	57		Forno	Fumi		5489 ore di funzionamento o all'anno	149°C	10600 m3/ora
45	58		Lavaggio	Acqua			75°C	
46	59		Forno	Fumi			170°C	13980 Nmc/ora
47	60		Caldaia	Fumi			135°C	
48	61		Gruppo frigo	Fluido condensante				
48	62		Caldaia	Fumi				

Tabella 30. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore tessile: caratterizzazione delle tecnologie di recupero di calore impiegate

Identificativo

Processo di recupero

ID doc	ID caso	Ref.	Tecnologia di recupero impiegata	Tecnologia di recupero impiegata	Stadio di sviluppo della tecnologia	Vettore di scambio	Quantità vettore di scambio
1	1		Recuperatore di calore aria/aria	Recuperatore di calore aria/aria	Tecnologia consolidata	Aria temperatura ambiente	
1	2		Scambiatore autopulente acqua/acqua	Scambiatore autopulente acqua/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua temperatura ambiente	
2	3					Acqua	

3	4	Scambiatori a fascio tubiero con tubi componibili e sistema di autopulizia	Scambiatori a fascio tubiero con tubi componibili e sistema di autopulizia	Tecnologia consolidata		
4	5	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
5	6	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
5	7	Scambiatore aria/acqua	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
6	8	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
6	9	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua a temperatura ambiente	
6	10	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua a temperatura ambiente	
6	11	Recuperatore di calore aria/aria	Recuperatore di calore aria/aria	Tecnologia consolidata	Aria a temperatura ambiente	
7	12	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
7	13	Scambiatore aria/acqua	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
8	14	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
9	15	Scambiatore aria/acqua	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
9	16	Recuperatore di calore aria/aria	Recuperatore di calore aria/aria	Tecnologia consolidata	Aria a temperatura ambiente	
10	17	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
11	18	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
11	19	Scambiatore aria/acqua	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
12	20	Scambiatore aria/acqua	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
13	21	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
14	22	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
14	23	Serbatoio in vetroresina	Serbatoio in vetroresina	Tecnologia consolidata	Acqua	
14	24	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
15	25	Serbatoio di recupero	Serbatoio di recupero	Tecnologia consolidata	Acqua	
16	26	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
17	27	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
18	28	Scambiatore con eventuale serbatoio di accumulo	Scambiatore con eventuale serbatoio di accumulo	Tecnologia consolidata	Acqua	
19	29	Scambiatore a fascio tubiero	Scambiatore a fascio tubiero	Tecnologia consolidata	Aria	
20	30	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
20	31	Scambiatore a flusso incrociato	Scambiatore a flusso incrociato	Tecnologia consolidata	Aria	
21	32	Recuperatore autopulente	Recuperatore autopulente	Tecnologia consolidata	Acqua	
21	33	Scambiatore a flusso incrociato	Scambiatore a flusso incrociato	Tecnologia consolidata	Aria	
22	34	Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
22	35	Assorbitore	Assorbitore	Tecnologia consolidata	Fluido assorbente	

23	36		Scambiatore aria/acqua e ORC	Scambiatore aria/acqua e ORC	Tecnologia consolidata	Acqua	
24	37		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Aria	
25	38						
26	39						
27	40		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
28	41		Scambiatore autopulente	Scambiatore autopulente	Tecnologia consolidata	Acqua	
29	42		ORC	ORC	Tecnologia consolidata	R134a	
30	43		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
31	44		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata		
32	45		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
33	46		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
34	47		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
35	48		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata		
36	49		Scambiatore fumi acqua a pacco alettato in controcorrente	Scambiatore fumi acqua a pacco alettato in controcorrente	Tecnologia consolidata	Acqua	
37	50		Circuiti idronici	Circuiti idronici	Tecnologia consolidata	Acqua	
38	51		Recuperatore statico a flussi incrociati	Recuperatore statico a flussi incrociati	Tecnologia consolidata	Aria	
39	52		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
40	53		Scambiatore con eventuale serbatoio di accumulo	Scambiatore con eventuale serbatoio di accumulo	Tecnologia consolidata	Acqua	
41	54		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata		
42	55		Recuperatore fumi-acqua	Recuperatore fumi-acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
43	56		Scambiatore fumi-aria	Scambiatore fumi-aria	Tecnologia consolidata	Aria	
44	57		Scambiatore fumi-aria	Scambiatore fumi-aria	Tecnologia consolidata	Aria	
45	58		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
46	59		Scambiatore aria/acqua e ORC	Scambiatore aria/acqua e ORC	Tecnologia consolidata	Acqua	
47	60		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
48	61		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	
48	62		Scambiatore	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua	

Tabella 31. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore tessile: caratterizzazione dei processi che utilizzato il calore di scarto

Identificativo			Utilizzo calore di scarto				
ID doc	ID caso	Ref.	Processo che riceve calore	Interno/ esterno	Valorizzazione calore di scarto	Quantità (flusso, potenza o energia prodotta)	Temperatura utilizzo
1	1		Macchina per l'asciugatura continua (ramosa)	Interno	Energia termica	15000 m3/h	L'aria esterna a temperatura ambiente viene preriscaldata a 100 °C considerando

							il recupero dalla fase di asciugamento o a 170 °C considerando il recupero dalla fase di termofissaggi o e poi inviata ad un'ulteriore fase di riscaldamento o tramite bruciatori
1	2		Tintoria e finissaggio a umido	Interno	Energia termica	2300 m3/mese	45°C
2	3		Asciugatura (aria comburente)	Interno	Energia termica		60°C
3	4						
4	5		Macchina tintoria	Interno	Energia termica	450 m3/giorno	52-62°C
5	6		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		
5	7		Caldaia a vapore (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		120°C
6	8		Alimentazione bruciapelo	Interno	Energia termica		
6	9		Macchina tintoria	Interno	Energia termica		
6	10		Lavaggio	Interno	Energia termica		80°C
6	11		Macchina ramosa (preriscaldamento aria comburente)	Interno	Energia termica		40°C
7	12			Interno	Energia termica		
7	13		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		120°C
8	14			Interno	Energia termica		
9	15		Caldaia a vapore (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		120°C
9	16		Macchina ramosa (preriscaldamento aria comburente)	Interno	Energia termica		40°C
10	17			Interno	Energia termica		
11	18			Interno	Energia termica		
11	19		Caldaia a vapore (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		120°C
12	20		Caldaia a vapore (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		120°C
13	21		Macchina tintoria	Interno	Energia termica	1000 m3/giorno	50°C
14	22		Macchina tintoria	Interno	Energia termica	15 mc/ora	50°C
14	23		Macchina tintoria	Interno	Energia termica	18000 mc/anno	
14	24		Macchina tintoria	Interno	Energia termica	27000 mc/anno	
15	25		Raffreddamento siluri	Interno	Energia termica		
16	26		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		
17	27		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		
18	28		Macchina tintoria o riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	343,1 MWh/anno	
19	29		Macchina ramosa (preriscaldamento aria comburente)	Interno	Energia termica		
20	30		Caldaia (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		
20	31		Macchina ramosa (preriscaldamento aria pulita di reintegro)	Interno	Energia termica		
21	32		Lavaggio	Interno	Energia termica		
21	33		Macchina ramosa (preriscaldamento aria pulita di reintegro)	Interno	Energia termica		
22	34		Concentratore ad assorbimento della soluzione reflua	Interno	Energia termica		
22	35		Raffrescamento ambiente magazzino	Interno	Energia termica		
23	36		Produzione energia elettrica	Interno	Energia elettrica	239155 kWhe	
24	37		Forno (preriscaldamento aria comburente)	Interno	Energia termica	1021155014 kcal/anno	150°C
25	38		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	35045 kWht/anno	
26	39		Riscaldamento ambiente magazzino	Interno	Energia termica		
27	40		Vasche di tintura	Interno	Energia termica		90°C
28	41		Lavaggio	Interno	Energia termica		
29	42		Produzione energia elettrica	Interno	Energia elettrica		
30	43		Tintoria/finissaggio	Interno	Energia termica	464000 kWht/anno	
31	44		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	154641 kWht/anno	

32	45		Caldaia (riscaldamento acqua per reintegri condense)	Interno	Energia termica		
33	46		Caldaia (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		
34	47		Caldaia (preriscaldamento)	Interno	Energia termica	5 mc/h di acqua a 65 °C	85°C
35	48		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	57494 kWh/anno	
36	49			Interno	Energia termica		80°C
37	50		Forno (preriscaldamento aria in ingresso)	Interno	Energia termica		
38	51		Climatizzazione sala bianca	Interno	Energia termica		
39	52		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		
40	53		Lavaggio	Interno	Energia termica	221 kW	
41	54		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		
42	55		Caldaia (riscaldamento acqua per reintegri condense)	Interno	Energia termica		
43	56		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	100 kW	
44	57		Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	100 kW	
45	58		Lavaggio	Interno	Energia termica		
46	59		Produzione energia elettrica	Interno	Energia elettrica	308,958 kWt	
47	60		Produzione acqua calda sanitaria	Interno	Energia termica	360000 kWh/anno	
48	61			Interno	Energia termica		45°C
48	62		Caldaia (preriscaldamento)	Interno	Energia termica		

Ulteriori informazioni utili ricavate dall'analisi dei PDF delle diagnosi energetiche e relative a principali barriere, soluzioni identificate per superarle e considerazioni generali utili per la fase di valutazione e implementazione sono riportate di seguito:

- In un caso, nella situazione antecedente all'intervento di recupero termico, l'acqua allo scarico del processo tintorio veniva già recuperata, ma il calore recuperato era piuttosto basso, tanto che veniva utilizzato ancora il vapore per portare l'acqua di scarico alla temperatura necessaria per essere nuovamente impiegata nel processo. Si è quindi realizzata una stratificazione delle temperature degli scarichi nei serbatoi (dividendo gli scarichi in freddi, caldi e caldissimi), in modo da recuperare più calore ed eliminare la necessità di vapore;
- In due casi, relativamente a interventi di recupero di calore dai compressori, le macchine disponevano già di un sistema di recupero del calore, ma questo non era stato mai utilizzato in quanto non era mai stato condotto uno studio per individuare possibili utenze per questo calore;
- L'aria in ingresso ai forni deve in alcuni casi rispettare standard relativi alla composizione/pulizia. L'utilizzo di circuiti idronici consente di evitare in questi casi la contaminazione. Tali circuiti consentirebbero anche di integrare un recupero termico sui camini delle caldaie della centrale termica, utilizzando materiale inox in modo da evitare problemi generati dalla condensa;
- Recuperi interni alla stessa macchina e/o allo stesso processo consentono di evitare problemi di accoppiamento temporale dei profili;
- Nei casi in cui il compressore lavora a temperatura piuttosto elevata (ad es. 104 °C), il recupero termico consente anche di gestirne meglio l'usura e la manutenzione;
- In alcuni casi gli interventi di recupero di calore consentono di aumentare la concentrazione di soluzioni reflue in modo da ridurre il volume dei fluidi da smaltire;
- Per alcuni interventi di recupero di calore sulla distribuzione del vapore, il risparmio potrebbe essere maggiore inserendo una struttura ad anello per il recupero delle condense e scarichi di tutti i reparti.

1.2.6 Integrazione delle mappe con i dati del settore

Grazie all'analisi delle diagnosi energetiche, è stato portato a compimento anche il processo di mappatura delle sorgenti di calore di scarto, che nel corso della precedente annualità aveva riguardato il solo processo di produzione dei tessuti grezzi [1].

Le difficoltà incontrate nel portare a termine tale attività sono state notevoli, considerando in particolare che solamente da circa il 7% del totale delle diagnosi analizzate è stato possibile estrapolare schemi di processi e dati utili alla caratterizzazione dei principali processi di produzione del settore tessile.

Sono state estrapolate dalle diagnosi (ove disponibili) le informazioni riguardanti la sequenza delle fasi di produzione, le tipologie di vettori termici impiegati e le corrispondenti condizioni operative (pressione e temperatura).

Per il settore tessile, questo lavoro di analisi dei dati riportati nelle diagnosi e il confronto con le mappe ottenute durante la precedente annualità, ha portato alla conclusione che i processi produttivi dei diversi sottosettori analizzati sono spesso poco differenziati e sovrapponibili relativamente a diverse fasi produttive. Questo aspetto complica notevolmente la distinzione dei diversi processi, portando inevitabilmente a risultati poco specifici e all'impossibilità di distinguere sottoprocessi per categorie specifiche di prodotto. L'indagine condotta sulle diagnosi non ha tuttavia fornito ulteriori informazioni circa l'entità delle portate delle sorgenti di calore di scarto per unità di prodotto, in quanto l'esiguo numero di dati a disposizione non ha permesso di calcolare dei valori medi significativi dal punto di vista statistico.

Integrando l'insieme delle informazioni a disposizione, sono state elaborate delle nuove mappe per i singoli sottosettori rilevanti ai fini di questo studio, già identificati e definiti in precedenza (Tabella 32, Tabella 33 e Tabella 34), che forniscono in maniera più schematica ed esaustiva l'insieme delle potenziali fonti di calore di scarto associate alle diverse fasi del processo. Le mappe definiscono:

- la sequenza delle fasi, con identificazione di quelle con potenziale generazione del calore di scarto;
- i vettori energetici impiegati, con l'indicazione dei possibili livelli di temperatura e pressione (ove disponibili);
- le tipologie di recupero termico possibili.

Tabella 32: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosettore 13.20.00 (tessitura): integrazione tra i dati delle diagnosi energetiche e i dati di letteratura

SEQUENZA DELLE FASI	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO			
Arrivo merci					
Magazzino materie prime					
Filati	VAPORE				
Magazzino filati					
Ritorcitura binatura					
Orditura e tessitura	VAPORE				
Menda					
Stampa					
Finissaggio umido	VAPORE, GAS METANO	RECUPERO CALORE DA FASE DI ASCIUGATURA, ARIA ESAUSTA (T=120-170°C) O FUMI (T=100°C) RAMOSE	RECUPERO CALORE DA FORNI (T=200°C)		
Tintoria	VAPORE			RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI	
Noppaggio					
Finissaggio secco	VAPORE				
Visita finito					
Magazzino finito					
Spedizione					
Riscaldamento	VAPORE				RECUPERO CALORE CONDIZIONAMENTO CAMERA BIANCA (ARIA ESAUSTA)
Altro	VAPORE				

Tabella 33: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosettore 13.10.00 (preparazione e filatura di fibre tessili): integrazione tra i dati delle diagnosi energetiche e i dati di letteratura

SEQUENZA DELLE FASI	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO			
Magazzino rotoli grezzi					
Sodatura					
Preparazione e taglio tessuti	GAS METANO	RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI			
Purga e candeggio		RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI			
Sanforizzazione	GAS METANO				
Tintura					
Asciugatura					
Finissaggio	GAS METANO	RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI			
Magazzino prodotto finito					

Tabella 34: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosettore 13.30.00 (finissaggio dei tessuti): integrazione tra i dati delle diagnosi energetiche e i dati di letteratura

SEQUENZA DELLE FASI	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO			
Magazzino greggio					
Arrotolamento e sbozzima					
Bruciapelo					
Stampa	VAPORE, GAS METANO, ACQUA CALDA				
Vaporizzazione	VAPORE, GAS METANO				
Lavaggio e asciugatura	VAPORE, GAS METANO, ACQUA CALDA	RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI	RECUPERO CALORE DA FASE DI ASCIUGATURA, ARIA ESAUSTA (T=120-170°C) O FUMI (T=150°C) RAMOSE		
Candeggio e sbozzima					
Lavaggio, purga, mercerizzo		RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI			
Asciugatura			RECUPERO CALORE DA FASE DI ASCIUGATURA, ARIA ESAUSTA (T=120-170°C) O FUMI (T=150°C) RAMOSE		
Laboratorio, cucina colori	VAPORE				
Tintura	VAPORE				
Lavaggio, asciugatura	VAPORE, GAS METANO	RECUPERO DA SCARICHI CALDI TINTORIA (T=60-80°C) E RAFFREDDAMENTI INDIRETTI			
Finissaggio	VAPORE, GAS METANO		RECUPERO CALORE DA FASE DI ASCIUGATURA, ARIA ESAUSTA (T=120-170°C) O FUMI (T=150°C) RAMOSE		
Sanforizzazione	GAS METANO				
Controllo qualità					
Roccatuta					
Riscaldamento					

1.3 Applicazione della metodologia al settore caseario

Secondo la classificazione ATECO, il settore caseario si suddivide in due sotto-settori principali [11]:

- 10.51.10: Trattamento igienico del latte;
- 10.51.20: Produzione dei derivati del latte.

Il primo sotto-settore comprende le aziende la cui attività prevalente riguarda la produzione di latte liquido fresco, pastorizzato, sterilizzato, omogeneizzato e/o sottoposto a trattamento UHT per la lunga conservazione. Al secondo sotto-settore, invece, afferiscono le aziende coinvolte nelle seguenti attività:

- produzione di bevande a base di latte;
- produzione di panna ottenuta con latte liquido fresco, pastorizzato, sterilizzato omogeneizzato;
- produzione di latte in polvere o concentrato (dolcificato o meno);
- produzione di latte o panna in forma solida;

- produzione di burro;
- produzione di yogurt;
- produzione di formaggio e cagliata;
- produzione di siero di latte;
- produzione di caseina greggia o lattosio;
- produzione di starter (fermenti lattici).

Dai sotto-settori 10.51.10 e 10.51.20 restano esclusi i processi di [11]:

- produzione di latte crudo (bovino), cfr. 01.41;
- produzione di latte crudo (ovino, caprino, equino, da asini, da camelidi ecc.), cfr. 01.45, 01.43, 01.44;
- produzione di succedanei del latte e del formaggio non caseari, cfr. 10.89.

1.3.1 Analisi di rappresentatività del campione

Nel presente progetto sono stati esaminati i dati di 79 siti produttivi del settore caseario, sottoposti a diagnosi energetica ai sensi dell’articolo 8 del Dlgs 102/2014 [12]. Di questi, oltre il 70% afferisce al sotto-settore 10.51.20, mentre la restante parte al sotto-settore 10.51.10 (Figura 46).

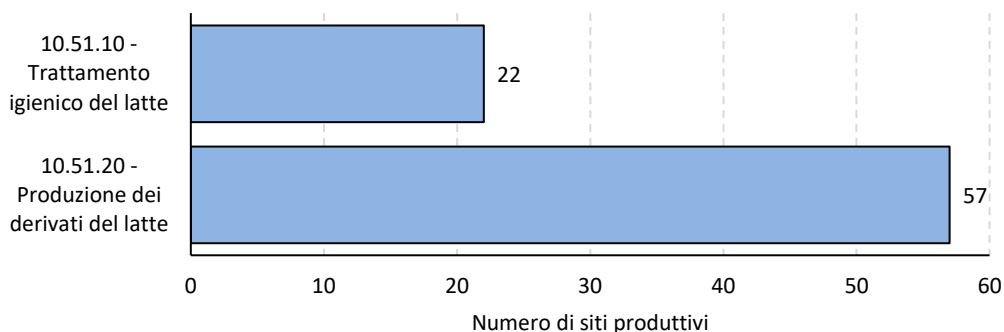


Figura 46. Ripartizione dei siti produttivi del settore caseario in base al tipo di attività economica

Come evidenziato in Figura 47, oltre la metà dei siti produttivi oggetto di indagine è collocata in 3 regioni, ovvero la Lombardia (33%), l’Emilia Romagna (14%) ed il Veneto (11%). Ad eccezione di Puglia, Marche, Liguria e Calabria, nelle restanti regioni i siti produttivi appartenenti al sotto-settore 10.51.20 rappresentano almeno il 50% del totale.

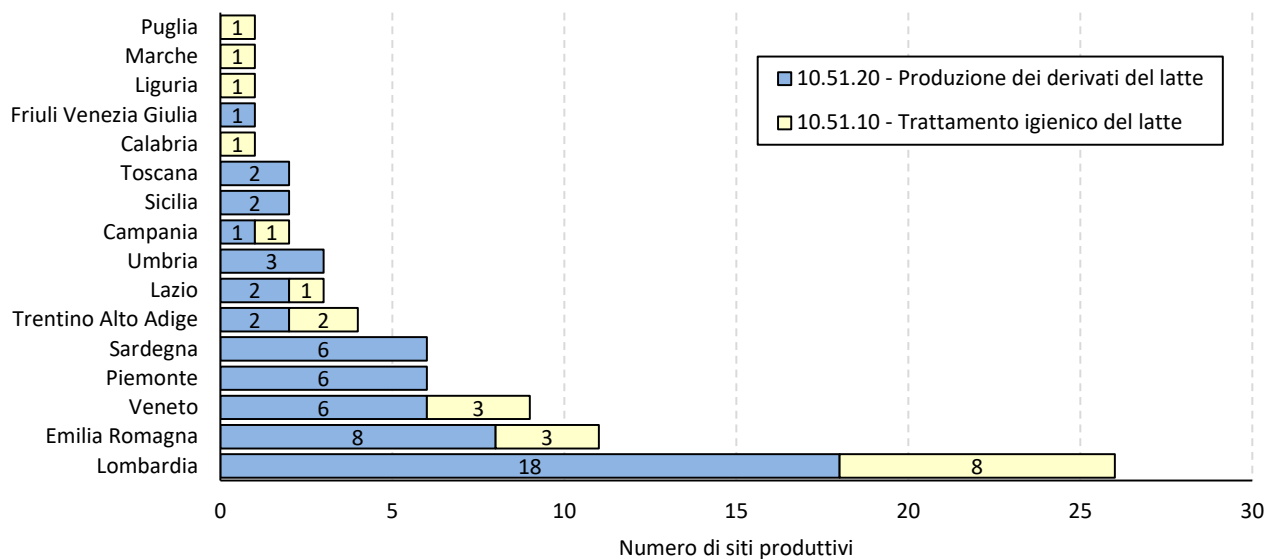


Figura 47. Distribuzione regionale dei siti produttivi e ripartizione in base al sotto-settore di appartenenza

Alle suddette regioni appartengono anche le province aventi almeno 3 siti produttivi sottoposti a diagnosi energetica (Figura 48); in Lombardia, spiccano Cremona (7), Brescia (4) e Mantova (3); in Emilia-Romagna, le province di Reggio nell'Emilia (3), Parma (3) e Modena (3), mentre in Veneto il primato spetta a Vicenza (4) con oltre il 40% dei siti produttivi a livello regionale. Ad eccezione dell'Umbria e del Piemonte (a cui appartengono le province di Perugia e Cuneo con 3 siti produttivi), nelle restanti regioni il numero di siti per provincia risulta sempre inferiore o uguale a 2.

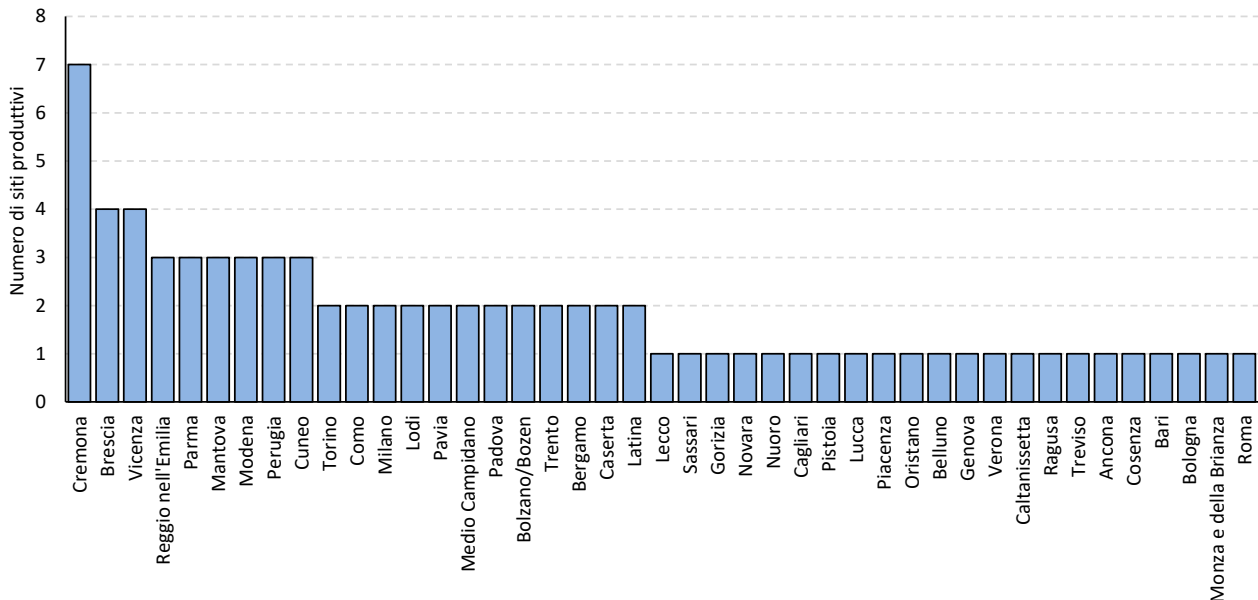


Figura 48. Distribuzione dei siti produttivi per provincia

Come evidenziato in Tabella 35, circa il 90% del totale dei siti produttivi esaminati è stato sottoposto a monitoraggio dei consumi energetici, allo scopo di verificare l'efficacia degli interventi di efficientamento implementati; sono tuttavia presenti sostanziali differenze al livello dei singoli sotto-settori: la percentuale dei siti sottoposti a monitoraggio corrisponde, infatti, a quasi il 100% per quelli ricadenti nel sotto-settore 10.51.10, mentre scende a circa il 70% per quelli appartenenti al sotto-settore 10.51.20.

Tabella 35. Ripartizione tra siti sottoposti e non sottoposti a monitoraggio per i diversi settori produttivi

	SITI SOTTOPOSTI A MONITORAGGIO	SITI NON SOTTOPOSTI A MONITORAGGIO
INDUSTRIE CASEARIE	62	17
10.51.20 - Produzione dei derivati del latte	41	16
10.51.10 - Trattamento igienico del latte	21	1

Nei siti produttivi oggetto di diagnosi energetica, la produzione annuale è espressa in termini di tonnellate, kilogrammi, litri o numero di pezzi. Come evidenziato in Figura 49, la tonnellata rappresenta l'unità di misura prevalente sia al livello dell'intero settore caseario, che dei singoli sotto-settori, essendo impiegata in circa il 60% dell'insieme dei siti produttivi esaminati; segue il chilogrammo, con una percentuale di impiego compresa tra il 28% (sotto-settore 10.51.20) ed il 36% (sotto-settore 10.51.10). Infine, la produzione è espressa in litri in circa il 10% dei siti produttivi di entrambi i sotto-settori, mentre è definita in numero di pezzi solo nel 3% dei siti produttivi afferenti al sotto-settore 10.51.20.

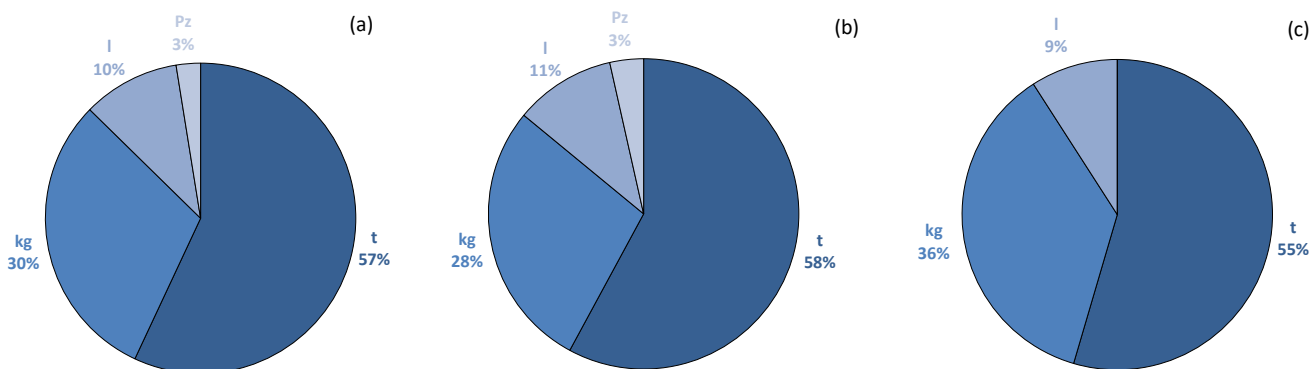


Figura 49. Ripartizione delle unità di misura della produzione per l'intero settore caseario (a) e per i sotto-settori 10.51.20 (b) e 10.51.10 (c)

Trascurando le produzioni espresse in litri ed in numero di pezzi (impiegate in meno del 15% dei siti produttivi indagati) e convertendo in tonnellate le produzioni espresse in chilogrammi, è stato possibile valutare la distribuzione della produzione a livello regionale; a questo proposito, la Figura 50 conferma il primato di Lombardia, Emilia Romagna e Veneto anche per quanto riguarda la produzione annuale, corrispondente rispettivamente a circa il 40%, il 20% ed il 10% di quella complessiva dei siti sottoposti a diagnosi energetica. Da notare come nel grafico non siano riportati i contributi delle regioni Liguria e Umbria, essendo la produzione annuale dei loro siti produttivi interamente espressa in litri.

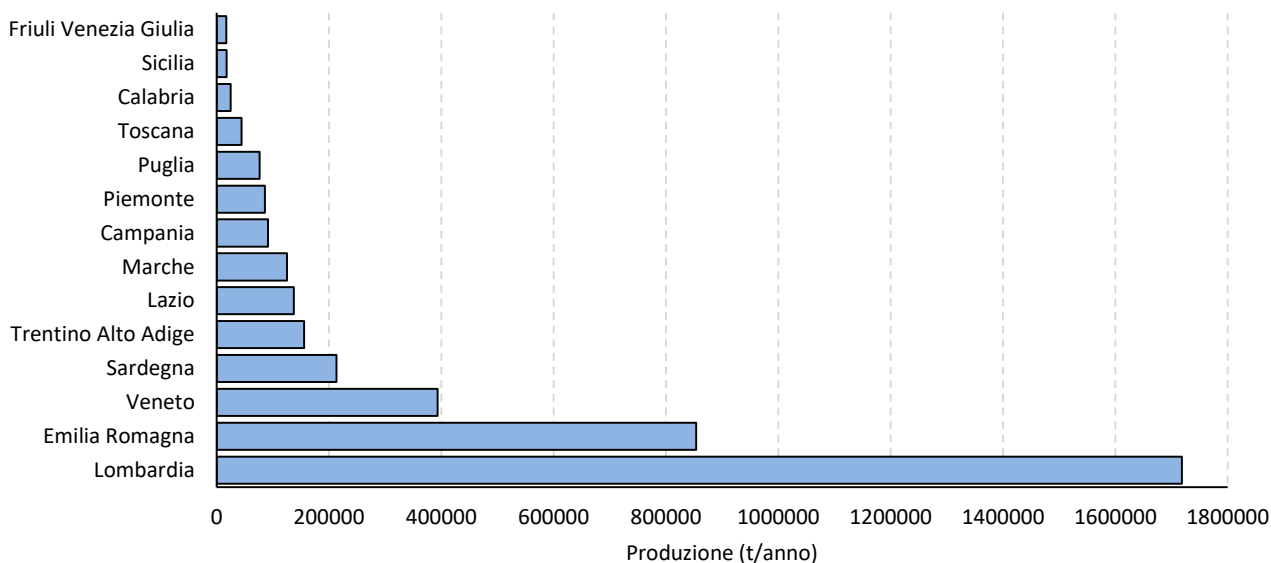


Figura 50. Distribuzione della produzione in t/anno per regione

Con una produzione di poco inferiore a 500000 t/anno, Parma detiene il primato della produzione annuale a livello provinciale, seguita a breve distanza dalle province lombarde di Mantova, Cremona e Brescia e dalla provincia di Verona (Figura 51).

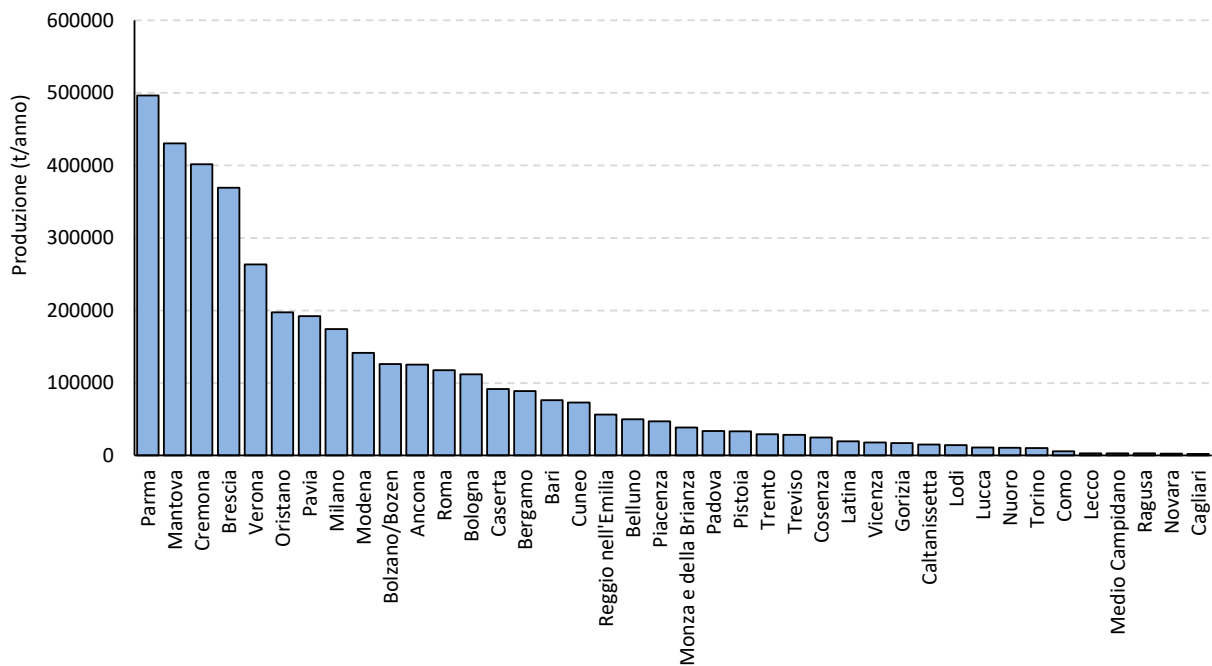


Figura 51. Distribuzione della produzione in t/anno per provincia

I diagrammi a scatola e baffi rappresentati nelle Figura 52-Figura 54 mettono in luce la diversificazione dei siti produttivi in termini di produzione annuale, con riferimento alle diverse unità di misura impiegate. Si nota, in particolare, che le funzioni di distribuzione delle produzioni espresse in tonnellate e kilogrammi presentano una maggiore dispersione, essendo più ampie le distanze tra il primo ed il terzo quartile e quelle tra i valori minimi e massimi; a differenza di quanto accade per le funzioni di distribuzione delle produzioni in litri ed in numero di pezzi, per quelle in tonnellate e kilogrammi si nota anche la presenza di valori anomali (outliers); ciò è da imputare non solo alle specificità dei valori appartenenti a tali campioni, ma anche alla maggiore numerosità degli stessi.

Con riferimento all'intero settore caseario, si nota come i valori medi di produzione espressi in tonnellate (≈ 60358 t) siano numericamente confrontabili a quelli espressi in kilogrammi ($\approx 51622 \cdot 10^3$ kg equivalenti a 51622 t); le medesime considerazioni possono essere estese ai singoli sotto-settori. Si osserva, inoltre, come il sotto-settore 10.51.20 sia caratterizzato da valori medi di produzione più contenuti rispetto al sotto-settore 10.51.10, a prescindere dall'unità di misura presa in considerazione.

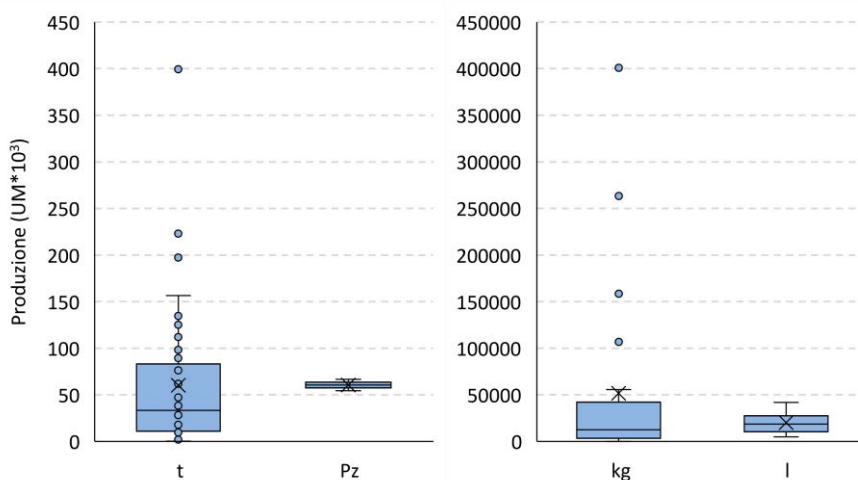


Figura 52. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per l'intero settore caseario

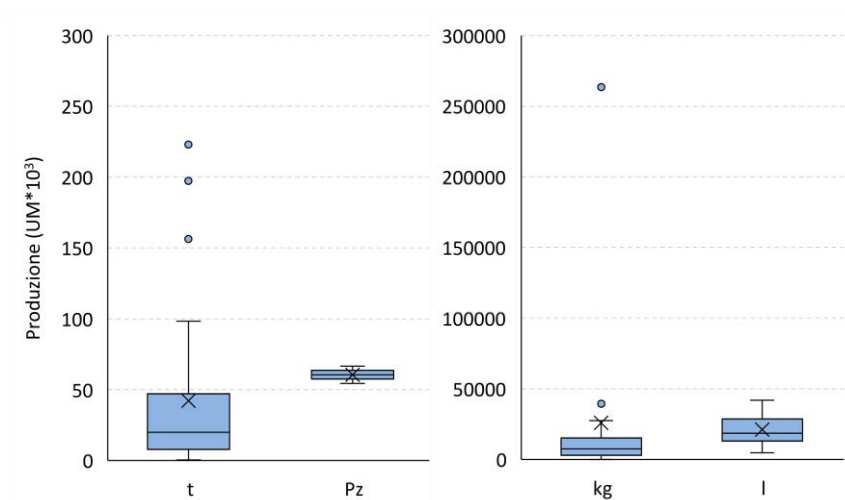


Figura 53. Caratterizzazione della funzione di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.51.20

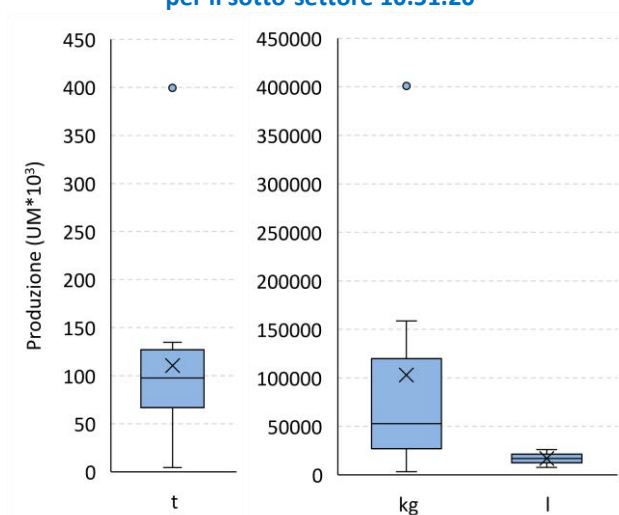


Figura 54. Caratterizzazione della funzione di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.51.10

Le Tabella 35-Tabella 38 riassumono i parametri statistici principali (valore medio e quartili) delle funzioni di distribuzione della produzione in relazione all'unità di misura, sia per l'intero campione di siti produttivi (Tabella 36), che per i singoli sotto-settori 10.51.20 (Tabella 37) e 10.51.10 (Tabella 38).

Tabella 36. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per l'intero settore caseario

	t	kg	l	Pz
Minimo	450.00	42852.00	4807000.00	54393.00
Quartile 1	10905.83	3267573.50	10530927.25	57459.75
Mediana	33258.70	12531005.00	18540767.00	60526.50
Media	60358.18	51622433.50	20127416.25	60526.50
Quartile 3	83254.70	42084494.25	27483121.75	63593.25
Massimo	399319.00	400896168.00	41943568.00	66660.00

Tabella 37. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.51.20

	t	kg	l	Pz
Minimo	450.00	42852.00	4807000.00	54393.00

Quartile 1	7955.53	3059183.25	13100964.00	57459.75
Mediana	19962.00	7459726.00	18540767.00	60526.50
Media	42134.35	25927192.06	21190187.50	60526.50
Quartile 3	47080.00	15138990.50	28651186.75	63593.25
Massimo	223030.00	263459837.00	41943568.00	66660.00

Tabella 38. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.51.10

	t	kg	l
Minimo	4629.10	3327891.00	7863718.00
Quartile 1	66808.75	26924056.18	12401410.25
Mediana	97698.85	52778513.50	16939102.50
Media	110473.73	103012916.36	16939102.50
Quartile 3	126948.00	119679657.50	21476794.75
Massimo	399319.00	400896168.00	26014487.00

1.3.2 Analisi dei consumi di gas naturale

Come per il settore tessile, anche nel caso del settore caseario il gas naturale rappresenta il combustibile di più largo utilizzo, sia per la produzione di vapore ed acqua calda ad uso dei processi produttivi, che per il riscaldamento degli ambienti o l'utilizzo diretto nelle mense. A tale proposito, le Figura 55-Figura 57 mostrano le funzioni di distribuzione dei consumi complessivi di gas naturale dell'intero settore caseario e dei singoli sotto-settori. In particolare, si osserva che la quasi totalità dei siti ($\approx 82\%$) è caratterizzato da un consumo complessivo inferiore o uguale a $2.100.000 \text{ Sm}^3$, mentre solo il 10% presenta un consumo compreso tra $2.100.000$ e $4.200.000 \text{ Sm}^3$. Focalizzando l'attenzione sul sotto-settore 10.51.20, circa il 60% dei siti produttivi ha un consumo inferiore ad 800.000 Sm^3 , mentre per un ulteriore 30% risulta compreso tra 800.000 e $1.600.000 \text{ Sm}^3$ (Figura 56). Più elevati i consumi del sotto-settore 10.51.10, dove quasi il 90% dei siti produttivi presenta un consumo compreso tra circa 200.000 e $4.200.000 \text{ Sm}^3$ (Figura 57).

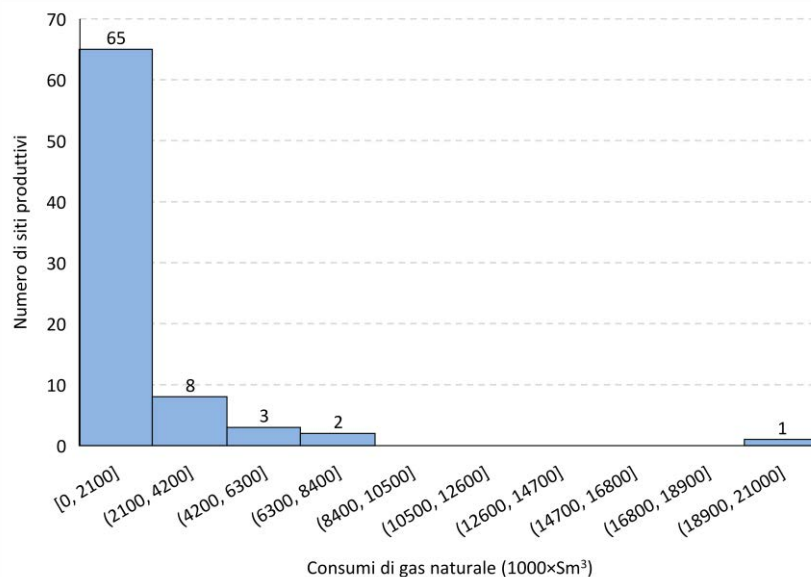


Figura 55. Funzione di distribuzione dei consumi di gas naturale dei siti produttivi per l'intero settore caseario

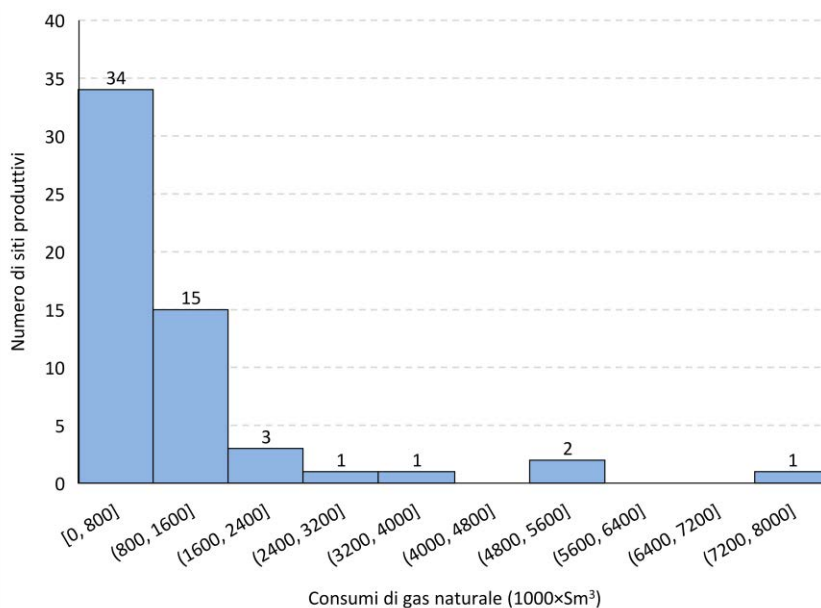


Figura 56. Funzione di distribuzione dei consumi di gas naturale dei siti produttivi per il sotto-settore 10.51.20

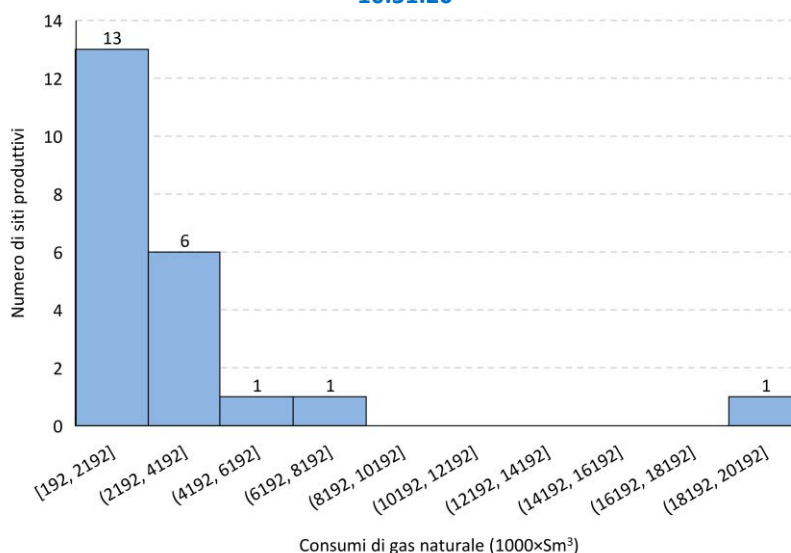


Figura 57. Funzione di distribuzione dei consumi di gas naturale dei siti produttivi per il sotto-settore 10.51.10

La Tabella 39 riassume i principali parametri statistici (media, mediana, deviazione standard, valori massimi e minimi, ecc.) relativi alle funzioni di distribuzione dei consumi di gas naturale al livello dell'intero settore caseario e dei singoli sotto-settori.

Tabella 39. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione dei consumi di gas naturale per l'intero settore caseario ed i sotto-settori 10.51.20 e 10.51.10

	TOTALE	10.51.20	10.51.10
Dimensione campione	79	57	22
Deviazione standard (Sm³)	2570187.0	1429247.6	4013917.9
Media (Sm³)	1570163.1	1017483.8	3002105.0
Intervallo confidenza media (+ o -) con alpha 0.05 (Sm³)	575690.5	379230.4	1779671.5

Mediana (Sm³)	883186.0	613386.0	1595755.5
Minimo (Sm³)	0.0	0.0	191988.0
Massimo (Sm³)	19175482.0	7711352.0	19175482.0

Nell'ambito delle diagnosi energetiche i consumi di gas naturale sono stati ripartiti tra le attività principali, i servizi ausiliari ed i servizi generali. A questi ultimi sono stati attribuiti i consumi di gas naturale per il riscaldamento degli stabilimenti (ove richiesto), degli uffici e quelli per i servizi di refezione. Per quanto riguarda invece le attività principali ed i servizi ausiliari, il criterio di attribuzione non è stato il medesimo per tutte le diagnosi dei siti produttivi indagati. In particolare, in alcuni casi alle attività principali è stato associato il consumo di gas naturale richiesto per la produzione di vapore ed acqua calda ad uso dei processi produttivi, mentre ai servizi generali sono stati assegnati quelli degli eventuali impianti di generazione di energia elettrica (ad esempio gli impianti di turbina a gas, gli impianti di cogenerazione, ecc.) e quelli per la produzione di vapore ed acqua calda ad uso dei sistemi di lavaggio automatico delle apparecchiature, detti anche sistemi di clean in place (CIP); in altri casi, invece, alle attività principali è stato assegnato un consumo nullo, mentre ai servizi ausiliari è stato attribuito l'insieme complessivo dei consumi dei gas naturale, legati sia alla generazione di vapore ed acqua calda ad uso dei processi, dei sistemi CIP e quelli per l'eventuale generazione di energia elettrica.

Per questo motivo, le funzioni di distribuzione dei consumi di gas naturale per le attività principali ed i servizi ausiliari presentano una elevata dispersione, come evidenziato dai box plot rappresentati nelle Figura 58 e Figura 60.

Considerando l'intero settore caseario, le attività principali sono responsabili mediamente per circa il 27% dei consumi complessivi di gas naturale; i servizi ausiliari, invece, presentano una variabilità ancora più accentuata, con un contributo medio prossimo al 50%. Decisamente più esiguo il contributo dei servizi generali con una quota media dell'8% (Figura 58). Valori medi confrontabili si riscontrano anche al livello dei singoli sotto-settori 10.51.20 (Figura 59) e 10.51.10 (Figura 60). Si nota, inoltre, come che le attività principali presentino una funzione di distribuzione maggiormente dispersa nel caso del sotto-settore 10.51.20 rispetto al sotto-settore 10.51.10, come evidenziato dalla più ampia distanza tra il primo ed il terzo quartile.

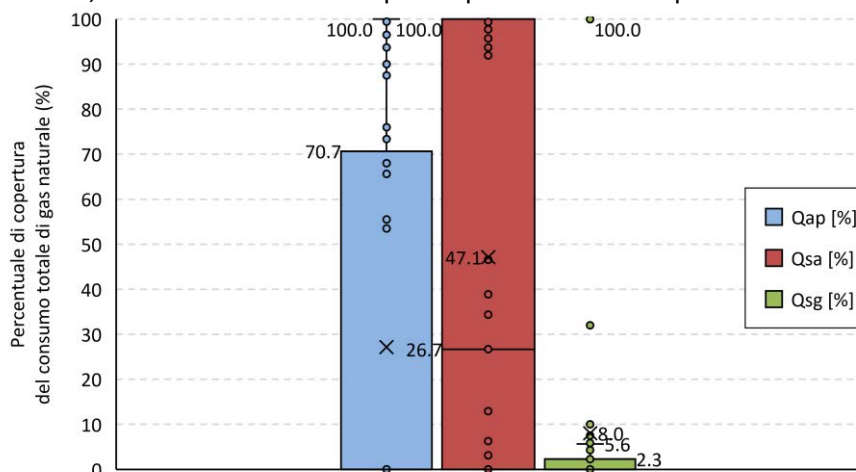


Figura 58. Ripartizione del consumo di gas naturale tra le attività principali (Qap), i servizi ausiliari (Qsa) e i servizi generali (Qsg) dei siti produttivi dell'intero settore caseario

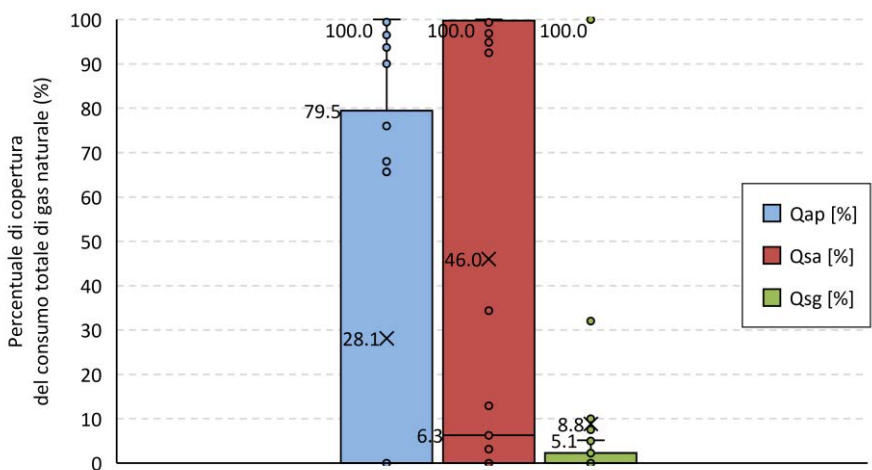


Figura 59. Ripartizione del consumo di gas naturale tra le attività principali (Qap), i servizi ausiliari (Qsa) e i servizi generali (Qsg) dei siti produttivi afferenti al sotto-settore 10.51.20

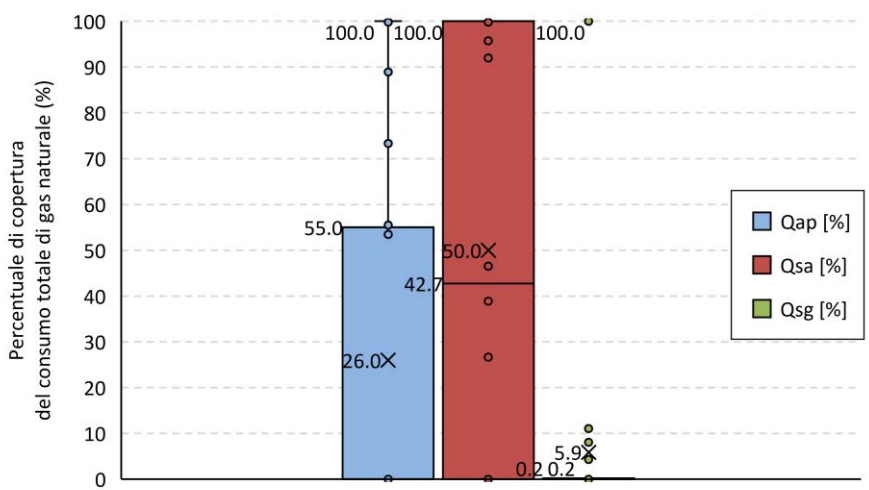


Figura 60. Ripartizione del consumo di gas naturale tra le attività principali (Qap), i servizi ausiliari (Qsa) e i servizi generali (Qsg) dei siti produttivi afferenti al sotto-settore 10.51.10

Sulla base dei dati di consumo e di produzione, è stato possibile valutare i consumi specifici di gas naturale riferiti alle quattro unità di misura della produzione impiegate nel settore caseario. A questo proposito, la Figura 61, la Figura 62 e la Figura 63 descrivono le funzioni di distribuzione dei consumi specifici dei siti produttivi (espressi in Sm^3/t , Sm^3/kg , Sm^3/l e Sm^3/Pz), per l'intero settore (Figura 61) e per i sotto-settori 10.51.20 (Figura 62) e 10.51.10 (Figura 63); infine, le

Tabella 40 Tabella 42 ne riassumono i principali parametri statistici, tra cui il valore medio, i valori minimi e massimi, la mediana e i quartili.

Nel caso delle produzioni espresse in tonnellate, i corrispondenti consumi specifici sono in media pari a circa $57 \text{ Sm}^3/\text{t}$, con un valore massimo di $168 \text{ Sm}^3/\text{t}$ (a meno degli outliers superiori). Nel 50% dei siti produttivi, inoltre, il consumo specifico risulta compreso tra circa 12 e $88 \text{ Sm}^3/\text{t}$ (Figura 61).

Come atteso, i consumi specifici riferiti alle altre unità di misura assumono valori significativamente inferiori. In particolare, nel caso dei consumi riferiti al kg (che rappresenta l'unità di misura più utilizzata dopo le tonnellate), il valore medio si attesta a circa $0.06 \text{ Sm}^3/\text{kg}$, che convertito in Sm^3/t risulta del tutto confrontabile con quello relativo alle produzioni espresse in tonnellate ($57 \text{ Sm}^3/\text{t}$).

La Figura 61 evidenzia che, anche nel caso dei consumi specifici di gas naturale, le corrispondenti funzioni di distribuzione riferite alle tonnellate e ai kilogrammi presentano una maggiore dispersione rispetto a quelle relative ai litri ed ai pezzi, in parte legata alla maggiore numerosità dei campioni. Tale differenza risulta ancora più accentuata per il sotto-settore 10.51.20 (Figura 62) rispetto al sotto-settore 10.51.10 (Figura 63). In particolare, per il sotto-settore 10.51.20, i consumi specifici riferiti alle tonnellate superano in media i 60

Sm³/t, mentre nel 50% dei siti produttivi i consumi specifici sono compresi tra circa 6 e 97 Sm³/t. Per quanto riguarda i consumi specifici riferiti ai kg, il valore medio rimane praticamente inalterato rispetto a quello delle produzioni espresse in tonnellate, mentre si riscontra una traslazione della funzione di distribuzione verso l'estremo inferiore.

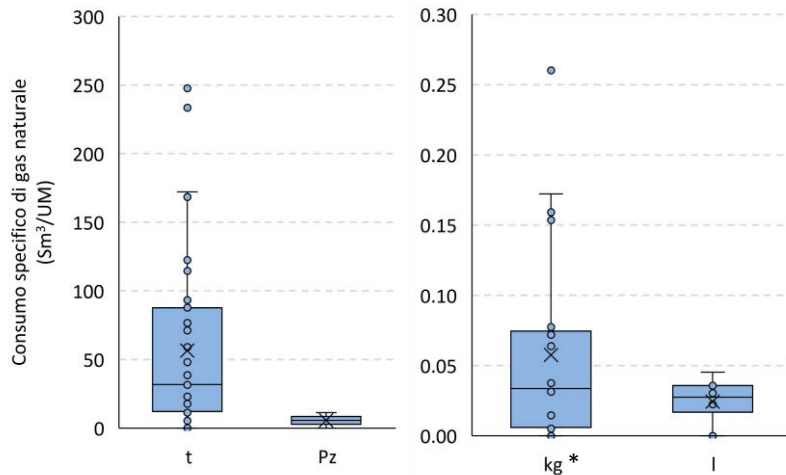


Figura 61. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il settore caseario (*per i consumi specifici riferiti ai kg è stato rimosso un outlier)

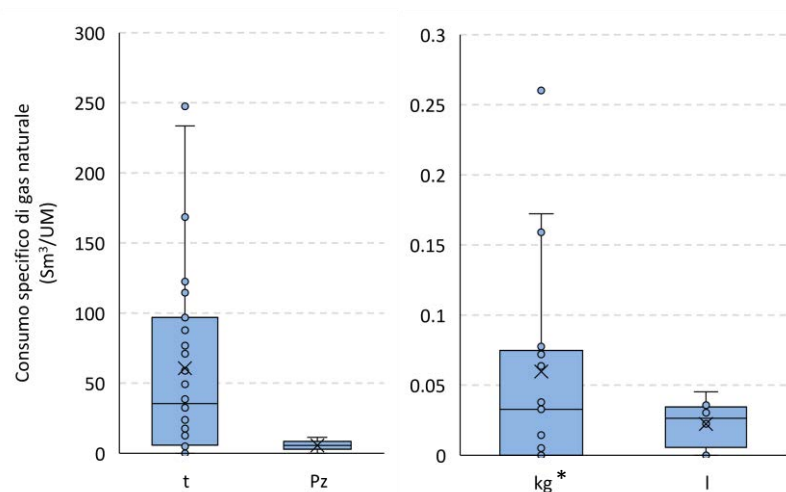


Figura 62. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il sotto-settore 10.51.20 (*per i consumi specifici riferiti ai kg è stato rimosso un outlier)

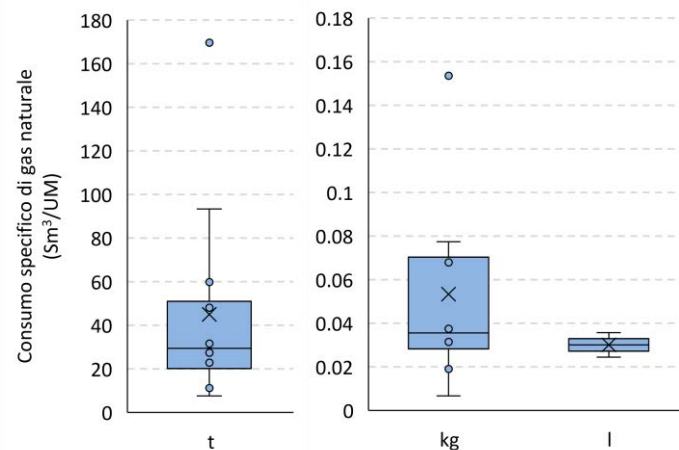


Figura 63. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il sotto-settore 10.51.10

Tabella 40 . Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per l'intero settore caseario (*per i consumi specifici riferiti ai kg è stato rimosso un outlier)

	Sm ³ /t	Sm ³ /kg	Sm ³ /l	Sm ³ /Pz
Minimo	0.00	0.00	0.00	0.00
Quartile 1	11.98	0.01	0.02	2.82
Mediana	31.73	0.03	0.03	5.64
Media	56.48	0.06	0.02	5.64
Quartile 3	87.73	0.07	0.04	8.46
Massimo	247.51	0.26	0.05	11.28

Tabella 41. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il sotto-settore 10.51.20 (*per i consumi specifici riferiti ai kg è stato rimosso un outlier)

	Sm ³ /t	Sm ³ /kg	Sm ³ /l	Sm ³ /Pz
Minimo	0.00	0.00	0.00	0.00
Quartile 1	5.70	0.00	0.01	2.82
Mediana	35.50	0.03	0.03	5.64
Media	60.68	0.06	0.02	5.64
Quartile 3	96.86	0.07	0.03	8.46
Massimo	247.51	0.26	0.05	11.28

Tabella 42. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il sotto-settore 10.51.10

	Sm ³ /t	Sm ³ /kg	Sm ³ /l
Minimo	7.60	0.01	0.02
Quartile 1	20.11	0.03	0.03
Mediana	29.42	0.04	0.03
Media	44.95	0.05	0.03
Quartile 3	50.95	0.07	0.03
Massimo	169.61	0.15	0.04

La Figura 64 riporta il trend dei consumi specifici di gas naturale in funzione della producibilità. Allo scopo di uniformare le unità di misura, i valori originari di produzione sono stati convertiti in tonnellate. In particolare, nel caso delle produzioni espresse in litri e pezzi, la conversione è stata operata sulla base delle informazioni riportate nelle diagnosi energetiche, ove disponibili. In questo modo, è stato possibile ottenere i consumi specifici in Sm³/t per la quasi totalità dei siti produttivi con consumi di gas naturale non nulli (67 su un totale di 69), a partire dai quali è stata ricavata la funzione di regressione che realizza il best-fitting dei dati. Come evidenziato in Figura 64, i consumi specifici diminuiscono al crescere della produzione secondo una legge di potenza. In particolare, si nota come il consumo specifico subisca una brusca diminuzione fino a valori di produzione di 50.000 t, passando da circa 300 Sm³/t a 25 Sm³/t; per valori di produzione superiori a tale soglia, invece, i consumi specifici diminuiscono in maniera meno significativa, attestandosi su valori minimi di circa 3 Sm³/t.

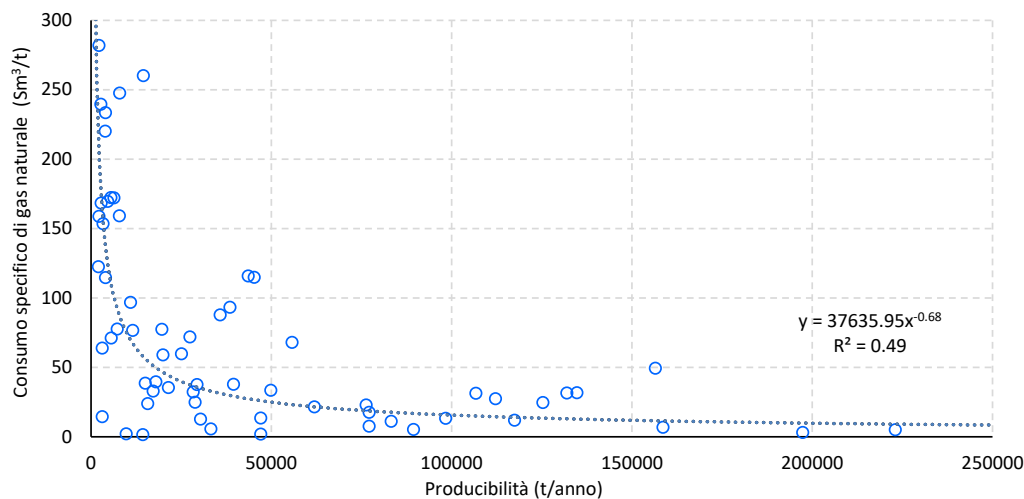


Figura 64. Trend dei consumi specifici di gas naturale in funzione della produttività

1.3.3 Analisi sugli interventi effettuati

Nel settore caseario sono stati realizzati complessivamente 86 interventi di risparmio di energia elettrica e termica; allo scopo di analizzarli e metterli a confronto dal punto di vista energetico ed economico, è stato necessario ridefinire preliminarmente le categorie di intervento principali rispetto a quelle indicate nelle diagnosi e riassegnare, in maniera opportuna, i corrispondenti interventi a ciascuna di esse. In particolare, sono state individuate 12 categorie di intervento, di seguito elencate:

- centrale aria compressa
- centrale termica;
- centrale frigorifera
- cogenerazione/trigenerazione
- climatizzazione;
- depuratore;
- illuminazione;
- impianto elettrico;
- linee produttive;
- monitoraggio, organizzazione e formazione (ISO 50001);
- pompe idrauliche;
- recupero termico.

Come evidenziato in Figura 65, il maggior numero di interventi di risparmio energetico ha interessato la centrale frigorifera (16), il sistema di illuminazione (13), l'aria compressa (10) e l'implementazione di un sistema di monitoraggio secondo la norma ISO 50001 (10), che complessivamente costituiscono oltre la metà degli interventi effettuati. Gli interventi di recupero termico realizzati sono stati complessivamente 3, di cui uno ha interessato i cascami termici generati da un impianto di cogenerazione ed i rimanenti il recupero di calore all'interno delle linee di produzione del formaggio e della panna.

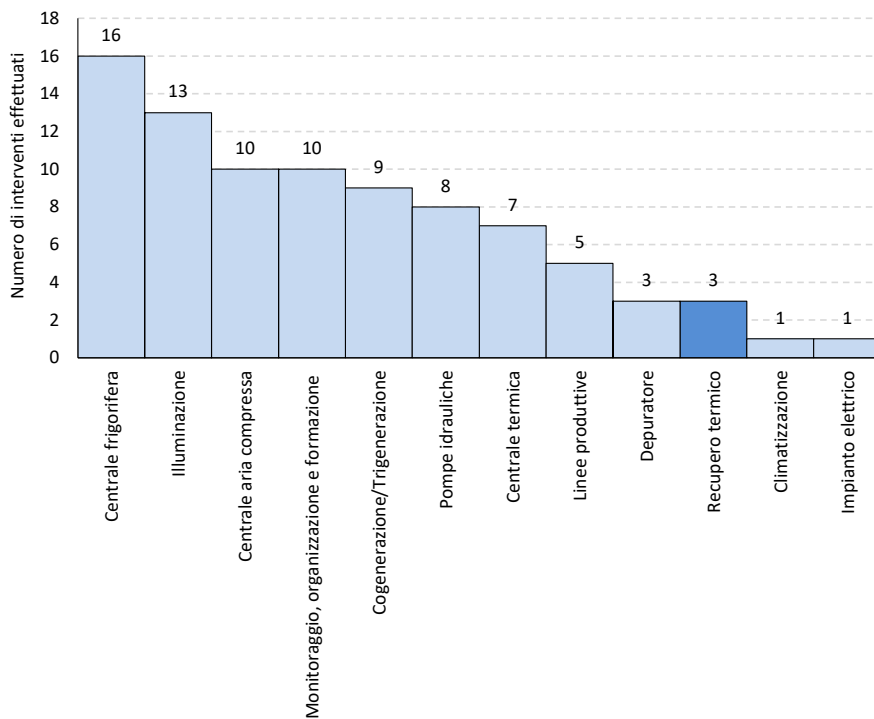


Figura 65. Numero e tipologia di interventi effettuati nel settore caseario

I dati forniti dalle aziende in merito agli interventi effettuati hanno riguardato principalmente i risparmi di energia elettrica ottenibili ed il relativo costo di investimento dell'intervento. Per alcune categorie di intervento i dati relativi a tali grandezze sono risultati solo parzialmente disponibili; così, ad esempio, nel caso dell'installazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione sono presenti solamente 2 dati per i risparmi di energia elettrica, a fronte di 9 interventi complessivamente realizzati.

I risparmi di energia elettrica presentano una variabilità più o meno accentuata all'interno delle singole classi di intervento, in quanto i valori conseguiti sono influenzati non solo dalle dimensioni dell'intervento stesso, ma anche dal tipo di tecnologia adottata (Figura 66 e Tabella 43). In particolare, la realizzazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione determina mediamente i risparmi più consistenti ($\approx 4000 \text{ MWh}_e/\text{anno}$); seguono gli interventi di recupero termico ($\approx 2450 \text{ MWh}_e/\text{anno}$), quelli relativi alla centrale termica ($\approx 1000 \text{ MWh}_e/\text{anno}$), alle linee produttive ($\approx 414 \text{ MWh}_e/\text{anno}$) e alla centrale frigorifera ($\approx 344 \text{ MWh}_e/\text{anno}$). Da notare, inoltre, che nella Figura 66 la categoria relativa alla realizzazione di interventi di monitoraggio, organizzazione e formazione è assente, a causa dell'indisponibilità dei corrispondenti dati di risparmio di energia elettrica.

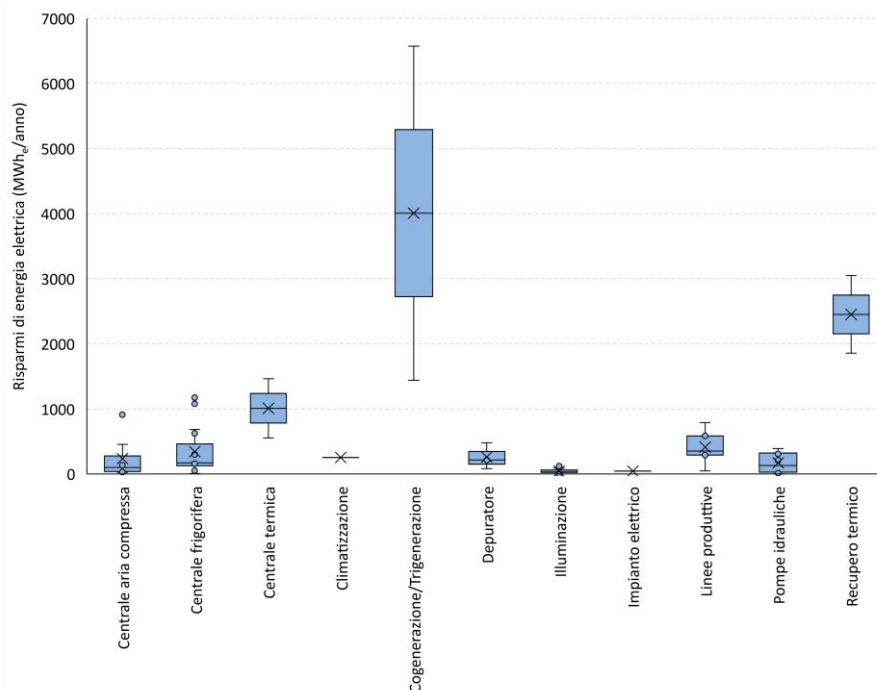


Figura 66. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia elettrica per gli interventi effettuati nel il settore casario

Tabella 43. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia elettrica per le diverse classi di interventi effettuati nel settore casario

	<i>Centrale aria compressa</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Cogenerazione/Trigenerazione</i>	<i>Depuratore</i>	<i>Illuminazione</i>	<i>Impianto elettrico</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Pompe idrauliche</i>	<i>Recupero termico</i>
Dimensione campione	8	15	2	1	2	3	12	1	5	8	2
Minimo (MWh_e/anno)	24.11	9.17	555.00	253.00	1440.00	84.50	0.97	45.50	49.28	5.90	1855.00
Quartile 1 (MWh_e/anno)	39.07	129.28	782.43	253.00	2723.07	149.98	23.59	45.50	291.60	29.58	2153.39
Mediana (MWh_e/anno)	101.17	172.80	1009.85	253.00	4006.13	215.46	33.21	45.50	352.00	132.25	2451.77
Media (MWh_e/anno)	235.48	344.39	1009.85	253.00	4006.13	259.39	43.35	45.50	413.78	172.34	2451.77
Quartile 3 (MWh_e/anno)	276.74	462.05	1237.28	253.00	5289.20	346.83	61.95	45.50	587.00	323.19	2750.16
Massimo (MWh_e/anno)	912.41	1176.00	1464.70	253.00	6572.27	478.20	121.13	45.50	789.00	392.00	3048.54

I costi di investimento delle singole classi di intervento presentano una dispersione ancora più accentuata rispetto ai risparmi di energia elettrica (Figura 67 e Tabella 44). Come atteso, la realizzazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione rappresenta l'intervento più impegnativo dal punto di vista economico, con un costo di investimento medio di circa 1650 k€. Per le altre classi di intervento, invece, il costo di investimento medio risulta ben più contenuto, oscillando tra meno di 30 k€ per l'illuminazione a circa 181 k€ per la centrale frigorifera, attestandosi sui 101 k€ per gli interventi di recupero termico.

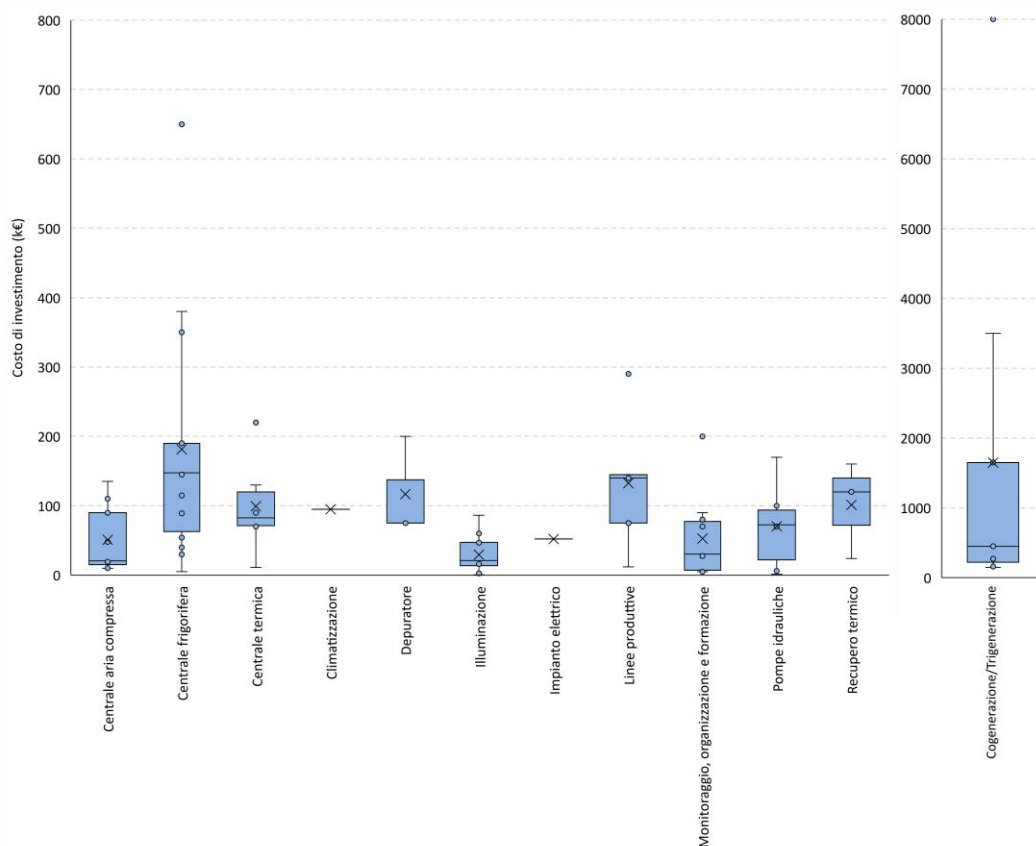


Figura 67. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di intervento per il settore caseario

Tabella 44. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per le diverse classi di interventi effettuati nel settore caseario

	<i>Centrale aria compressa</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Cogenerazione/Trigenerazione</i>	<i>Depuratore</i>	<i>Illuminazione</i>	<i>Impianto elettrico</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Monitoraggio, organizzazione e formazione</i>	<i>Pompe idrauliche</i>	<i>Recupero termico</i>
Dimensione campione	9	14	6	1	9	3	12	1	5	10	6	3
Minimo (k€)	10.00	5.00	11.00	95.00	146.00	75.00	0.50	52.00	12.00	5.00	1.40	24.00
Quartile 1 (k€)	15.00	62.75	71.25	95.00	220.00	75.00	13.62	52.00	75.00	7.00	22.00	72.00
Mediana (k€)	20.48	147.50	82.50	95.00	450.00	75.00	21.23	52.00	140.00	30.41	72.50	120.00
Media (k€)	50.86	181.29	99.33	95.00	1649.56	116.67	29.31	52.00	132.40	52.68	70.40	101.33
Quartile 3 (k€)	90.00	190.00	120.00	95.00	1650.00	137.50	47.38	52.00	145.00	77.50	93.75	140.00
Massimo (k€)	135.00	650.00	220.00	95.00	8000.00	200.00	86.41	52.00	290.00	200.00	170.00	160.00

Infine, la Figura 68 mostra la ripartizione degli investimenti complessivamente sostenuti dall'insieme dei siti produttivi sottoposti a diagnosi energetica tra le diverse categorie di intervento. Si nota che circa il 70% del capitale investito è stato destinato alla realizzazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione ed il 12% ad interventi inerenti alla centrale frigorifera. Alle altre classi di intervento spettano contributi decisamente più contenuti, compresi tra meno dell'1% (impianto elettrico) ed il 3.1% (linee produttive). Tra questi ricadono gli interventi di recupero termico, con una quota degli investimenti corrispondente all'1.4%.

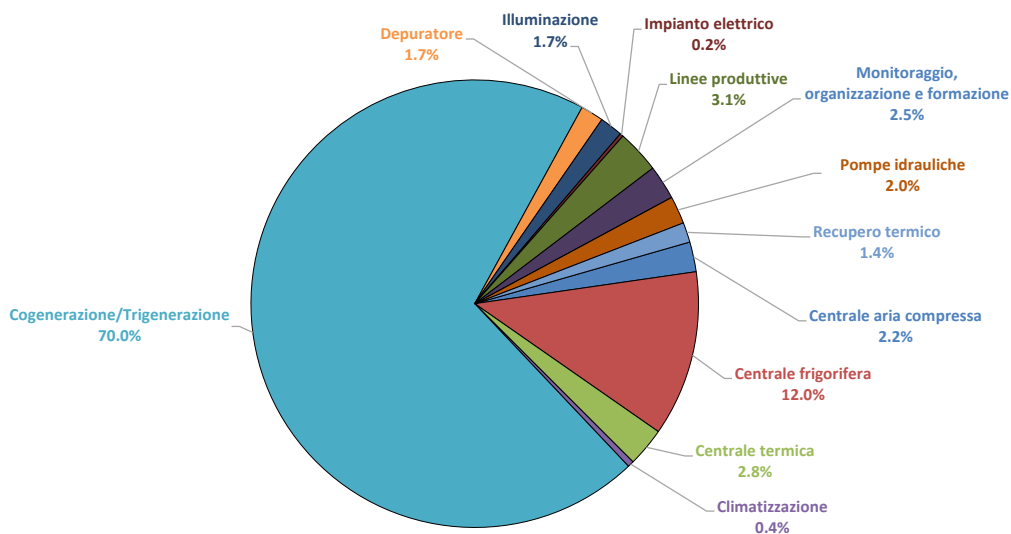


Figura 68. Ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi effettuati nel settore caseario

1.3.4 Analisi sugli interventi individuati

Nell'ambito delle diagnosi energetiche del settore caseario sono stati individuati 365 potenziali interventi di risparmio energetico (Figura 69), raggruppati in 15 categorie di intervento principali. In particolare, alle 12 categorie definite nel caso degli interventi effettuati, sono state aggiunte 3 ulteriori tipologie di intervento, relative a:

- installazione di impianti da fonti rinnovabili;
- motori elettrici;
- trattamento delle acque di processo.

Tra gli interventi individuati, oltre 100 riguardano l'efficiamento del sistema di illuminazione (55) e della centrale di produzione dell'aria compressa (52); seguono, in ordine di numerosità, gli interventi relativi alla centrale termica (32), l'installazione di impianti da fonti rinnovabili (32) e la realizzazione o il retrofitting di impianti di cogenerazione e trigenerazione (31). Per quanto riguarda il recupero dell'energia termica, sono stati individuati 30 interventi, di cui oltre due terzi relativi ai servizi ausiliari ed in particolare agli impianti di produzione dell'aria compressa (10), agli impianti di cogenerazione (6) ed ai condensatori evaporativi della centrale frigorifera (5); i restanti interventi riguardano, invece, il recupero di calore dalle linee di produzione, ed in particolare dal processo di raffreddamento del siero e del latte nei maturatori, dalle condense (di sterilizzazione e di processo), dal sistema di evaporazione e concentrazione della scotta e dal degaser del latte UHT (Figura 70).

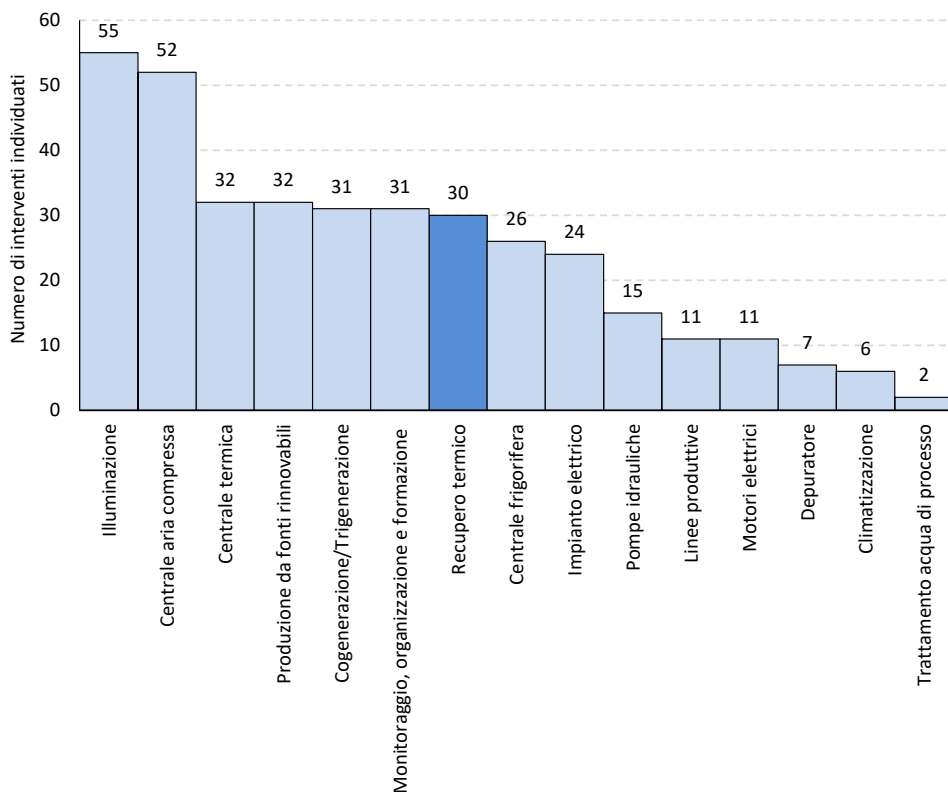


Figura 69. Numero e tipologia di interventi individuati nel settore casario

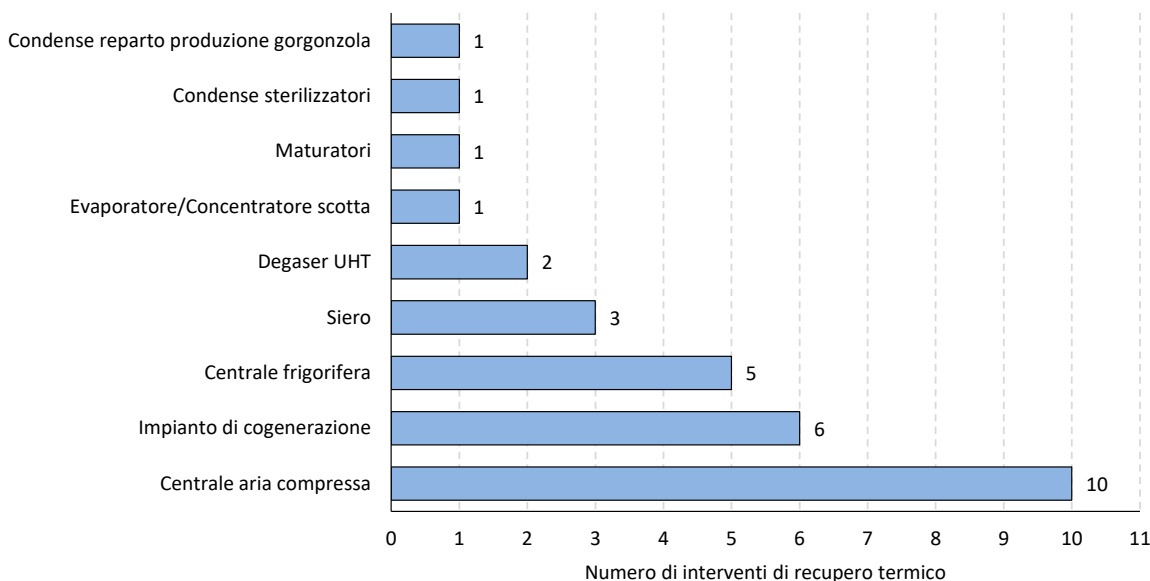


Figura 70. Numerosità e tipologie di interventi di recupero termico individuati nel settore casario

Relativamente agli interventi individuati, le diagnosi energetiche hanno fornito informazioni più dettagliate rispetto a quelle presenti per gli interventi effettuati. In particolare, dal punto di vista energetico, sono stati definiti i risparmi di energia elettrica, i risparmi di energia termica e i corrispondenti risparmi di combustibile. Dal punto di vista economico, invece, sono stati valutati il costo di investimento dei singoli interventi ed i principali indici di redditività, tra cui il valore attuale netto, il tempo di ritorno semplice o attualizzato ed il tasso interno di rendimento, per fissati valori dei costi dei vettori energetici e del tasso di interesse. Come evidenziato per gli interventi effettuati, in alcuni casi tali informazioni sono risultate solo parzialmente disponibili. Sulla base dei dati relativi ai risparmi di energia elettrica e termica, è stato possibile valutare, attraverso opportuni fattori di conversione ($1 \text{ kWh}_e = 0.187 \times 10^{-3} \text{ tep}$, $1 \text{ kWh}_t = 860 \times 10^{-7} / 0.9 \text{ tep}$), il risparmio

complessivo di energia primaria, espresso in tep/anno. A questo riguardo, la Figura 71 mette a confronto le funzioni di distribuzione dei risparmi annui di energia primaria per le diverse classi di intervento.

L'installazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione si conferma come l'intervento con il più elevato risparmio complessivo di energia primaria; come mostrato in Figura 71, la metà degli interventi consente di conseguire risparmi compresi tra circa 130 e 730 tep/anno, con valori di punta che superano i 1000 tep/anno; la grande variabilità dei risparmi stimati è da imputare non solo alle differenti dimensioni degli impianti, ma anche alle differenze in termini di tecnologie implementate; seguono, in ordine di risparmio medio di energia primaria conseguito, gli interventi relativi alla centrale frigorifera (83 tep/anno), gli interventi di recupero termico (72 tep/anno), l'installazione di impianti da fonti rinnovabili (60 tep/anno) e il retrofitting dell'impianto elettrico (58 tep/anno). Fatta eccezione per gli interventi sulla centrale termica (52 tep/anno), il risparmio medio di energia primaria per altre classi risulta inferiore ai 40 tep/anno, con valori minimi inferiori a 7 tep/anno nel caso dell'efficientamento dei motori elettrici.

Dal punto di vista economico, l'attenzione è stata focalizzata sul costo di investimento delle diverse categorie di intervento. Come evidenziato in Figura 72, l'installazione o il retrofitting di impianti di cogenerazione e trigenerazione rappresenta l'intervento con il costo di investimento medio più elevato (800 k€), seguito dalla realizzazione di impianti da fonti rinnovabili (296 k€) e dagli interventi di efficientamento della centrale frigorifera (199 k€).

Il costo di investimento delle altre tipologie di intervento presenta oscillazioni più contenute rispetto a quelle delle suddette categorie, con valori medi compresi tra 9000 € (motori elettrici) e 102 k€ (depuratore). Per quanto riguarda, in particolare, gli interventi di recupero di calore, nel 50% dei casi il costo di investimento risulta compreso tra 16 e 90 k€, mentre il valore medio si attesta sugli 87 k€.

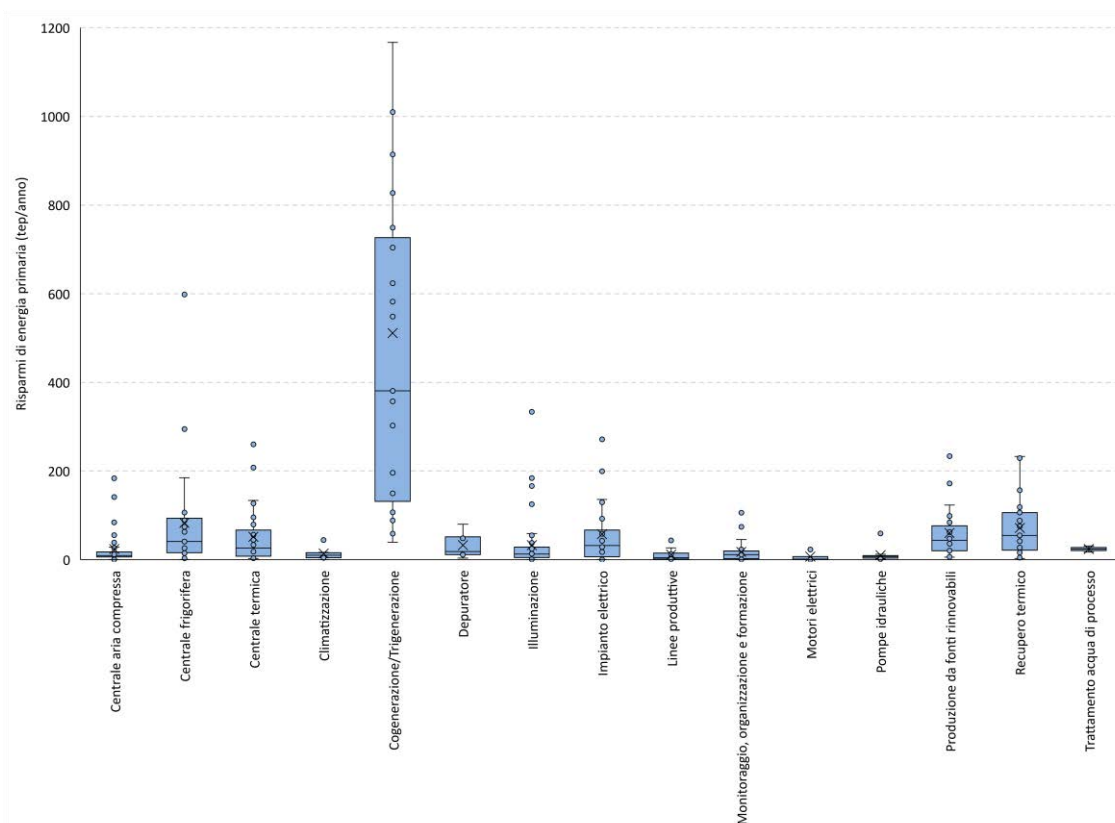


Figura 71. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria delle diverse classi di interventi individuati per il settore caseario

Tabella 45. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per le diverse classi di interventi individuati nel settore caseario

	<i>Centrale aria compressa</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Cogenerazione/ Trigenerazione</i>	<i>Depuratore</i>	<i>Illuminazione</i>	<i>Impianto elettrico</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Monitoraggio, organizzazione e formazione</i>	<i>Motori elettrici</i>	<i>Pompe idrauliche</i>	<i>Produzione da fonti rinnovabili</i>	<i>Recupero termico</i>	<i>Trattamento acqua di processo</i>
Dimensione campione	52	25	32	6	23	7	52	22	11	26	9	15	31	29	2
Minimo (tep/anno)	0.5	0.8	2.8	0.4	39.3	3.8	0.6	0.4	0.7	0.3	0.2	1.6	5.7	3.0	17.1
Quartile 1 (tep/anno)	6.3	15.7	8.2	4.7	131.7	11.6	5.0	6.9	1.7	2.3	0.6	3.9	20.4	21.4	20.6
Mediana (tep/anno)	9.6	41.1	26.5	10.1	381.0	18.6	12.7	31.9	4.8	11.5	1.7	7.1	44.0	55.0	24.1
Media (tep/anno)	24.2	83.0	51.9	14.3	510.9	32.8	33.1	58.0	11.6	17.6	7.0	10.0	60.5	71.6	24.1
Quartile 3 (tep/anno)	17.6	93.5	67.1	15.9	726.6	51.9	28.7	67.0	15.2	19.7	7.3	9.2	76.7	106.5	27.6
Massimo (tep/anno)	183.8	598.4	260.1	44.6	1870.0	80.0	333.8	271.8	43.5	106.3	26.6	59.4	243.1	233.0	31.0

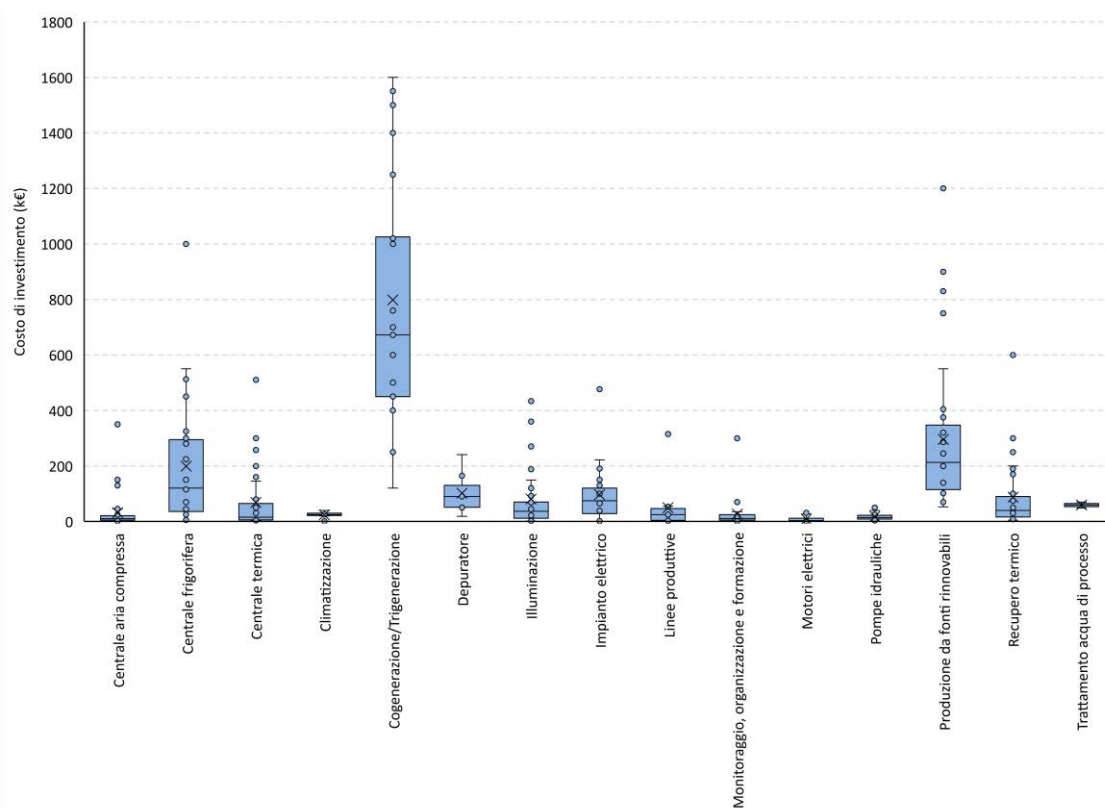


Figura 72. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di interventi individuati per il settore caseario

Tabella 46. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per le diverse classi di interventi individuati nel settore caseario

	<i>Centrale aria compressa</i>	<i>Centrale frigorifera</i>	<i>Centrale termica</i>	<i>Climatizzazione</i>	<i>Cogenerazione/Trigenerazione</i>	<i>Depuratore</i>	<i>Illuminazione</i>	<i>Impianto elettrico</i>	<i>Linee produttive</i>	<i>Monitoraggio, organizzazione e formazione</i>	<i>Motori elettrici</i>	<i>Pompe idrauliche</i>	<i>Produzione da fonti rinnovabili</i>	<i>Recupero termico</i>	<i>Trattamento acqua di processo</i>
Dimensione campione	48	26	32	6	31	7	53	23	11	26	9	15	31	29	2
Minimo (k€)	1.0	1.2	3.0	0.7	120.0	18.5	1.5	1.2	1.5	0.2	0.4	2.0	52.4	5.0	48.1
Quartile 1 (k€)	5.0	35.9	5.8	21.3	450.0	51.3	12.0	28.2	4.0	5.0	1.1	9.0	115.0	16.0	53.7
Mediana (k€)	10.0	120.3	15.5	25.0	672.0	90.0	36.6	75.0	25.0	11.3	3.5	14.0	213.2	40.0	59.3
Media (k€)	31.6	199.4	68.4	23.7	798.4	101.9	80.6	96.7	49.4	26.6	9.0	17.5	295.9	87.3	59.3
Quartile 3 (k€)	21.1	295.0	65.0	29.9	1025.0	130.5	70.2	120.3	46.5	25.0	11.6	22.5	347.5	90.0	64.9
Massimo (k€)	350.0	1000.0	510.0	40.0	1600.0	241.0	433.3	476.5	315.0	300.0	30.8	50.0	1200.0	600.0	70.5

Per quanto riguarda gli indici di redditività, non si è ritenuto opportuno procedere ad un'analisi di dettaglio come nel caso dei costi di investimento, sia per il minor numero di dati a disposizione, sia per il fatto che tali grandezze non risultano direttamente confrontabili tra loro all'interno delle diverse categorie di intervento, essendo dipendenti dalle assunzioni relative ai parametri economici, tra cui la vita utile dell'intervento, il tasso di interesse e quello di inflazione, i costi dei vettori energetici impiegati (energia elettrica, gas naturale, ecc.) e il numero di ore di funzionamento dell'impianto.

Focalizzando l'attenzione sugli interventi di recupero di calore, la Figura 73 mette in evidenza come i risparmi di energia primaria conseguibili presentino una certa variabilità anche all'interno della medesima tipologia di intervento, più o meno accentuata anche in rapporto alla numerosità dei casi di studio considerati. Tra gli interventi di recupero relativi ai servizi ausiliari, quelli realizzati in corrispondenza dell'impianto di cogenerazione offrono mediamente i risparmi più elevati (131 tep/anno), seguiti da quelli inerenti al condensatore evaporativo della centrale frigorifera (89 tep/anno) e all'impianto di produzione dell'aria

compressa (32 tep/anno). Rispetto al caso degli interventi sui servizi ausiliari, i risparmi associati agli interventi sulle linee produttive mostrano una variabilità più accentuata, dovuta principalmente alla molteplicità dei processi di recupero termico considerati. Si nota, in particolare, che il 50% di tali interventi è caratterizzato da un risparmio di energia primaria inferiore a circa 40 tep/anno, mentre il valor medio si attesta sui 73 tep/anno.

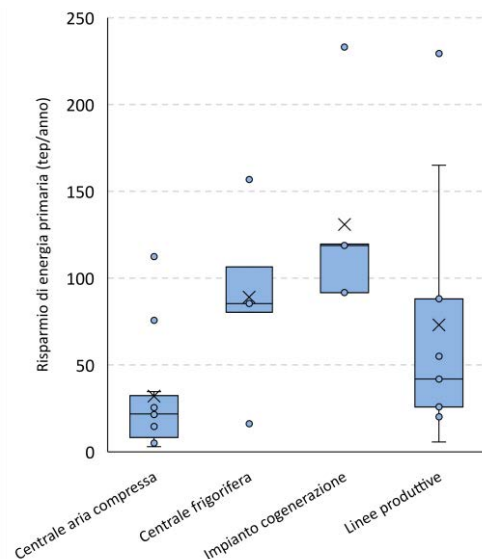


Figura 73. Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi di recupero di calore individuati nel settore caseario

La Figura 74 mette a confronto i costi di investimento degli interventi di recupero di calore operati sui servizi ausiliari (impianto di cogenerazione, condensatore evaporativo della centrale frigorifera, centrale dell’aria compressa) e sulle linee produttive. In particolare, si evidenzia che gli interventi di recupero di calore operati sull’impianto di produzione dell’aria compressa prevedono il minor impegno di capitali, con un costo medio di investimento di poco superiore ai 18 k€; seguono gli interventi relativi alle linee produttive (55.6 k€), alla centrale frigorifera (79.4 k€) ed al cogeneratore (290 k€). In quest’ultimo caso, in particolare, si nota una maggiore dispersione dei dati di costo rispetto alle altre tipologie di intervento di recupero, come già evidenziato per gli interventi relativi all’installazione o retrofitting di impianti di cogenerazione (Figura 72). Infine, la Figura 75 mette in evidenza come il recupero di calore operato sul cogeneratore offra dei risparmi di energia primaria specifici, ovvero riferiti all’unità di costo di investimento, più contenuti rispetto alle altre tipologie di intervento considerate; con riferimento ai valori medi, il risparmio specifico oscilla, infatti, tra 0.75 ktep/€*anno (impianto di cogenerazione) a 1.7 ktep/€*anno (centrale aria compressa), attestandosi intorno ad 1.4 ktep/€*anno per interventi operati sulle linee produttive.

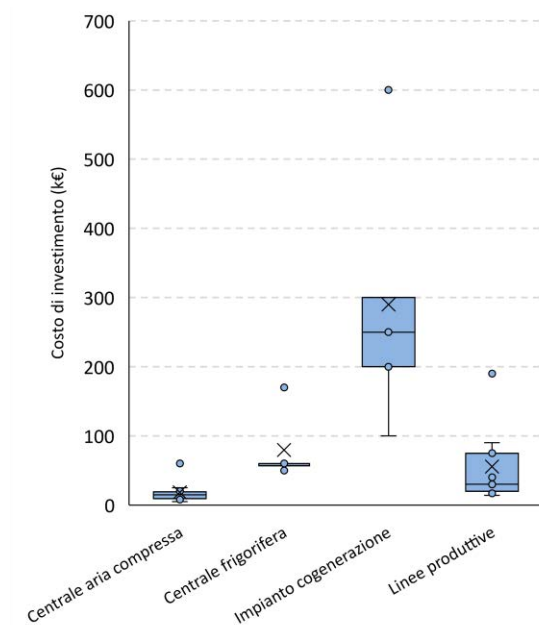


Figura 74. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione dei costi di investimento degli interventi di recupero termico individuati per il settore caseario

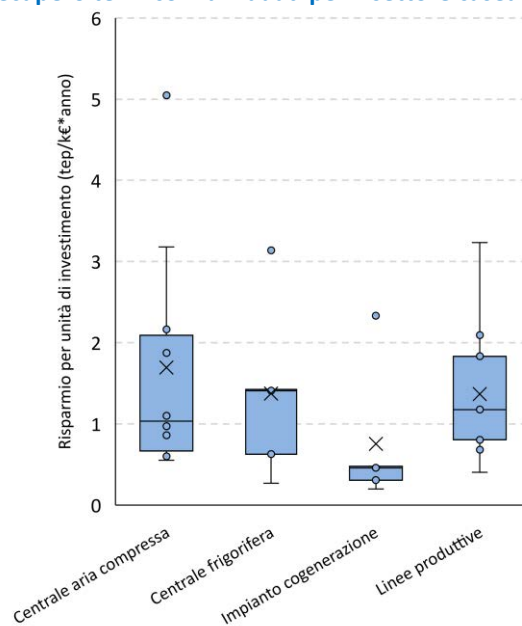


Figura 75. Caratterizzazione delle funzioni di distribuzione dei risparmi annui di energia primaria per unità di costo di investimento degli interventi di recupero termico individuati per il settore caseario

Sempre con riferimento agli interventi di recupero termico, i dati estrapolati dalle diagnosi energetiche hanno permesso di definire delle correlazioni tra i risparmi di energia primaria ed i corrispondenti costi di investimento. A questo proposito, le Figura 76-Figura 77 riportano l'andamento dei risparmi annuali di energia primaria in funzione del costo di investimento per gli interventi di recupero termico relativi alla centrale dell'aria compressa e alle linee produttive rispettivamente. In entrambi i casi, il risparmio cresce in maniera pressoché lineare con il costo di investimento, con una pendenza più elevata per il caso degli interventi di recupero sulla centrale dell'aria compressa rispetto a quello degli interventi di recupero sulle linee produttive.

Per le altre tipologie di recupero di calore (centrale frigorifera e impianto di cogenerazione), i dati a disposizione non hanno consentito di stabilire alcuna relazione tra il risparmio annuale ed il relativo costo di investimento.

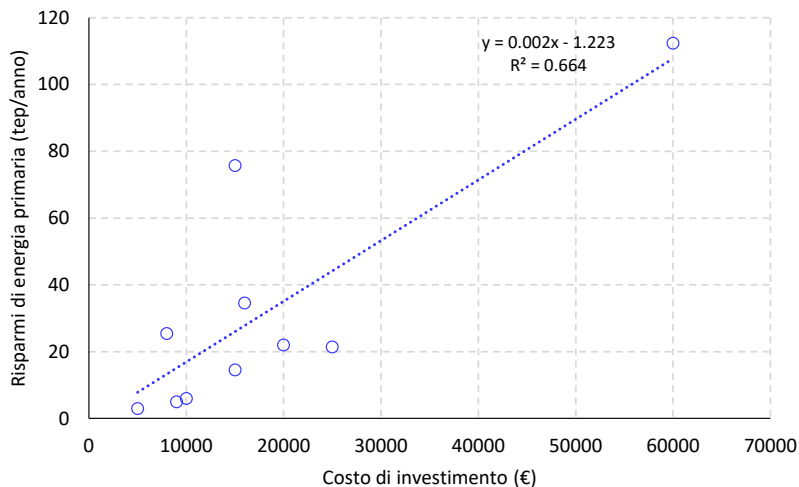


Figura 76. Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi alla centrale dell’aria compressa

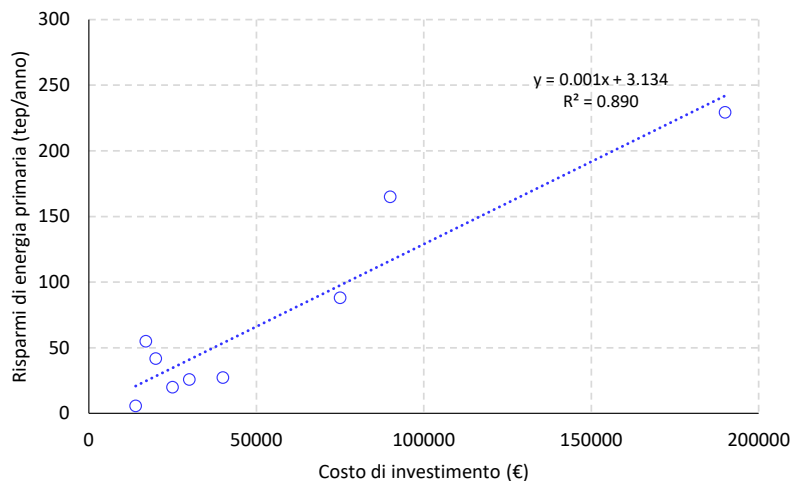


Figura 77. Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi alle linee produttive

Inoltre, sulla base dei dati dei risparmi di energia termica e dei corrispondenti costi di investimento degli interventi di recupero di calore, è stato possibile valutare il tempo di ritorno semplice, fissando i costi dei vettori energetici a cui sono associati delle corrispondenti riduzioni di consumo. In particolare, si è ipotizzato che il costo del gas naturale sia pari a 0.25 €/Sm³ ed il costo dell’energia elettrica prelevata dalla rete corrisponda a 15 c€/kWh.

La Figura 78 mostra l’andamento del tempo di ritorno semplice in funzione dei risparmi di energia primaria, per le 4 tipologie di intervento di recupero di calore esaminate. Si nota come gli interventi inerenti alla centrale dell’aria compressa e alle linee produttive presentino tempi di ritorno semplici più contenuti e allo stesso tempo meno influenzati dall’entità dei risparmi energetici rispetto a quelli riguardanti la centrale frigorifera e gli impianti di cogenerazione.

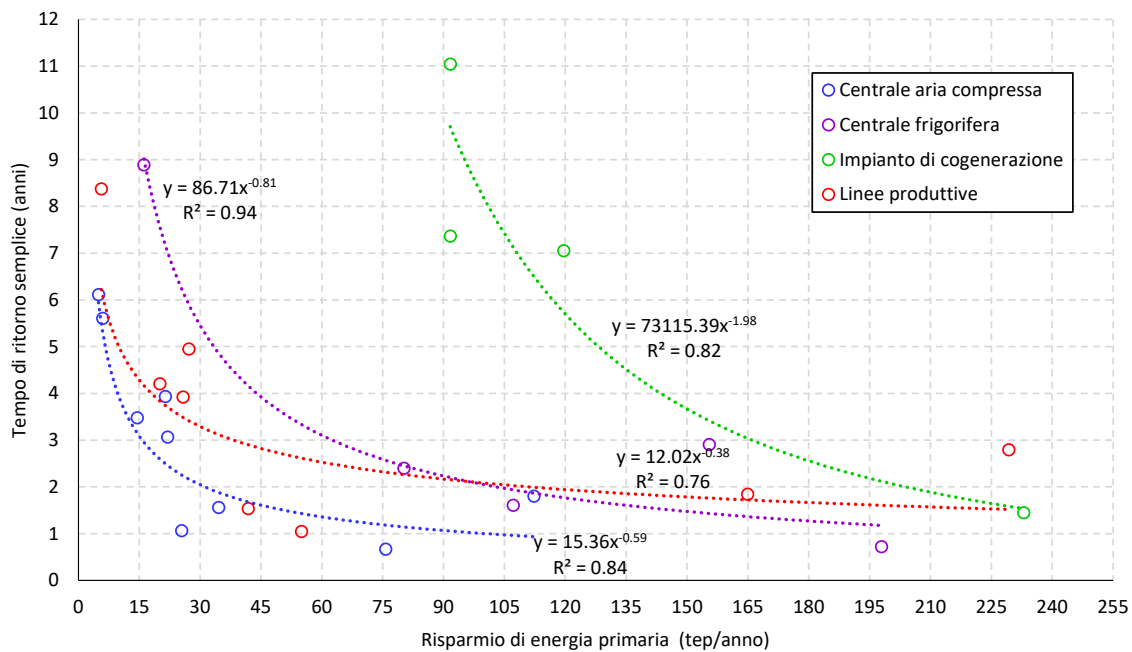


Figura 78. Tempo di ritorno semplice degli interventi di recupero termico individuati nel settore caseario, calcolati assumendo un costo del gas naturale di 0.25 €/Sm³ ed un costo dell'energia elettrica di 15 c€/kWh

Infine il diagramma a torta di Figura 79 evidenzia la ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di intervento di risparmio energetico. Rispetto al caso degli interventi realizzati, il contributo degli impianti di cogenerazione e trigenerazione si riduce in maniera significativa (dal 70% al 45.5%), in favore di quello associato alla realizzazione di impianti da fonti rinnovabili (16.9%) e agli interventi di recupero di calore (4.7%). Si nota, inoltre, una non trascurabile flessione degli investimenti associati all'efficiamento della centrale frigorifera, che si riduce dal 12% al 9.5%.

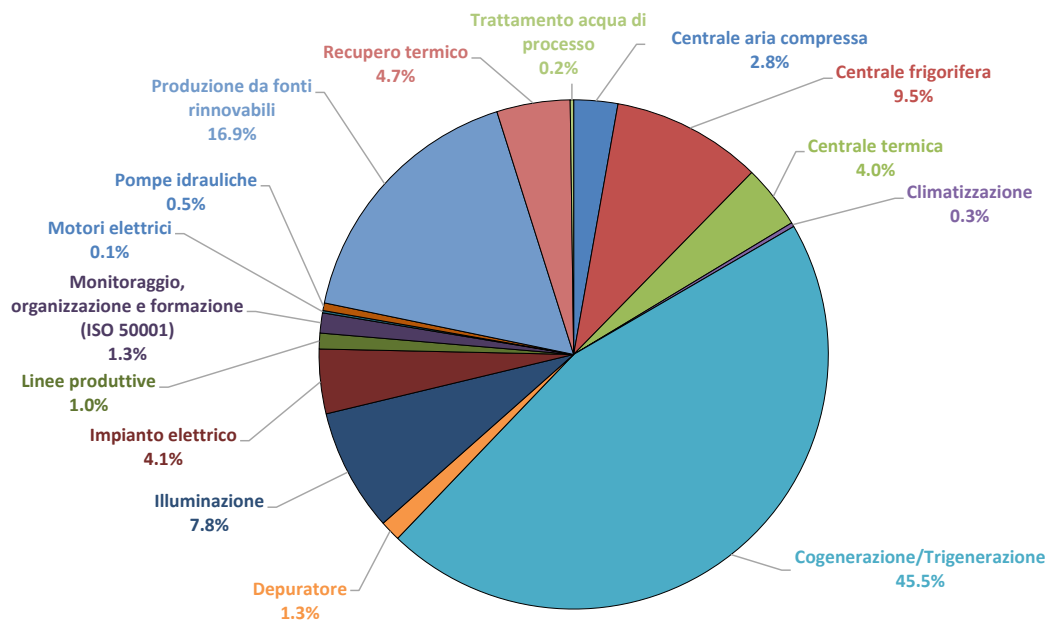


Figura 79. Ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi individuati nel settore caseario

1.3.5 Integrazione del database con i dati del settore

Il database dei casi di studio è stato ulteriormente arricchito attraverso l'integrazione dei dati relativi ai 30 interventi di recupero termico individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche del settore caseario.

Rispetto ai casi di studio individuati nella precedente annualità (relativi a progetti di recupero nel processo di produzione del latte in polvere), i nuovi casi di studio hanno fornito un quadro più esaustivo circa:

- le possibili soluzioni di recupero del calore di scarto generato in seno alle diverse filiere produttive del settore caseario (produzione di latte fresco pastorizzato, panna, yogurt, formaggi, ecc.) o ai relativi servizi ausiliari;
- i possibili utilizzi del calore recuperato;
- le tecnologie impiegate;
- le prestazioni energetiche ed economiche degli interventi proposti.

A questo proposito, la Tabella 47 mette in relazione i diversi interventi di recupero individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche ed i relativi utilizzi del calore di scarto. Si nota come, in tutte le soluzioni proposte, il calore sia recuperato internamente allo stabilimento stesso. In particolare, nel caso di interventi relativi alla centrale di produzione dell'aria compressa, il calore recuperato è prevalentemente destinato alla produzione di acqua calda ad usi sanitari o per il riscaldamento degli ambienti; ulteriori utilizzi comprendono il riscaldamento dell'acqua della batteria calda dell'unità di trattamento dell'aria (UTA) o ancora il preriscaldamento dell'acqua di alimento in caldaia e dell'acqua dei sistemi CIP. Quest'ultimo rappresenta l'utilizzo prevalente nel caso di interventi di recupero operati sugli impianti di cogenerazione, a cui si affiancano il preriscaldamento dell'acqua di reintegro alla caldaia, la produzione di acqua gelida attraverso l'integrazione di un chiller ed il riscaldamento del siero in fase di pastorizzazione. Il calore recuperato dalla centrale frigorifera, attraverso interventi legati al condensatore evaporativo, è impiegato per il preriscaldamento dell'acqua di alimento in caldaia e dell'acqua dei lavaggi CIP, oltre che per il preriscaldamento dell'acqua di reintegro alla caldaia.

Nel caso degli interventi associati alle linee produttive, il calore di scarto viene riutilizzato sia all'interno dei processi stessi, ovvero per il preriscaldamento del latte magro, per la riattivazione del latte crudo ed il preriscaldamento dell'acqua dei lavaggi CIP, che per il preriscaldamento dell'acqua, dell'aria comburente e del combustibile in alimento alla caldaia. Un'ulteriore forma di recupero termico è costituita dal recupero delle condense degli sterilizzatori, che supportano la produzione di vapore ad uso dei processi produttivi.

Per quanto riguarda i livelli di temperatura delle sorgenti di calore di scarto, le diagnosi energetiche hanno fornito dati piuttosto frammentari, sulla base dei quali non è stato possibile condurre un'analisi statistica dettagliata. In particolare, i dati disponibili riguardano principalmente gli interventi di recupero associati ai processi produttivi ed in particolare al recupero di calore dal siero (50-60°C) e dal degaser UHT (70-90°C). Nelle altre tipologie di intervento, invece, il dato relativo alla temperatura della sorgente è assente o presente in unico caso di studio. Tuttavia, sulla base dei dati di temperatura a disposizione e delle tipologie di interventi di recupero, si può concludere che la totalità degli interventi proposti è basata sul recupero di calore a bassa temperatura.

Tabella 47. Utilizzo del calore di scarto negli interventi di recupero di calore individuati nel settore caseario

Intervento di	Centrale aria compressa	Impianto di cogeneratore	Centrale frigorifera	Condense sterilizzatori	Degaser UHT	Evaporatore/ concentratore scotta	Maturatori	Condense reparto produzione gorgonzola	Siero
Utilizzo del calore di scarto									
Preriscaldamento latte	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Riattivazione del latte crudo	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Riscaldamento siero in fase di pastorizzazione	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Recupero condense	-	-	-	1	-	-	-	1	-
Preriscaldamento acqua dei lavaggi CIP	1	3	2	-	-	-	1	-	1
Produzione di acqua calda sanitaria/Riscaldamento ambienti	7	-	-	-	-	-	-	-	-
Riscaldamento acqua batteria calda UTA	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Preriscaldamento dell'acqua di alimento in caldaia	1	-	2	-	1	-	-	-	-
Preriscaldamento dell'aria comburente e del combustibile	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Preriscaldamento acqua demineralizzata di reintegro alla caldaia	-	1	1	-	-	-	-	-	-
Produzione di acqua glicolata a 0°C	-	1	-	-	-	-	-	-	-

La Figura 80 riassume le tecnologie di recupero di calore adottate nei diversi interventi di recupero. Si nota come gli scambiatori di calore, eventualmente integrati con sistemi di accumulo termico, rappresentino la tecnologia più utilizzata sia negli interventi relativi ai servizi ausiliari che in quelli relativi ai processi produttivi;

nel primo caso, infatti, il recupero di calore è operato attraverso scambiatori di calore in 17 interventi su un totale di 21; i restanti interventi prevedono, invece, l'impiego di canalizzazioni o camini per l'invio dell'aria di raffreddamento dei compressori ai reparti produttivi (intervento sulla centrale dell'aria compressa) o l'installazione di una macchina frigorifera ad assorbimento (intervento sull'impianto di cogenerazione).

Nel caso del recupero sulle linee produttive, gli scambiatori rappresentano praticamente l'unica tecnologia impiegata, ad eccezione del recupero delle condense degli sterilizzatori, operato attraverso un opportuno sistema di raccolta.

Si evidenzia, inoltre, che tutti gli interventi individuati nell'ambito delle diagnosi prevedano il ricorso a tecnologie già pienamente consolidate.

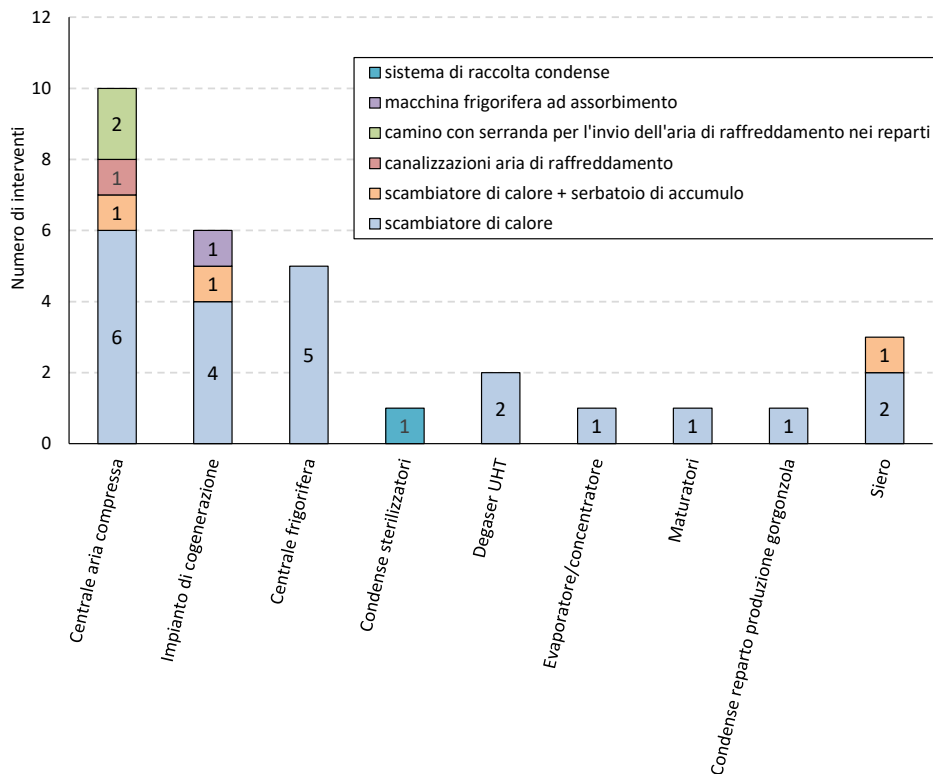


Figura 80. Definizione delle tecnologie di recupero di calore adottate negli interventi individuati nel settore caseario

Infine, le Tabella 48-Tabella 51 riportano i dati degli interventi di recupero di calore estrapolati dalle diagnosi energetiche e inseriti nel database dei casi di studio; in particolare, per ciascun caso, sono riportati i dati inerenti al tipo di settore e al sotto-settore coinvolti (Tabella 48), al processo che produce il calore di scarto (Tabella 49), alla tecnologia che opera il recupero e l'eventuale trasformazione del calore di scarto (Tabella 50), e al processo che riceve il calore recuperato (Tabella 51).

Tabella 48. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore caseario: caratterizzazione dei settori

Identificativo			Aziende			
ID doc	ID caso	Ref.	Riferimento geografico	Settori coinvolti (produzione calore)	Sottosettore	Altri settori coinvolti (utilizzo calore)
1	1		Italia	Alimentare	10.51.20	
2	2		Italia	Alimentare	10.51.10	
3	3		Italia	Alimentare	10.51.20	
4	4		Italia	Alimentare	10.51.20	
5	5		Italia	Alimentare	10.51.20	
6	6		Italia	Alimentare	10.51.10	
6	7		Italia	Alimentare	10.51.10	
6	8		Italia	Alimentare	10.51.10	
7	9		Italia	Alimentare	10.51.20	

8	10		Italia	Alimentare	10.51.10	
9	11		Italia	Alimentare	10.51.20	
9	12		Italia	Alimentare	10.51.20	
10	13		Italia	Alimentare	10.51.20	
11	14		Italia	Alimentare	10.51.20	
11	15		Italia	Alimentare	10.51.20	
12	16		Italia	Alimentare	10.51.20	
12	17		Italia	Alimentare	10.51.20	
12	18		Italia	Alimentare	10.51.20	
12	19		Italia	Alimentare	10.51.20	
12	20		Italia	Alimentare	10.51.20	
13	21		Italia	Alimentare	10.51.20	
14	22		Italia	Alimentare	10.51.20	
14	23		Italia	Alimentare	10.51.20	
15	24		Italia	Alimentare	10.51.20	
16	25		Italia	Alimentare	10.51.10	
17	26		Italia	Alimentare	10.51.10	
18	27		Italia	Alimentare	10.51.20	
19	28		Italia	Alimentare	10.51.20	
20	29		Italia	Alimentare	10.51.10	
21	30		Italia	Alimentare	10.51.20	

Tabella 49. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore caseario: caratterizzazione dei processi con produzione di calore di scarto

Identificativo			Produzione calore di scarto					
ID doc	ID caso	Ref.	Processo che genera calore di scarto	Vettore	Quantità (potenza termica o calore prodotto)	Stagionalità	Temperatura	Portata
1	1		Compressione aria	Olio di raffreddamento del compressore/aria di raffreddamento				
2	2		Lavorazione del latte crudo in caldaia	Siero di latte		8000 h/anno	54°C	
3	3		Raffreddamento del siero di latte nella torre evaporativa	Siero di latte	405 kW	8760 h/anno	50°C	20.9 m³/h
4	4		Compressione aria	Olio di raffreddamento del compressore		1600 h/anno		
5	5		Raffreddamento del latte UHT in uscita dal degaser	Latte UHT			86°C	17021172 kg/anno
6	6		Raffreddamento del motore dell'impianto di trigenerazione	Acqua di raffreddamento		8400 h/anno	90°C	
6	7		Raffreddamento del motore dell'impianto di trigenerazione	Acqua di raffreddamento	1069.6 kW	4900 h/anno	90°C	
6	8		Raffreddamento del siero di latte a monte del processo di concentrazione	Siero di latte			50°C	121317852 kg/anno
7	9		Raffreddamento del motogeneratore dell'impianto di trigenerazione	Acqua di raffreddamento	450 kW		90°C	
8	10		Compressione aria	Scarichi del compressore				
9	11		Raffreddamento del latte nei maturatori	Latte nei maturatori			90°C	
9	12		Compressione aria					
10	13		Compressione aria					
11	14		Compressione aria	Aria di raffreddamento				
11	15		Raffreddamento dell'acqua nella torre evaporativa asservita alla centrale frigo	Acqua di raffreddamento				
12	16		Compressione aria	Aria di raffreddamento				
12	17		Raffreddamento dell'acqua nella torre evaporativa asservita alla centrale frigo	Acqua di raffreddamento				

12	18		Generazione calore da cogenerazione	Acqua proveniente dal circuito di teleriscaldamento			90°C	
12	19		Generazione calore da cogenerazione	Acqua proveniente dal circuito di teleriscaldamento			90°C	
12	20		Produzione gorgonzola	Condense di vapore di processo				
13	21		Condensazione dell'ammoniaca evolvente nella centrale frigorifera	Ammoniaca				
14	22		Condensazione dell'ammoniaca evolvente nella centrale frigorifera	Ammoniaca				
14	23		Generazione calore da cogenerazione	Acqua				
15	24		Compressione aria	Olio di raffreddamento del compressore/aria di raffreddamento				
16	25		Uperizzazione del latte	Acqua di torre necessaria a mantenere il degaser in depressione			70°C	
17	26		Sterilizzazione latte	Condense di vapore degli sterilizzatori				
18	27		Compressione aria	Olio di raffreddamento del compressore/aria di raffreddamento				
19	28		Evaporazione e concentrazione della scotta	Scotta ovina				
20	29		Compressione aria	Aria di raffreddamento				
21	30		Condensazione del fluido frigorifero evolvente nel chiller	Fluido frigorifero				

Tabella 50. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore caseario: caratterizzazione delle tecnologie di recupero di calore impiegate

Identificativo		Processo di recupero				
ID doc	ID caso	Ref.	Tecnologia di recupero impiegata	Stadio di sviluppo della tecnologia	Vettore di scambio	Quantità vettore di scambio
1	1		Scambiatore olio o aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
2	2		2 scambiatori a piastre + pompa di circolazione	Tecnologia consolidata	Acqua	
3	3		3 scambiatori a piastre + serbatoio di accumulo (20 m3)	Tecnologia consolidata	Acqua calda per lavaggi e ad uso sanitario o latte in fase di riattivazione	
4	4		Scambiatore olio/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
5	5		Scambiatore latte UHT/latte da pastorizzare	Tecnologia consolidata	Latte da pastorizzare	17021172 kg/anno
6	6		Scambiatore di calore acqua di raffreddamento/acqua demineralizzata + serbatoio di accumulo acqua demineralizzata	Tecnologia consolidata	Acqua demineralizzata	15380 t/anno
6	7		Macchina frigorifera ad assorbimento ad ammoniaca da 432 kWf	Tecnologia consolidata	Ammoniaca	
6	8		Scambiatore di calore siero/latte crudo	Tecnologia consolidata	Latte crudo	131427673 kg/anno
7	9		Scambiatore acqua/siero di latte	Tecnologia consolidata	Siero	50000 l/h
8	10		Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua dei lavaggi CIP	
9	11		Scambiatore latte/acqua di lavaggio da 700 kW	Tecnologia consolidata	Acqua di lavaggio	12000 l/h
9	12		Scambiatore di calore + sistema di accumulo	Tecnologia consolidata	Acqua batteria calda UTA (inverno) o acqua lavaggio (estate)	
10	13		Scambiatore di calore	Tecnologia consolidata	Acqua di alimento delle caldaie per la climatizzazione dei	

					reparti produttivi e del deposito	
11	14		Camino con serranda per l'invio dell'aria di raffreddamento nei reparti	Tecnologia consolidata	Aria dei reparti o aria ambiente	
11	15		Scambiatore di calore acqua di raffreddamento/acqua di alimento CIP	Tecnologia consolidata	Acqua dei lavaggi CIP	
12	16		Camino con serranda per l'invio dell'aria di raffreddamento nei reparti	Tecnologia consolidata	Aria dei reparti o aria ambiente	
12	17		Scambiatore di calore acqua di raffreddamento/acqua demineralizzata di reintegro all'impianto a vapore	Tecnologia consolidata	Acqua demineralizzata di reintegro all'impianto a vapore	
12	18		Scambiatore acqua/soluzione di lavaggio (soda e acido)	Tecnologia consolidata	Soluzione di lavaggio (soda e acido)	
12	19		Scambiatore acqua/soluzione per macchina di lavaggio	Tecnologia consolidata	Soluzione per macchina di lavaggio	
12	20		Scambiatore a doppia sezione	Tecnologia consolidata		
13	21		Scambiatore ammoniaca/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua di alimento della caldaia	
14	22		Scambiatore ammoniaca/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua dei lavaggi CIP	
14	23		Scambiatore di calore acqua/acqua di lavaggio	Tecnologia consolidata	Acqua dei lavaggi CIP	
15	24		Scambiatore olio o aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
16	25		Scambiatore acqua/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua di alimento della caldaia	
17	26		Sistema di raccolta condense	Tecnologia consolidata		
18	27		Scambiatore olio o aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
19	28		Scambiatore a fascio tubiero scotta/aria comburente e/o combustibile	Tecnologia consolidata	Aria comburente in alimento alla caldaia e/o combustibile	
20	29		Canalizzazioni aria di raffreddamento	Tecnologia consolidata	Aria officina	
21	30		Scambiatore di calore fluido frigorifero/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua di alimento in caldaia	

Tabella 51. Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore caseario: caratterizzazione dei processi che utilizzato il calore di scarto

Identificativo			Utilizzo calore di scarto				
ID doc	ID caso	Ref.	Processo che riceve calore	Interno/ esterno	Valorizzazione calore di scarto	Quantità (flusso, potenza o energia prodotta)	Temperatura utilizzo
1	1		Produzione di acqua calda sanitaria ad uso degli spogliatoi	Interno	Energia termica	266175 kWh/anno	
2	2		Preriscaldamento del latte magro	Interno	Energia termica		27°C
3	3		Produzione di acqua calda per lavaggi e ad uso sanitario o riattivazione del latte	Interno	Energia termica	425520 kWh/anno (di cui il 50% è utilizzata per soddisfare i fabbisogni delle utenze)	
4	4		Produzione di acqua calda da utilizzare parallelamente alle caldaie	Interno	Energia termica	51982.7 kWh/anno	
5	5		Preriscaldamento del latte da avviare alla pastorizzazione	Interno	Energia termica	285303 kWh/anno	70.5°C
6	6		Preriscaldamento acqua demineralizzata	Interno	Energia termica	1251825 kWh/anno	85-87°C
6	7		Produzione di acqua glicolata a 0°C	Interno	Energia frigorifera		0°C
6	8		Riattivazione del latte crudo	Interno	Energia termica	1726099 kWh/anno	18°C
7	9		Riscaldamento siero in fase di pastorizzazione	Interno	Energia termica		70°C
8	10		Preriscaldamento acqua dei lavaggi CIP	Interno	Energia termica	63000 kWh/anno	
9	11		Riscaldamento acqua di lavaggio	Interno	Energia termica	575400 kWh/anno	75°C
9	12		Riscaldamento acqua batteria calda UTA (inverno) o acqua lavaggio (estate)	Interno	Energia termica	224406 kWh/anno	
10	13		Riscaldamento acqua di alimento delle caldaie per la climatizzazione dei reparti produttivi e del deposito	Interno	Energia termica	152140 kWh/anno	

11	14		Riscaldamento aria dei reparti (inverno)/aria ambiente (estate)	Interno	Energia termica	1175369.58 kWh/anno	
11	15		Preriscaldamento acqua dei lavaggi CIP	Interno	Energia termica	1371043.94 kWh/anno	
12	16		Riscaldamento aria dei reparti (inverno)/aria ambiente (estate)	Interno	Energia termica	792565.55 kWh/anno	
12	17		Preriscaldamento acqua demineralizzata di reintegro all'impianto a vapore	Interno	Energia termica	1856595.23 kWh/anno	30°C
12	18		Riscaldamento soluzione di lavaggio (soda e acido)	Interno	Energia termica	959000 kWh/anno	
12	19		Preriscaldamento soluzione per macchina di lavaggio	Interno	Energia termica	959000 kWh/anno	
12	20		Recupero condense	Interno	Energia termica	2400000 kWh/anno	90°C
13	21		Preriscaldamento acqua di alimento della caldaia	Interno	Energia termica	128762.05 kWh/anno	60-65°C
14	22		Preriscaldamento acqua dei lavaggi CIP	Interno	Energia termica	1007189.75 kWh/anno	
14	23		Preriscaldamento acqua dei lavaggi CIP	Interno	Energia termica	2438315.04 kWh/anno	
15	24		Produzione acqua calda sanitaria o riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	362000 kWh/anno	
16	25		Preriscaldamento acqua di alimento della caldaia	Interno	Energia termica	270000 kWh/anno	
17	26		Recupero condense	Interno	Energia termica	210000 kWh/anno	
18	27		Produzione acqua calda sanitaria o riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	230160 kWh/anno	
19	28		Preriscaldamento dell'aria comburente e del combustibile	Interno	Energia termica	59000 kWh/anno	
20	29		Riscaldamento officina	Interno	Energia termica		
21	30		Preriscaldamento dell'acqua di alimento in caldaia	Interno	Energia termica	840000 kWh/anno	

1.3.6 Integrazione delle mappe con i dati del settore

Grazie all'analisi delle diagnosi energetiche, è stato portato a compimento anche il processo di mappatura delle sorgenti di calore di scarto, che nel corso della precedente annualità aveva riguardato il solo processo di produzione del latte pastorizzato [1].

In particolare, da circa il 20% del totale delle diagnosi analizzate, è stato possibile estrapolare schemi di processi e dati utili alla caratterizzazione dei principali processi di produzione del settore caseario.

Le nuove informazioni acquisite hanno permesso, da un lato, di perfezionare la mappa dei flussi di calore di scarto del processo di produzione del latte pastorizzato e, dall'altro, di definire le mappe relative ai processi di produzione di ulteriori prodotti, quali:

- latte UHT;
- panna fresca pastorizzata;
- burro;
- formaggio molle;
- formaggio fresco;
- formaggio duro;
- yogurt;
- ricotta;
- paste filate.

Con riferimento ai suddetti prodotti, sono state estrapolate dalle diagnosi (ove disponibili) le informazioni riguardanti la sequenza delle fasi di produzione, le tipologie di vettori termici impiegati e le corrispondenti condizioni operative (pressione e temperatura) ed infine i livelli di temperatura delle materie prime e dei prodotti intermedi e finali nelle diverse fasi di lavorazione.

Focalizzando l'attenzione sul caso del latte pastorizzato e mettendo a confronto le informazioni desunte dalle diagnosi energetiche con quelle presenti nella mappa definita nel corso della prima annualità del progetto (Figura 81), è emerso come la sequenza delle fasi del processo produttivo sia effettivamente più complessa

rispetto a quella riportata negli studi di letteratura. L'indagine condotta sulle diagnosi non ha tuttavia fornito ulteriori informazioni circa l'entità delle portate delle sorgenti di calore di scarto per unità di prodotto, in quanto l'esiguo numero di dati a disposizione non ha permesso di calcolare dei valori medi significativi dal punto di vista statistico.

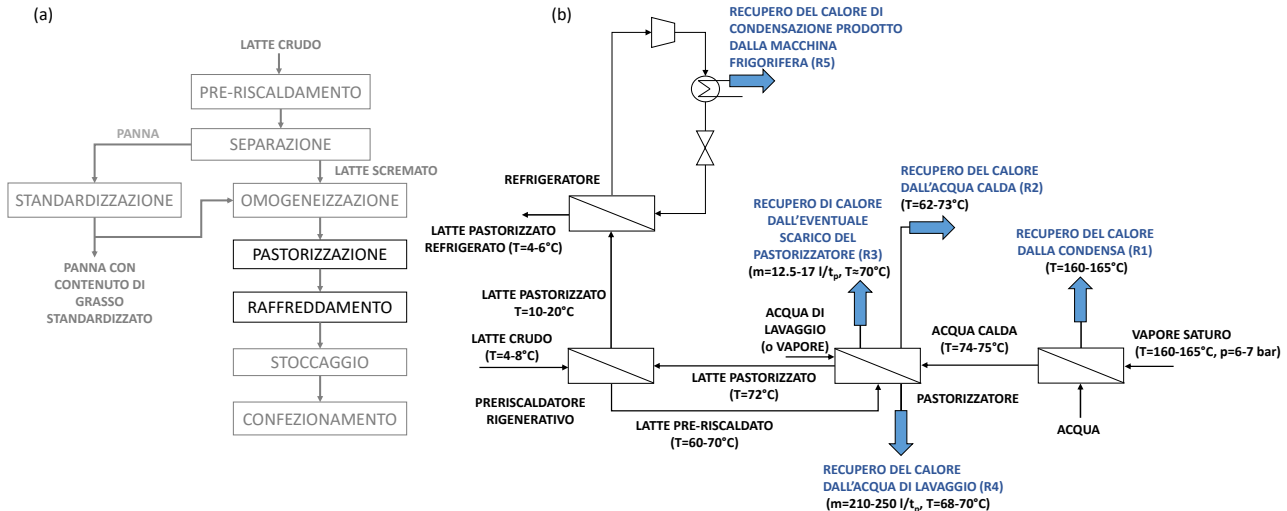


Figura 81. Pre-mappatura del processo di produzione del latte pastorizzato: sequenza delle fasi del processo produttivo (a) e identificazione delle potenziali sorgenti di calore di scarto (b) [1]

Integrando l'insieme delle informazioni a disposizione, è stata elaborata una nuova mappa (Tabella 52), che fornisce in maniera più schematica ed esaustiva l'insieme delle potenziali fonti di calore di scarto associate alle diverse fasi del processo. Come mostrato in Tabella 52, la mappa definisce la:

- la sequenza delle fasi, con identificazione di quelle con potenziale generazione del calore di scarto;
- il possibile intervallo di temperatura delle materie prime in ingresso e dei prodotti intermedi e finali;
- i vettori energetici impiegati, con l'indicazione dei possibili livelli di temperatura e pressione (ove disponibili);
- le tipologie di recupero termico possibili, ordinate secondo il livello di temperatura della sorgente di calore (da quella più elevata a quella più bassa).

In particolare, le fasi con potenziale generazione del calore di scarto sono state suddivise in due categorie principali, ovvero fasi con "generazione diretta" e fasi con "generazione indiretta". Le prime (evidenziate in color arancio) determinano la produzione di calore a bassa temperatura per mezzo del vettore termico (a valle del suo utilizzo all'interno della fase) o tramite i prodotti intermedi o finali ottenuti.

Così ad esempio, la fase di pastorizzazione genera ben quattro sorgenti di calore, a differenti condizioni di pressione e temperatura, ovvero:

- le condense di vapore impiegato per riscaldare l'acqua utilizzata all'interno del processo di pastorizzazione del latte;
- l'acqua calda a valle del processo di pastorizzazione;
- il latte pastorizzato;
- l'eventuale scarico del pasteurizzatore.

Si nota, inoltre, come i valori di temperatura del prodotto rivestano una grande importanza per alcune delle fasi del processo produttivo, in quanto permettono di caratterizzare anche i livelli di temperatura di alcune delle potenziali sorgenti di calore di scarto (ad esempio nel caso della pastorizzazione, il latte pastorizzato ed il relativo esubero).

Le fasi con "generazione indiretta" (evidenziate in celeste) originano delle sorgenti di calore di scarto durante il processo di produzione del vettore termico impiegato, ovvero a monte della fase di processo; nel caso specifico della produzione di latte pastorizzato, le fasi con "generazione indiretta" comprendono tutte quelle che necessitano di acqua gelida a diversi livelli di temperatura. La produzione di quest'ultima è responsabile,

infatti, della corrispondente produzione di calore di scarto in corrispondenza del condensatore della centrale frigorifera.

Ulteriori fasi con generazione indiretta di calore di scarto sono quelle che necessitano di aria compressa (ad esempio le fasi di lavorazione, miscelazione, movimentazione, confezionamento, ecc.), che sono comuni a tutti i processi produttivi del settore caseario. La produzione di aria compressa determina, infatti, la produzione di calore che deve essere necessariamente asportato per garantire il corretto funzionamento dei compressori.

Si nota, inoltre, che mentre alle fasi con “generazione diretta” è associato un possibile recupero all’interno delle linee produttive, nel caso delle fasi con “generazione indiretta” si configura un recupero inerente ai servizi ausiliari.

Tabella 52. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del latte fresco pastorizzato: integrazione tra i dati delle diagnosi energetiche e i dati di letteratura

SEQUENZA DELLE FASI	T _i (°C)	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO					
STERILIZZAZIONE DELL'IMPIANTO	-	VAPORE (T=125°C) O ACQUA CALDA (T=74°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA			
RICEVIMENTO LATTE	4-6	-						
FILTRAZIONE	n/a	-						
RAFFREDDAMENTO E STOCCAGGIO	5	ACQUA GELIDA						RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
PRE-RISCALDAMENTO	30	ACQUA CALDA O LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**			
SEPARAZIONE DELLA PANNA	n/a	-						
OMOGENEIZZAZIONE	n/a	-						
TITOLAZIONE (AGGIUNTA DI PANNA IN BASE ALLA % DI GRASSI DESIDERATA)	n/a	-						
PASTORIZZAZIONE	75-78	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA** (T=62-73°C)	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO (T≈72°C)	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE (m=12.5-17 l/latte crudo, T≈70°C)	
RAFFREDDAMENTO IN TANK DI STOCCAGGIO	3-4	ACQUA GELIDA						RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
RAFFREDDAMENTO	2	ACQUA GELIDA						RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI				
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA (T=95°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*				RECUPERO DI CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO (m=210-250 l/t latte crudo, T=68-70°C)	

* SEL'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE

** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO

Quindi, il processo di mappatura delle sorgenti di calore di scarto è stato esteso agli ulteriori processi dei prodotti caseari precedentemente menzionati (latte UHT, panna fresca pastorizzata, burro, formaggio molle, formaggio fresco, formaggio duro, yogurt, ricotta e paste filate). In particolare, le diagnosi energetiche hanno permesso di identificare le sequenze delle fasi (a partire dall’introduzione delle materie prime, fino all’ottenimento del prodotto finito), le tipologie di vettori termici impiegati e le temperature delle materie prime e dei prodotti intermedi o finali. A partire da tali dati e tenendo conto delle similitudini (in termini di

sequenza delle fasi) rispetto al caso della produzione di latte pastorizzato, sono state definite le potenziali sorgenti di calore di calore a bassa temperatura, generate sia in maniera diretta che indiretta, per ciascuno dei prodotti considerati (Tabella 53,

Tabella

54,

FASI	T ₀ [°C]	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO				
STERILIZZAZIONE DELL'IMPIANTO	-	VAPORE (T=123°C) O ACQUA CALDA (T=84°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA		
STOCAGGIO NEI MATURATORI	30	-					
PASTORIZZAZIONE	80-88	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE ¹		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA ¹¹	RECUPERO CALORE DA PANNIA PASTORIZZATA	
REFRIGERAZIONE	2-3	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
STOCAGGIO IN SERBATOI AGITATI	3	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	AIRIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI			
CIP (LEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA (T=83°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE ¹				RECUPERO DI CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO

¹ SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIA TORE ACQUA/VAPORE

¹¹ IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO

Tabella 55,

Tabella 56,

Tabella 57, Tabella 58, Tabella 59, Tabella 60,

Tabella 61, Tabella 62).

Tabella 53. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di latte UHT

FASI	T, (°C)	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO							
RICEVIMENTO LATTE	10	-								
STOCCAGGIO	10	-								
PRE-RISCALDAMENTO	50	ACQUA CALDA O LATTE STERILIZZATO	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*						RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	
SEPARAZIONE	n/a	-								
OMOGENEIZZAZIONE	n/a	-								
TITOLAZIONE	n/a	-								
RAFFREDDAMENTO IN TANK DI STOCCAGGIO	4-5	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
1° PRE-RISCALDAMENTO	27	ACQUA CALDA O LATTE UHT								
2° PRE-RISCALDAMENTO	35	ACQUA DI CONDENSA								
PASTORIZZAZIONE	85	VAPORE (T=100°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE							
STERILIZZAZIONE	n/a	VAPORE (T=150°C)								
SEPARAZIONE DEL VAPORE NEL DEGASER	90	-	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE	RECUPERO CALORE DA LATTE STERILIZZATO						
OMOGENEIZZAZIONE	n/a	-								
RAFFREDDAMENTO	26	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
STOCCAGGIO	26	-								
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA					RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI			
CIP (P LEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA (T=95°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*						RECUPERO DI CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	
* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE										
** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO										

Tabella 54. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di panna fresca pastorizzata

FASI	T _r [°C]	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO				
STERILIZZAZIONE DELL'IMPIANTO	-	VAPORE (T=125°C) O ACQUA CALDA (T=245°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA		
STOCCAGGIO NEI MATURATORI	30	-					
PASTORIZZAZIONE	80-85	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	RECUPERO CALORE DA PANNA PASTORIZZATA	
REFRIGERAZIONE	2-5	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSAZIONE MACCHINA FRIGORIFERA
STOCCAGGIO IN SERBATOI AGITATI	5	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSAZIONE MACCHINA FRIGORIFERA
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI			
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA (T=85°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*			RECUPERO DI CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	

* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE

** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO

Tabella 55. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di burro

SEQUENZA DELLE FASI	T _r (°C)	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO				
RICEVIMENTO PANNA ESTOCCAGGIO	12	-					
RISCALDAMENTO ESCREMATURA (FINO ALLA % DI GRASSO DESIDERATO)	40	ACQUA CALDA			RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA		
STOCCAGGIO	30	-					
RIGENERAZIONE	80	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE				
1° PASTORIZZAZIONE	80-85	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE				
RAFFREDDAMENTO	6-8	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSAZIONE MACCHINA FRIGORIFERA
2° PASTORIZZAZIONE	90-100	VAPORE					
SEPARAZIONE DI VAPORE NEL DEGASER	n/a	-	RECUPERO DI CALORE DAL VAPORE				
CRISTALLIZZAZIONE CREMA	n/a	-					
RIPOSO NEI MATURATORI E ADDIZIONE FERMENTI	9	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSAZIONE MACCHINA FRIGORIFERA
BURRIFICAZIONE	n/a	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSAZIONE MACCHINA FRIGORIFERA
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI			
STOCCAGGIO	4	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSAZIONE MACCHINA FRIGORIFERA
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*			RECUPERO DI CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	

* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE

Tabella 56. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di formaggio molle

SEQUENZA DELLE FASI	T, (°C)	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO							
RICEVIMENTO LATTE	4-6	-								
RAFFREDDAMENTO	4-6	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
SCREMATURA DI PARTE DEL LATTE	n/a	-								
MISCELAZIONE CON PANNA E LATTE MAGRO	n/a	-								
STOCCAGGIO	n/a	-								
PASTORIZZAZIONE	68-78	ACQUA CALDA (T=90-92°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE			
RAFFREDDAMENTO	22-38	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
INOCULO FERMENTI E CAGLIATURA	36-38	-								
AGITAZIONE CAGLIATA	n/a	-								
SEPARAZIONE SIERO	35	-							RECUPERO DI CALORE DAL SIERO (m=993 l/t latte crudo)	
FORMATURA	n/a	-								
STUFATURA	n/a	ACQUA CALDA (T=90°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**					
SALATURA	15-20	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AFFINAMENTO 1	7-8	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AFFINAMENTO 2	5	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
CONDIZIONAMENTO	n/a	-								
MATURAZIONE	20	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
STAGIONATURA	n/a	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA

TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	5	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI					
STOCCAGGIO	5	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
CIP (PLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*					RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	
* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE									
** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO									

Tabella 57. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di formaggio fresco

SEQUENZA DELLE FASI	T, (°C)	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO						
RICEVIMENTO LATTE	n/a	-							
RAFFREDDAMENTO E STOCCAGGIO	4	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
SCREMATURA DI PARTE DEL LATTE	n/a	-							
MISCELAZIONE CON PANNA E LATTE MAGRO	n/a	-							
PASTORIZZAZIONE	72-85	ACQUA CALDA (T=92°C)	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*	RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE			
RAFFREDDAMENTO	22	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AGGIUNTA PANNA ESALE	n/a	-							
INOCULO FERMENTI E CAGLIO	n/a	-							
COAGULAZIONE E MATURAZIONE	n/a	-							
SEPARAZIONE SIERO	n/a	-						RECUPERO DI CALORE DAL SIERO (m=993 l/t latte cruda)	
FORMATURA	n/a	-							
SALATURA	n/a	-							
PREPARAZIONE FAGOTTI	n/a	-							
MATURAZIONE	4	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AGGIUNTA PANNA ESALE***	n/a	-							
AGGIUNTA DI SALE E SORBATO***	n/a	-							
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI					
STOCCAGGIO	n/a	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*					RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	
* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE									
** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO									
*** DA CONSIDERARSI SOLO PER I PROCESSI CHE NON EFFETTUANO TALE FASE A MONTE DEL PROCESSO DI MATURAZIONE									

Tabella 58. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di formaggio grana

SEQUENZA DELLE FASI	T _a (°C)	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO				
RICEVIMENTO LATTE CRUDO	10	-					
RIATTIVAZIONE	n/a	ACQUA REFRIGERATA ED ACQUA CALDA		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA			RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AFFIORAMENTO/SCREMATURA	12	-					
PRERISCALDAMENTO	27	ACQUA CALDA		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA			
AGGIUNTA DI SIERO E CAGLIO	12	-					
COAGULAZIONE (TRAMITE RISCALDAMENTO E AGITAZIONE)	34-35	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE				
SPINATURA (ROTTURA DELLA CAGLIATA E RIDUZIONE IN GRANULI)	n/a	-					
COTTURA CAGLIATA	53.5-55	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE				
RIMOZIONE SIERO ED ESTRAZIONE FORMA	n/a	-				RECUPERO DI CALORE DAL SIERO (m=993 l/t latte crudo)	
FORMATURA	20.5-21.5	-					
SALATURA	15-18	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
ASCIUGATURA	n/a	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE				
STAGIONATURA	16-18	ARIA					RECUPERO CALORE CONDENSE SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO		

* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE

Tabella 59. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di formaggio a pasta dura

SEQUENZA DELLE FASI	T _a (°C)	VEETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO				
RICEVIMENTO LATTE	4	-					
FILTRAZIONE	n/a	-					
RAFFREDDAMENTO E STOCCAGGIO	n/a	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
PRERISCALDAMENTO	50-55	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*	RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**			
SCREMATURA	n/a	-					
BACTOFUGAZIONE	n/a	-					
TRATTAMENTO TERMICO	55-72	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*	RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE	
RADDREDDAMENTO E STOCCAGGIO	10-15	ACQUA GELIDA					RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA

INVIO LATTE IN CALDERA	n/a	-							
AGGIUNTA SIERO INNESTO E CAGLIO	n/a	-							
COTTURA	20-55	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENDE DI VAPORE						
COAGULAZIONE	n/a	-							
ROTTURA ED ESTRAZIONE CAGLIATA	n/a	-						RECUPERO DI CALORE DAL SIERO (m=993 l/t latte crudo)	
FORMATURA	n/a	-							
RIBALTAMENTO	n/a	-							
TRASFERIMENTO IN CAMERA CALDA	38	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENDE DI VAPORE						
TRASFERIMENTO IN CAMERA FREDDA	n/a	-							
SALATURA	10	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENDE MACCHINA FRIGORIFERA
ASCIUGATURA	n/a	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENDE DI VAPORE						
LAVAGGIO E TRATTAMENTO SUPERFICIALE	n/a	-							
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI					
STOCCAGGIO	n/a	-							
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENDE DI VAPORE*					RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	
* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE									
** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO									

Tabella 60. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di yogurt

SEQUENZA DELLE FASI	T, (°C)	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO							
RICEVIMENTO LATTE	n/a	-								
STOCCAGGIO	4-6	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AGGIUNTA DI LATTE IN POLVERE	4-6	-								
PASTORIZZAZIONE	90	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE			
TERMIZZAZIONE***	50	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**					
STOCCAGGIO	n/a	-								
TRATTAMENTO TERMICO***	93	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*		RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA*	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE			
SCREMATURA	n/a	-								
OMOGENEIZZAZIONE	n/a	-								
CONCENTRAZIONE A VAPORE	85	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE						RECUPERO DI CALORE DAL SIERO DI LATTE CONCENTRATO (T=55-68°C)	
1° RAFFREDDAMENTO	30-41	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
INNESTO FERMENTI	n/a	-								
MATURAZIONE	30-38	-								
2° RAFFREDDAMENTO	27-30	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
MISCELAZIONE FRUTTA	n/a	-								
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA			RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI					
STOCCAGGIO	5	ACQUA GELIDA								RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*					RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO		
* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE										
** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO										
*** DA CONSIDERARSI SOLO PER I PROCESSI CHE NON EFFETTUANO LA PASTORIZZAZIONE										

Tabella 61. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di ricotta

FASI	T, (°C)	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO					
RICEVIMENTO SIERO	n/a	-						
AGGIUNTA SALE E ACIDO CITRICO	n/a	-						
RISCALDAMENTO DEL SIERO IN CALDAIA	74-93	VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE					
ACIDIFICAZIONE	n/a	-						
AFFIORAMENTO E SEPARAZIONE SIERO ESAUSTO	n/a	-			RECUPERO DI CALORE DAL SIERO			
TRASFERIMENTO AL SERBATOIO MIXER	n/a	-						
TRATTAMENTO TERMICO	82-97	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*			RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**		
MESSA IN FUSCELLA	n/a	-						
RAFFREDDAMENTO	0	ACQUA GELIDA						RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
OMOGENEIZZAZIONE	n/a	-						
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI				
STOCCAGGIO	n/a	ACQUA GELIDA						RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*				RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	

* SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE
 ** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO

Tabella 62. Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione di paste filate

SEQUENZA DELLE FASI	T, (°C)	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	TIPOLOGIE DI RECUPERO TERMICO					
RICEVIMENTO LATTE	4-6	-						
STOCCAGGIO E RAFFREDDAMENTO	n/a	ACQUA GELIDA						RECUPERO CALORE CONDENSA MACCHINA FRIGORIFERA
SCREMATURA DI PARTE DEL LATTE	n/a	-						
MISCELAZIONE CON PANNA E LATTE MAGRO	n/a	-						
STOCCAGGIO	n/a	-						
TRATTAMENTO TERMICO	73-75	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*	RECUPERO CALORE DA ACQUA CALDA**	RECUPERO CALORE DA LATTE PASTORIZZATO	RECUPERO CALORE EVENTUALE ACQUA DI SCARICO DEL PASTORIZZATORE		

RAFFREDDAMENTO	32-38	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
AGGIUNTA CAGLIO E FERMENTI	n/a	-							
COAGULAZIONE	n/a	-							
ROTTURA CAGLIATA	n/a	-							
SCARICO CAGLIATA IN VASCA	n/a	-							
MATURAZIONE	n/a	-							
RIBALTAMENTO	n/a	-							
FILATURA E FORMATURA	60	ACQUA CALDA (T=95°C) O VAPORE	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE					RECUPERO CALORE DA ACQUA DI FILATURA	
RASSODAMENTO	n/a	-							
RAFFREDDAMENTO	n/a	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
SALATURA	n/a	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
TRASPORTO E CONFEZIONAMENTO	n/a	ARIA COMPRESSA		RECUPERO DI CALORE DAI COMPRESSORI					
STOCCAGGIO	n/a	ACQUA GELIDA							RECUPERO CALORE CONDENSE MACCHINA FRIGORIFERA
CIP (CLEAN IN PLACE)	-	ACQUA CALDA	RECUPERO DI CALORE DALLE CONDENSE DI VAPORE*					RECUPERO CALORE DALL'ACQUA DI LAVAGGIO	
*SE L'ACQUA È OTTENUTA PER MEZZO DI UNO SCAMBIATORE ACQUA/VAPORE									
** IN ASSENZA DI UN SISTEMA A CIRCUITO CHIUSO									

1.4 Applicazione della metodologia alla produzione dei prodotti da forno

In riferimento alla classificazione delle attività economiche ATECO del 2007 le “industrie alimentari” risultano afferenti alla divisione 10.

“Questa divisione include la trasformazione di prodotti dell'agricoltura, della silvicoltura e della pesca in alimenti e bevande commestibili per l'uomo o per gli animali, nonché la produzione di vari prodotti intermedi da non considerare alla stregua dei prodotti alimentari (ad esempio, pellame proveniente dai macelli, pannelli provenienti dalla produzione di olio).

Questa divisione è organizzata per attività riguardanti diversi tipi di prodotti: carne, pesce, frutta e ortaggi, grassi ed oli, prodotti lattiero-caseari, granaglie, prodotti di panetteria e farinacei, altri prodotti alimentari e mangimi per animali.” [11].

Questa suddivisione non comprende la preparazione per il consumo immediato ma solo la trasformazione della materia prima in prodotti terzi, la cui vendita si espleta in un vero e proprio locale commerciale (negozi). La divisione comprende le seguenti classi di esercizio:

- 10.1 LAVORAZIONE E CONSERVAZIONE DI CARNE E PRODUZIONE DI PRODOTTI A BASE DI CARNE
- 10.2 LAVORAZIONE E CONSERVAZIONE DI PESCE, CROSTACEI E MOLLUSCHI
- 10.3 LAVORAZIONE E CONSERVAZIONE DI FRUTTA E ORTAGGI
- 10.4 PRODUZIONE DI OLI E GRASSI VEGETALI E ANIMALI
- 10.5 INDUSTRIA LATTIERO-CASEARIA
- 10.6 LAVORAZIONE DELLE GRANAGLIE, PRODUZIONE DI AMIDI E DI PRODOTTI AMIDACEI

- 10.7 PRODUZIONE DI PRODOTTI DA FORNO E FARINACEI
- 10.8 PRODUZIONE DI ALTRI PRODOTTI ALIMENTARI
- 10.9 PRODUZIONE DI PRODOTTI PER L'ALIMENTAZIONE DEGLI ANIMALI

Nel seguente studio ci si è occupati di analizzare le aziende facenti parte del settore 10.7 "Produzione di prodotti da forno e farinacei" che a sua volta consta di tre settori:

- 10.71 Produzione di pane; prodotti di pasticceria freschi
- 10.72 Produzione di fette biscottate e di biscotti; produzione di prodotti di pasticceria conservati
- 10.73 Produzione di paste alimentari, di cuscus e di prodotti farinacei simili

Lo studio del sotto-settore 10.71 è stato svolto approfondendo le considerazioni sugli ulteriori sotto-settori:

- 10.71.10 Produzione di prodotti di panetteria freschi
- 10.71.20 Produzione di pasticceria fresca

Il sotto-settore 10.71.10 comprende le aziende che si occupano di:

- produzione di prodotti di panetteria freschi con eventuale negozio annesso per la vendita anche al dettaglio
- produzione di pane, panini, cialde eccetera
- produzione di rustici, pizzette ed altre specialità salate da forno

Al sotto-settore 10.71.20 invece afferiscono le aziende che trattano della produzione di pasticceria fresca: dolci, torte, pasticcini eccetera senza vendita diretta al pubblico.

In generale, è bene ricordare che dalla classe 10.71 sono escluse le aziende che si occupano di produzione di paste alimentari, cfr. 10.73 e le attività connesse con le pasticcerie, cfr. 56.10.

Il sotto-settore 10.72 comprende tutte quelle aziende che si occupano di:

- produzione di fette biscottate, biscotti ed altri prodotti secchi da forno
- produzione di prodotti di pasticceria conservati
- produzione di prodotti per snack dolci o salati (cracker, salatini eccetera)

Dalla classe 10.72 è esclusa la produzione di snack a base di patate, cfr. 10.31.

Il sotto-settore 10.73 comprende tutte quelle aziende che si occupano di:

- produzione di paste alimentari fresche e secche, farcite o meno
- produzione di cuscus
- produzione di paste alimentari in scatola o surgelate
- produzione di gnocchi

Dalla classe 10.73 sono ESCLUSE le produzioni di piatti preparati a base di cuscus, cfr. 10.85 e le produzioni di zuppe a base di pasta, cfr. 10.89.

1.4.1 Analisi di rappresentatività del campione

Il campione comprende 128 siti produttivi del settore "Prodotti da forno", sottoposti a diagnosi energetica ai sensi dell'articolo 8 del D.Lgs. 102/2014. Di questi la distribuzione è definita così illustrato in Figura 82.

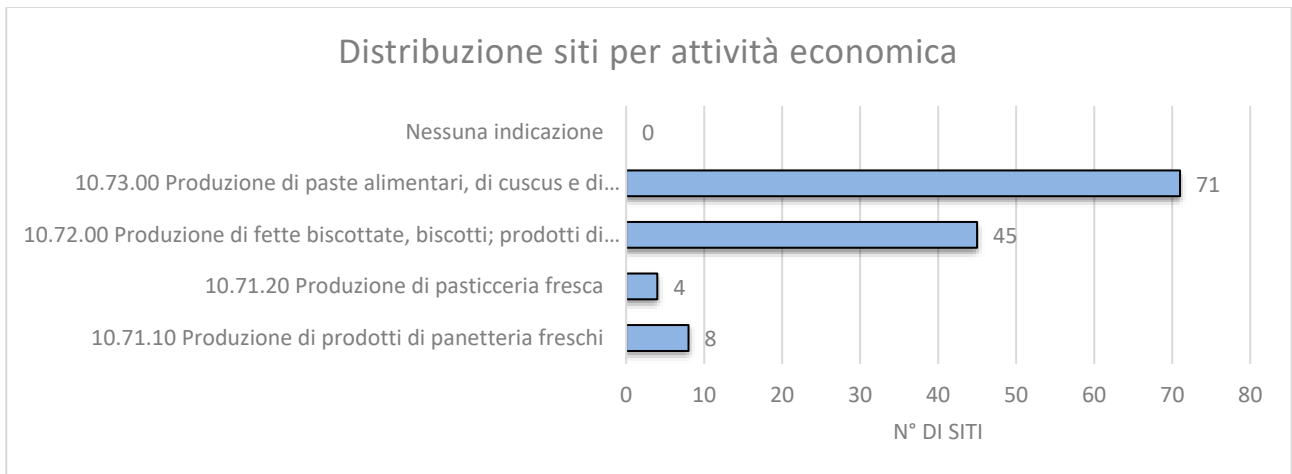


Figura 82: Ripartizione dei siti produttivi del settore prodotti da forno in base al tipo di attività economica

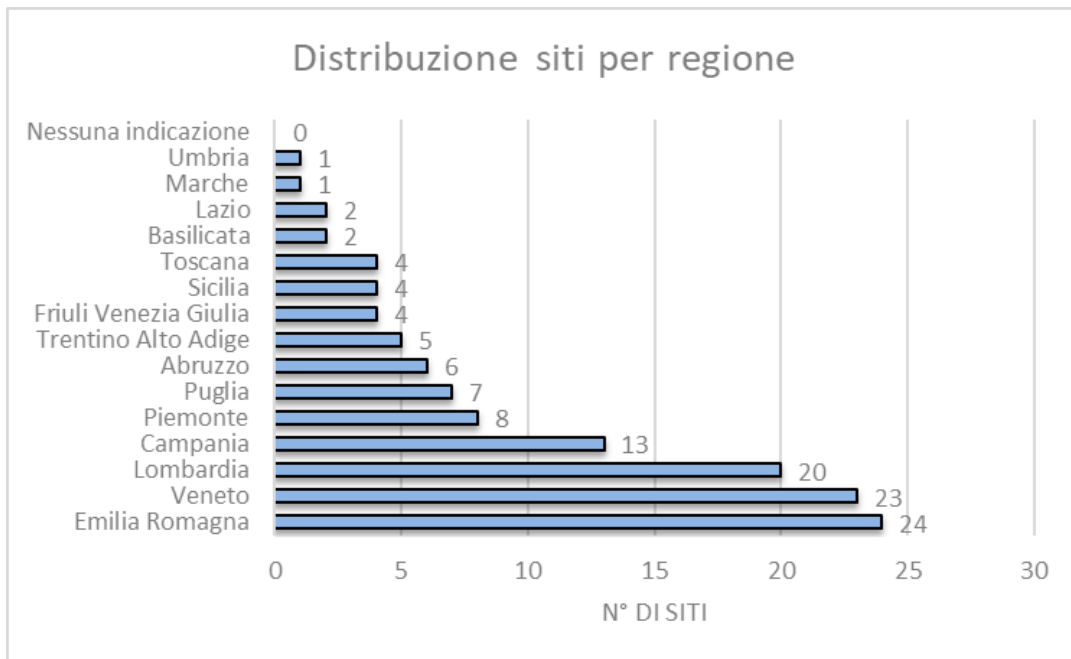


Figura 83: Distribuzione delle aziende del settore prodotti da forno per regione

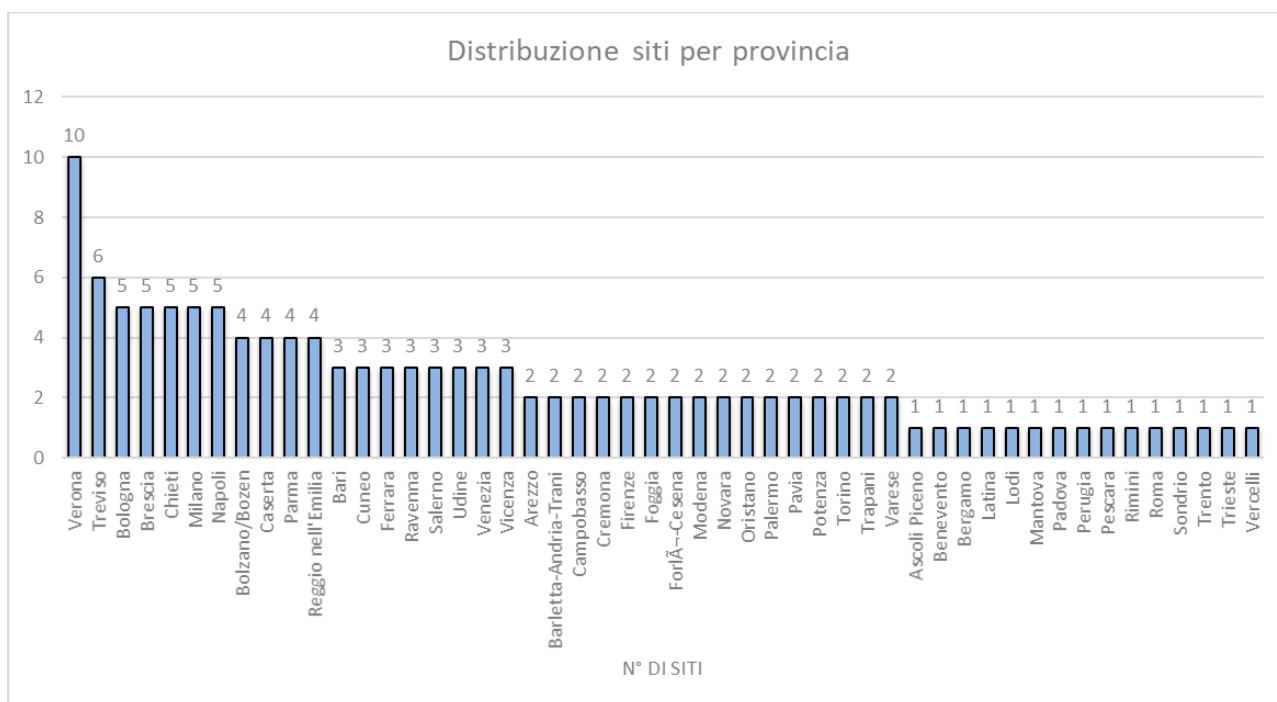


Figura 84: Distribuzione delle aziende del settore prodotti da forno per provincia

Le figure Figura 83 e Figura 84 rappresentano la distribuzione geografica del campione di siti produttivi analizzato: tali siti risultano distribuiti su tutto il territorio nazionale con una concentrazione decisamente maggiore in Emilia Romagna, Veneto, Lombardia e Campania e in particolare nelle province ivi presenti.

Tra queste:

- Verona con 10 siti,
- Treviso 6 siti,
- Bologna, Brescia, Chieti, Milano e Napoli 5 siti.

Nei restanti casi la distribuzione dei siti per provincia è piuttosto omogenea e varia tra 1 e 4.

Tabella 63: Ripartizione per sotto-settore dei siti sottoposti a monitoraggio

MONITORAGGIO		
	Si	No
10 INDUSTRIE ALIMENTARI	99	29
10.71.10 Produzione di prodotti di panetteria freschi	7	1
10.71.20 Produzione di pasticceria fresca	3	1
10.72.00 Produzione di fette biscottate, biscotti; prodotti di pasticceria conservati	33	12
10.73.00 Produzione di paste alimentari, di cuscus e di prodotti farinacei simili	56	15

Come evidente dalla Tabella 63, una grande percentuale (il 77,34%) è risultato sottoposto a monitoraggio dei consumi energetici al fine di verificare l'efficacia delle azioni di miglioramento attuate.

In riferimento all'unità di misura della produzione, quella maggiormente ricorrente nel settore prodotti da forno risulta essere il chilogrammo (kg), seguita dal metro quadro (m²) e con un solo caso di ore lavorate (h). La maggior parte dei siti (89) riportano la propria produzione in tonnellate ma per omogeneità di lettura dei dati si è preferito esprimere tutto in chilogrammi. Dalla Figura 85 è possibile leggere la distribuzione delle unità di misura a seconda del sotto-settore che, nel caso del sotto-settore 10.71.20 è totalmente rappresentato dal chilogrammo.

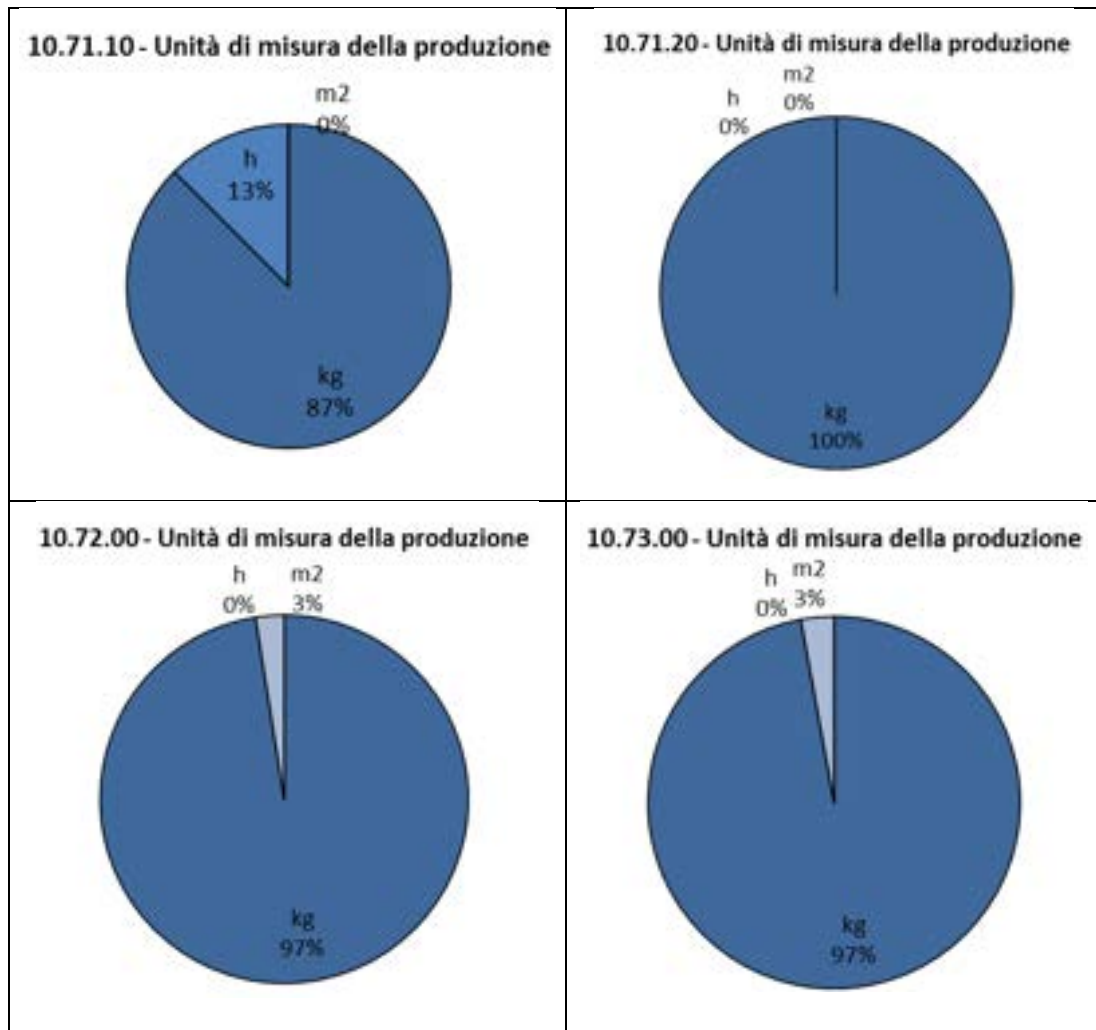


Figura 85: Unità di misura nel settore prodotti da forno e sotto-settori significativi

Dalla figura seguente si evince la distribuzione della produzione annuale dei siti delle aziende che si occupano di prodotti da forno, suddivisa per unità di misura. Si nota immediatamente che la produzione in questo settore è prevalentemente misurata in chilogrammi ed in pezzi di elementi prodotti.

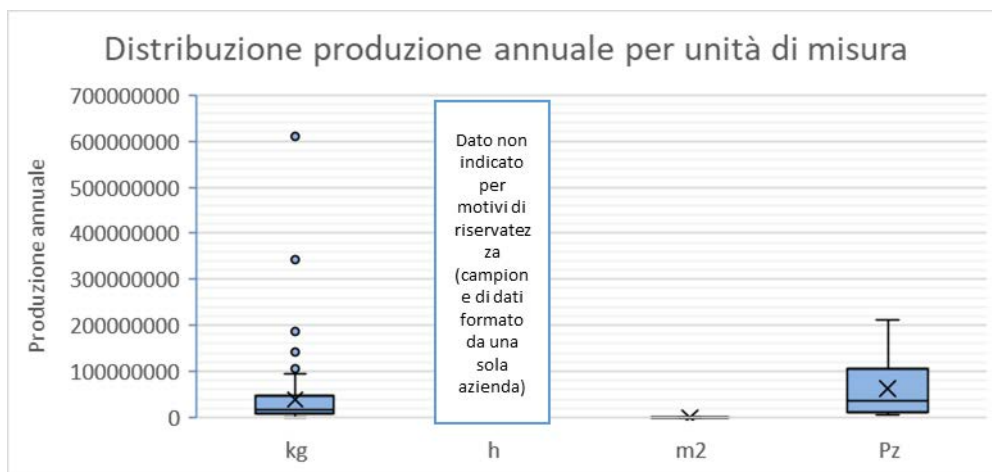


Figura 86: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore prodotti da forno

Tabella 64: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel settore prodotti da forno

	<i>kg</i>	<i>h</i>	<i>m2</i>	<i>Pz</i>
TOTALE	Minimo	1.213,50	Dato non indicato	493,10 6.234.360,00
	Quartile 1	7.509.825,00	per motivi di	1.469,05 15.050.127,00
	Mediana	17.348.950,00	riservatezza	2.445,00 35.321.078,00
	Media	39.163.706,50	(campione di dati	2.002,03 62.119.800,17
	Quartile 3	46.235.725,00	formato da una sola azienda)	2.756,50 66.242.125,75
	Massimo	610.677.000,00		3.068,00 211.000.000,00

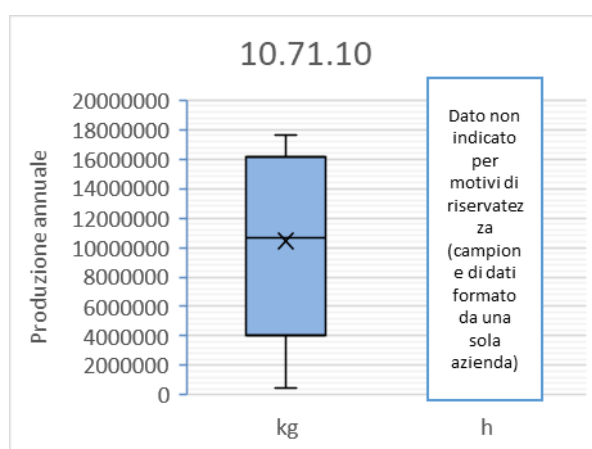


Figura 87: Caratterizzazione della funzione di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.71.10

Tabella 65: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel sotto-settore 10.71.10

	<i>kg</i>	<i>h</i>
Minimo	476.000,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
Quartile 1	7.255.983,50	
Mediana	10.637.430,00	
Media	10.443.271,00	
Quartile 3	14.944.750,00	
Massimo	17.588.000,00	

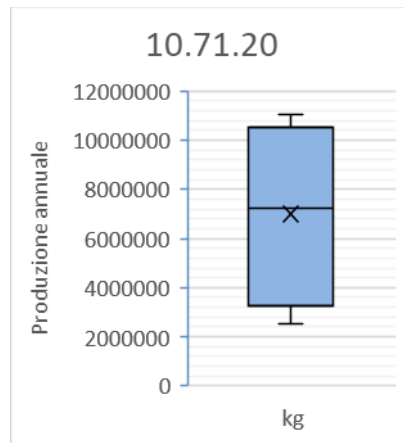


Figura 88: Caratterizzazione della funzione di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.71.20

Tabella 66: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel sotto-settore 10.71.20

	<i>kg</i>
Minimo	2.512.296,00
Quartile 1	4.721.574,00
Mediana	7.229.000,00
Media	7.001.729,25
Quartile 3	9.509.155,25
Massimo	11.036.621,00

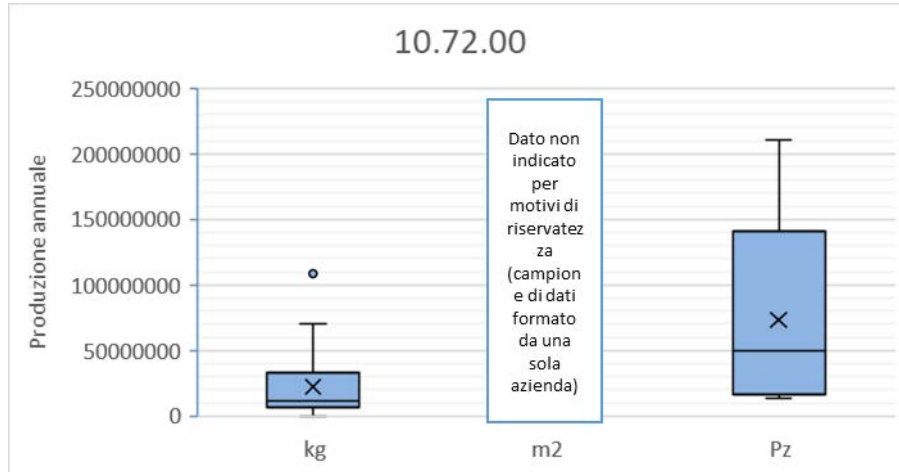


Figura 89: Caratterizzazione della funzione di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.72.00

Tabella 67: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel sotto-settore 10.72.00

	<i>kg</i>	<i>m2</i>	<i>Pz</i>
Minimo	1.213,50	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)	13.212.496,00
Quartile 1	6.676.000,00		20.563.020,00
Mediana	12.020.000,00		50.079.136,00
Media	22.571.807,30		73.296.888,20
Quartile 3	31.341.500,00		71.629.789,00
Massimo	108.778.000,00		211.000.000,00

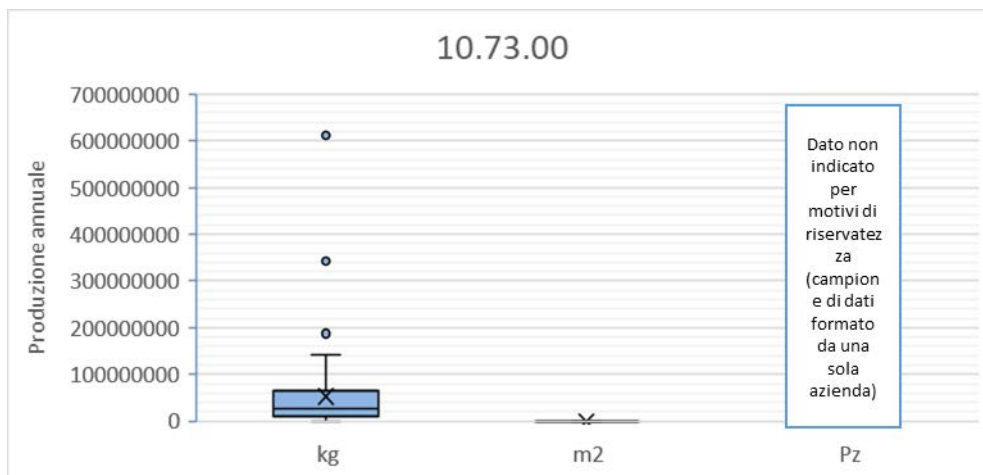


Figura 90: Caratterizzazione della funzione di distribuzione della produzione in funzione dell'unità di misura per il sotto-settore 10.73.00

Tabella 68: Distribuzione produzione annuale per unità di misura nel sotto-settore 10.73.00

	<i>kg</i>	<i>m2</i>	<i>Pz</i>
Minimo	5.288,00	2.445,00	Dato non indicato per motivi di
Quartile 1	10.963.096,00	2.600,75	
Mediana	27.304.800,00	2.756,50	

Le Tabella 64-Tabella 68 esprimono i dati statistici principali della funzione di distribuzione della produzione dei prodotti da forno in funzione dell'unità di misura e riferita sia all'intera produzione che ai singoli sotto-settori. Non sempre però nei singoli sotto-settori compaiono tutte le unità di misura dell'intera produzione ma per uniformità di lettura si è scelto di riportare comunque la colonna del dato.

1.4.2 Analisi dei consumi di gas

L'analisi dei consumi di gas globale comprende le attività principali, i servizi ausiliari e i servizi generali e rivela un andamento piuttosto omogeneo dei siti che si occupano di prodotti da forno. Si evince che le aziende che hanno segnalato perdite o altri utilizzi di gas sono 83 mentre le aziende che hanno segnalato consumo di gas totale uguale alla somma di consumo di gas per le tre aree sono 34.

I consumi maggiori nel settore prodotti da forno si hanno prevalentemente nei sotto-settori 10.72.00 e 10.73.00.

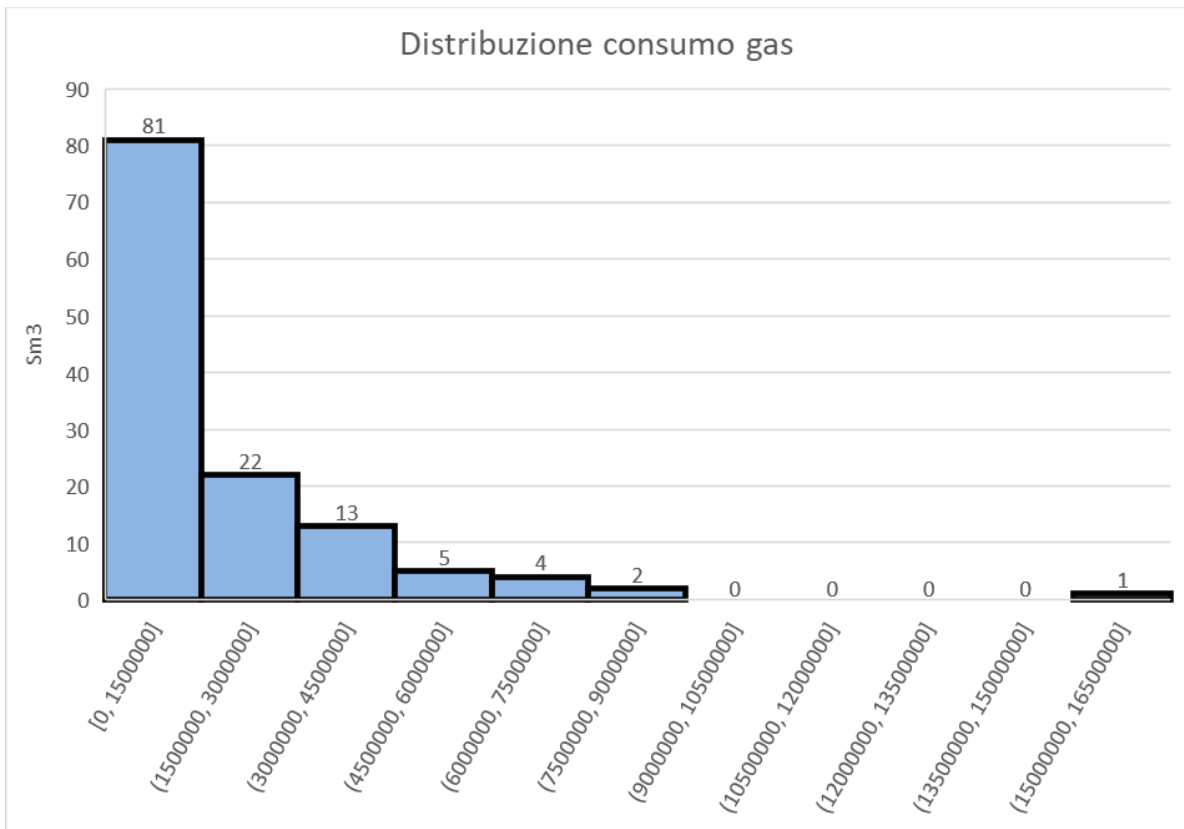


Figura 91: Distribuzione del consumo di gas nel settore prodotti da forno

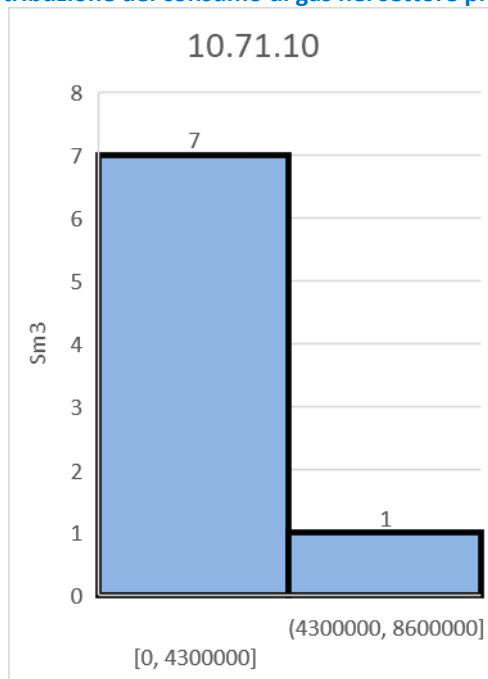


Figura 92: Distribuzione del consumo di gas nel settore prodotti da forno - sotto-settore 10.71.10

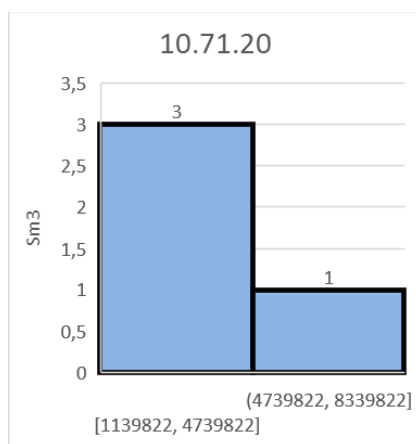


Figura 93: Distribuzione del consumo di gas nel settore prodotti da forno - sotto-settore 10.71.20

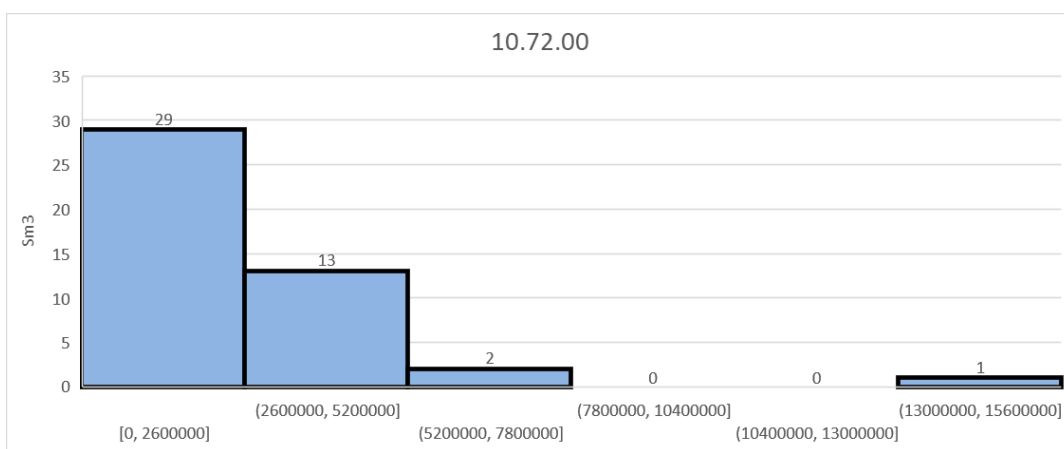


Figura 94: Distribuzione del consumo di gas nel settore prodotti da forno - sotto-settore 10.72.00

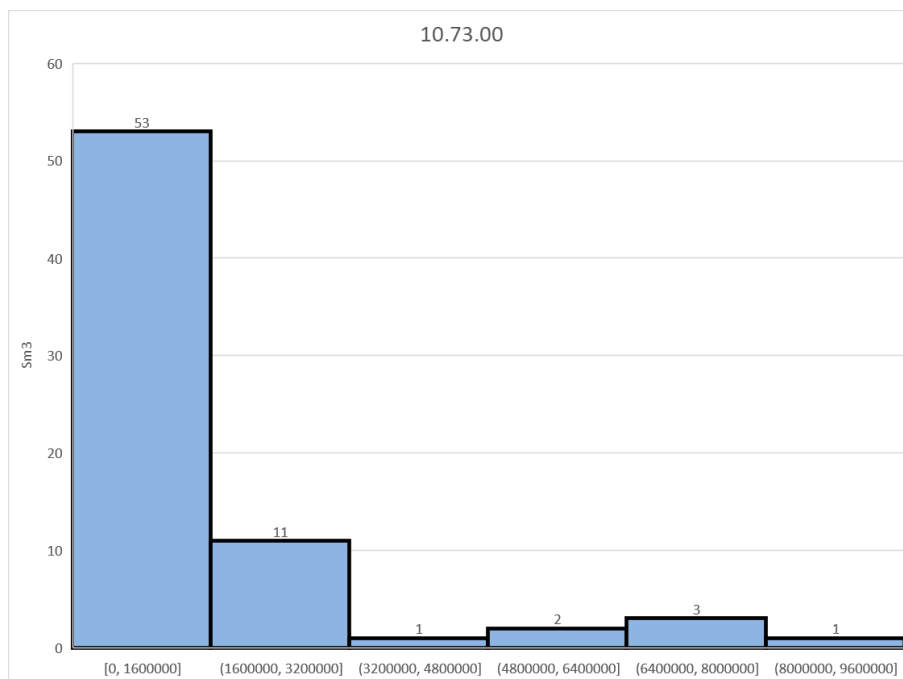


Figura 95: Distribuzione del consumo di gas nel settore prodotti da forno - sotto-settore 10.73.00

Nella Tabella 69 sono riportati i principali parametri statistici (media, mediana, deviazione standard, valori massimi e minimi, ecc.) delle funzioni di distribuzione dei consumi di gas naturale sia per l'intero settore prodotti da forno che per i singoli sotto-settori.

Tabella 69: Distribuzione del consumo di gas nel settore prodotti da forno e nei sotto-settori oggetto di studio

	TOTALE	10.71.10	10.71.20	10.72.00	10.73.00
Dimensione campione	128	8	4	45	71
Deviazione standard	2.375.793,36	2.454.846,68	3.096.536,96	2.875.899,95	1.866.700,47
Media	1.894.017,23	1.607.722,38	4.011.524,50	2.350.880,60	1.517.418,34
Intervallo confidenza media (+ o -) con alpha 0,05	415.537,16	2.052.303,18	4.927.281,30	864.016,00	441.840,79
Mediana	917.736,50	999.448,00	3.247.900,00	1.589.822,00	762.541,00
Minimo	0,00	0,00	1.139.822,00	626.713,00	0,00
Massimo	15.494.168,00	7.508.304,00	8.410.476,00	15.494.168,00	8.185.000,00

Nello studio dei dati consegnati dalle aziende si è avuto modo di verificare che non sempre la ripartizione del consumo di gas per destinazione d'uso è stata rispettata come da definizione e questo ha portato ad alcune imprecisioni nell'interpretare i consumi dei singoli siti produttivi.

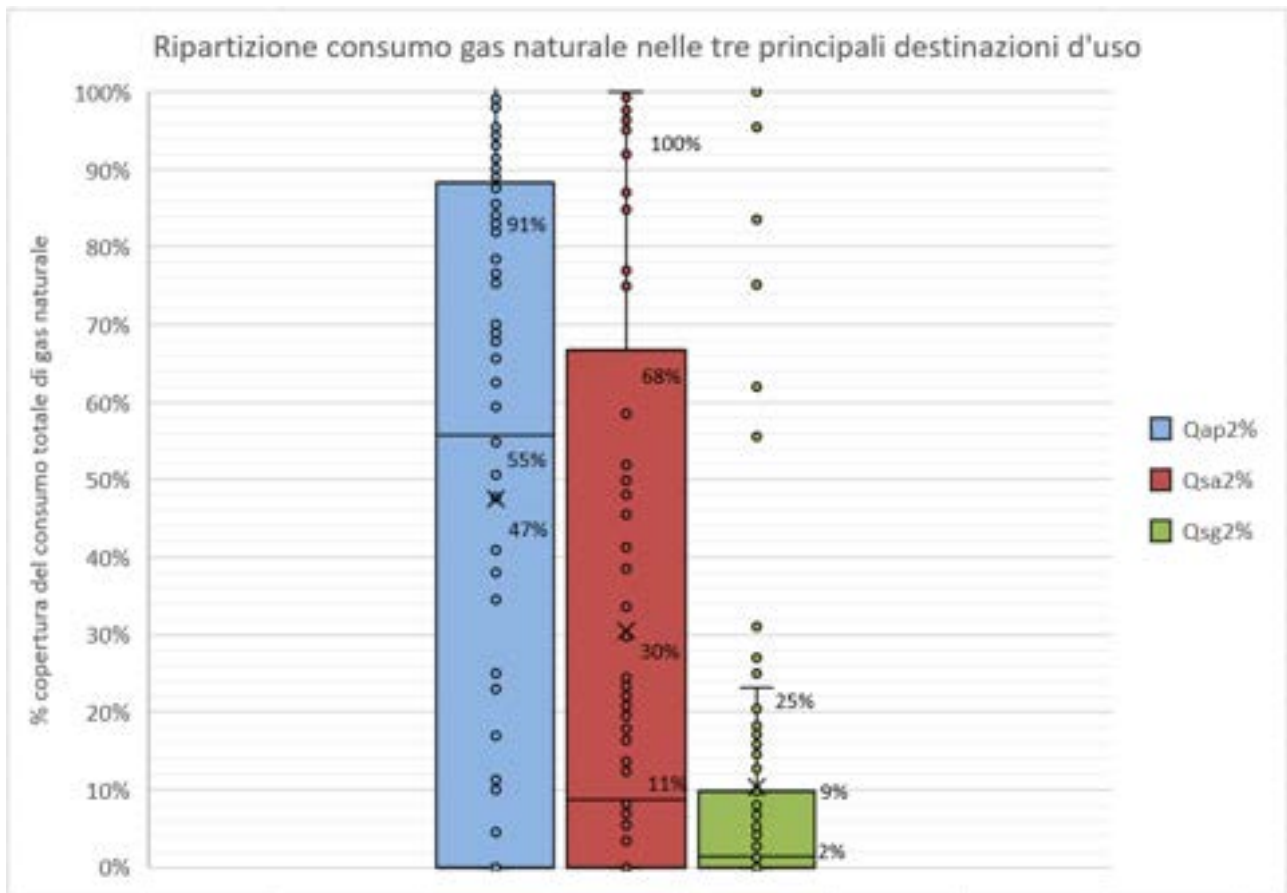


Figura 96: Ripartizione del consumo di gas naturale tra le attività principali (Qap), i servizi ausiliari (Qsa) e i servizi generali (Qsg) dei siti produttivi dell'intero settore prodotti da forno

Per quanto concerne la ripartizione dei consumi di gas naturale nelle principali destinazioni d'uso, si può notare dal grafico in Figura 96 che nel settore prodotti da forno le attività principali risultano essere mediamente il 47% del totale, i servizi ausiliari il 30% mentre i servizi generali solo il 9%.

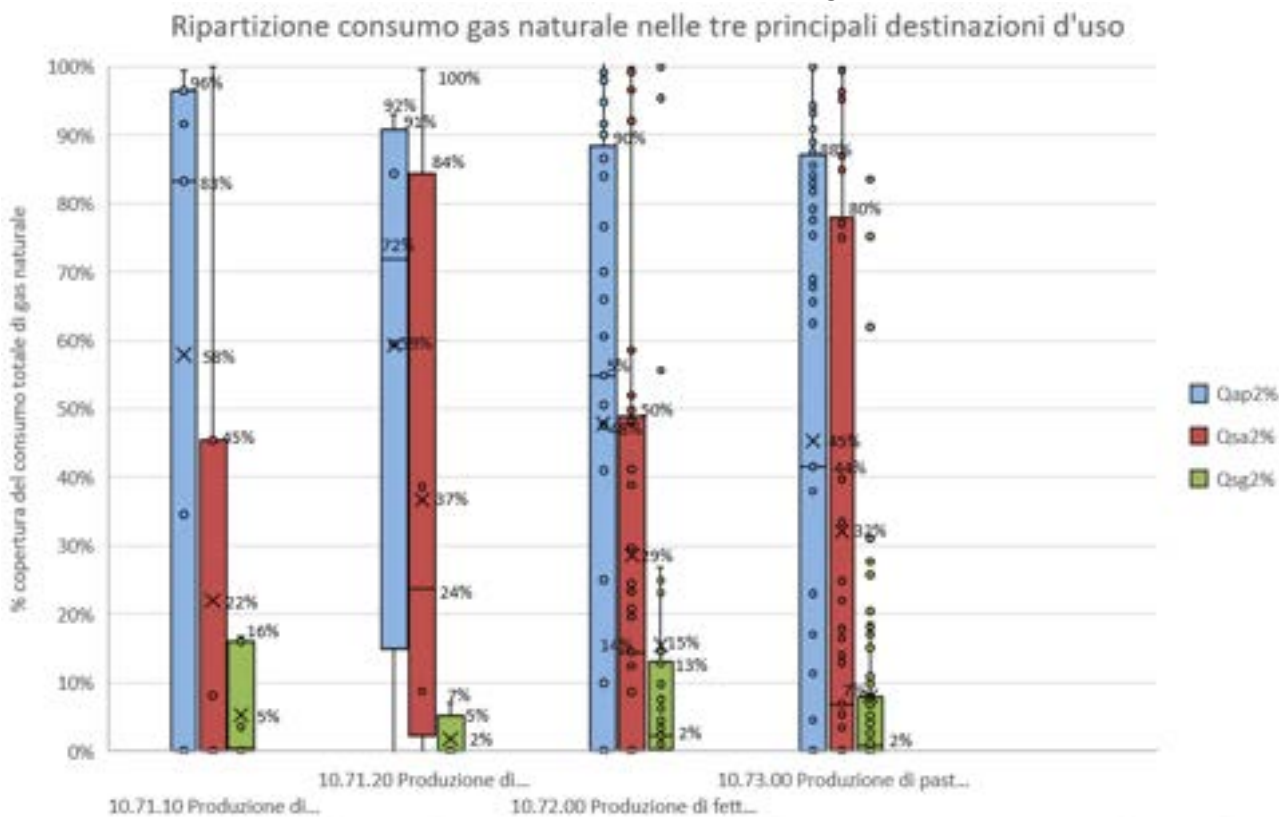


Figura 97: Ripartizione consumo gas naturale nei sotto-settori oggetto di studio del settore prodotti da forno

L'analisi della funzione di distribuzione dei consumi di gas naturale (Figura 97) ha evidenziato come i servizi ausiliari diano un contributo significativo nel caso dei sotto-settori 10.71.10 e 10.72.00 mentre siano meno significativi nel caso dei sotto-settori 10.71.20 e 10.73.00. Invece il contributo medio dei servizi generali è pressoché costante in tutti e quattro i sottosectori studiati ed ha valori medi tra il 2% ed il 15%.

Si sono condotti degli approfondimenti per analizzare la relazione tra consumo specifico di gas e produzione a seconda dell'unità di misura.

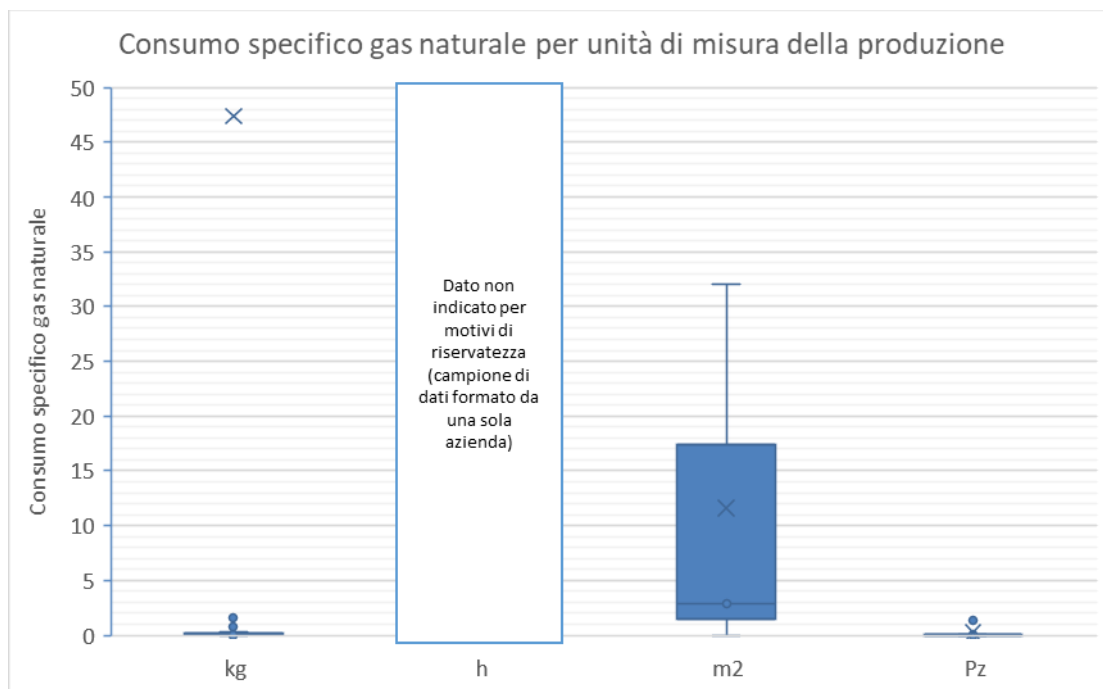


Figura 98: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore prodotti da forno

La Figura 98 evidenzia come le funzioni di distribuzione riferite ai metri quadri di prodotto presentino una maggiore dispersione rispetto a quelle relative alle altre unità di misura. Si specifica che dall’analisi riportata in Figura 98 sono stati esclusi quattro outliers che riportavano valori di produzione evidentemente fuori range.

Tabella 70: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore prodotti da forno

TOTALE		<i>Sm³/kg</i>	<i>Sm³/m²</i>	<i>Sm³/Pz</i>	<i>Sm³/h</i>
	Minimo	0,00	2,84	0,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
	Quartile 1	0,02	10,13	0,00	
	Mediana	0,05	17,42	0,01	
	Media	47,35	17,42	0,23	
	Quartile 3	0,13	24,71	0,03	
Massimo	5.123,84	32,00	1,31		

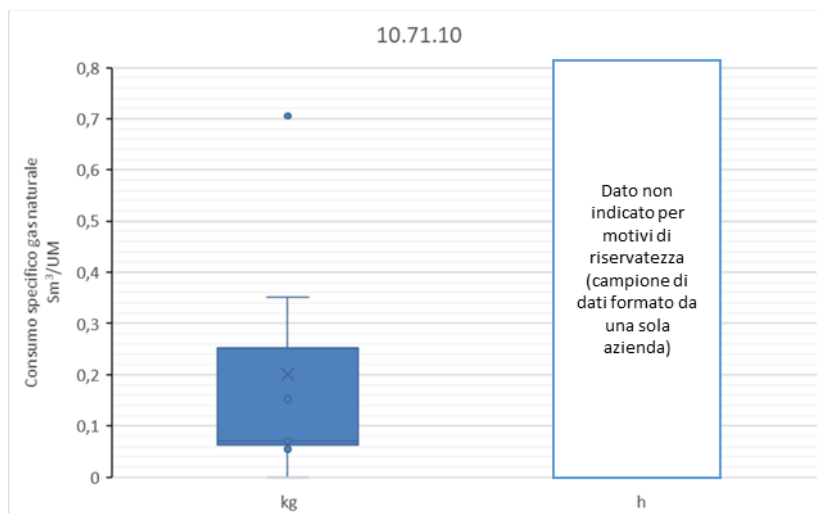


Figura 99: Funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il settore prodotti da forno sotto-settore 10.71.10

Tabella 71: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore prodotti da forno – sotto-settore 10.71.10

	<i>Sm³/kg</i>	<i>Sm³/h</i>
10.71.10	Minimo	0,00
	Quartile 1	0,06
	Mediana	0,07
	Media	0,20
	Quartile 3	0,25
	Massimo	0,71

Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)

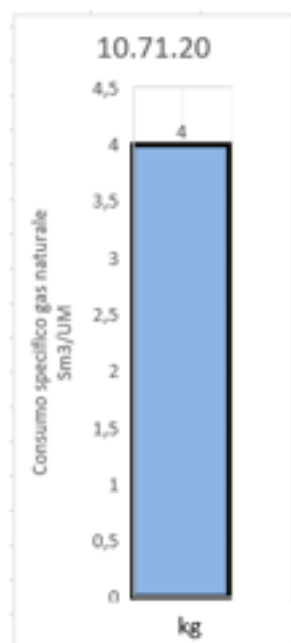


Figura 100: Funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il settore prodotti da forno sotto-settore 10.71.20

Il grafico in Figura 100 è un istogramma poiché il campione è composto esclusivamente dalla stessa unità di misura.

Tabella 72: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore prodotti da forno – sotto-settore 10.71.20

10.71.20		<i>Sm³/kg</i>
	Minimo	0,13
	Quartile 1	0,14
	Mediana	0,36
	Media	0,69
	Quartile 3	0,91
	Massimo	1,89

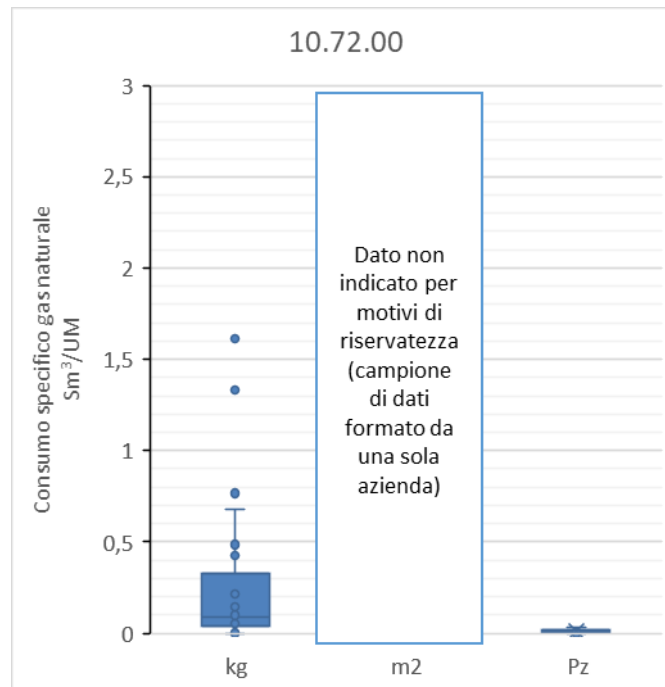


Figura 101: Funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il settore prodotti da forno sotto-settore 10.72.00

Tabella 73: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore prodotti da forno – sotto-settore 10.72.00

10.72.00		<i>Sm³/kg</i>	<i>Sm³/m²</i>	<i>Sm³/Pz</i>
	Minimo	0,00	Dato non indicato	0,00
	Quartile 1	0,04	per motivi di	0,00
	Mediana	0,09	riservatezza	0,01
	Media	131,62	(campione di dati	0,01
	Quartile 3	0,33	formato da una sola azienda)	0,02
	Massimo	5.123,84		0,03

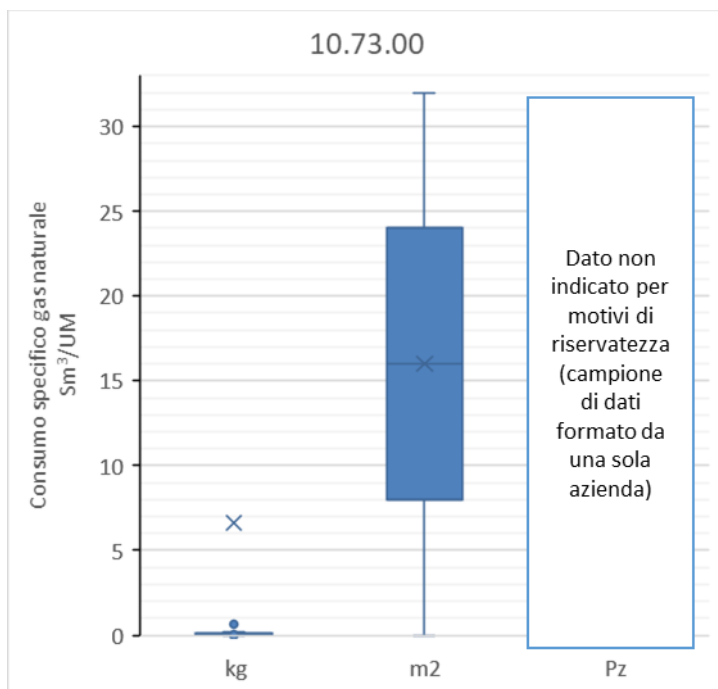


Figura 102: Funzione di distribuzione dei consumi specifici di gas naturale per il settore prodotti da forno sotto-settore 10.73.00

La Figura 102 mostra, anche nel caso dei consumi specifici di gas naturale, una dispersione della funzione di distribuzione più evidente nel caso dell'unità di misura dei prodotti espressa in m2 rispetto al caso in cui vengano espresse in kg o in Pz. Questo si spiega con una maggiore concentrazione del campione nello stesso intorno nel caso dei kg e dei Pz, nonché per la numerosità del campione analizzato.

Tabella 74: Consumo specifico di gas naturale per unità di misura della produzione nel settore prodotti da forno – sotto-settore 10.73.00

10.73.00		<i>Sm³/kg</i>	<i>Sm³/m²</i>	<i>Sm³/Pz</i>
	Minimo	0,00	0,00	Dato non indicato per motivi di riservatezza (campione di dati formato da una sola azienda)
	Quartile 1	0,01	8,00	
	Mediana	0,02	16,00	
	Media	6,62	16,00	
	Quartile 3	0,09	24,00	
Massimo	341,82	32,00		

1.4.3 Analisi sugli interventi effettuati

Nel settore prodotti da forno sono stati realizzati complessivamente 98 interventi di risparmio di energia elettrica e termica; allo scopo di analizzarli e metterli a confronto dal punto di vista energetico ed economico, è stato necessario ridefinire preliminarmente le categorie di intervento principali rispetto a quelle indicate nelle diagnosi e riassegnare, in maniera opportuna, i corrispondenti interventi a ciascuna di esse. In particolare, sono state individuate 11 categorie di intervento, di seguito elencate:

- Illuminazione
- Centrale termica
- Climatizzazione

- Aria compressa
- Cogenerazione/Trigenerazione
- Monitoraggio, organizzazione e formazione (ISO 50001)
- Recupero termico
- Centrale frigorifera
- Fonti rinnovabili
- Linee produttive
- Pompe
- Motori
- Inverter

Come evidenziato in Figura 103, il maggior numero di interventi di risparmio energetico ha interessato il sistema di illuminazione (29), la centrale termica (13) e la climatizzazione (12), che complessivamente costituiscono più della metà degli interventi effettuati. Gli interventi di recupero termico realizzati sono stati complessivamente 5.

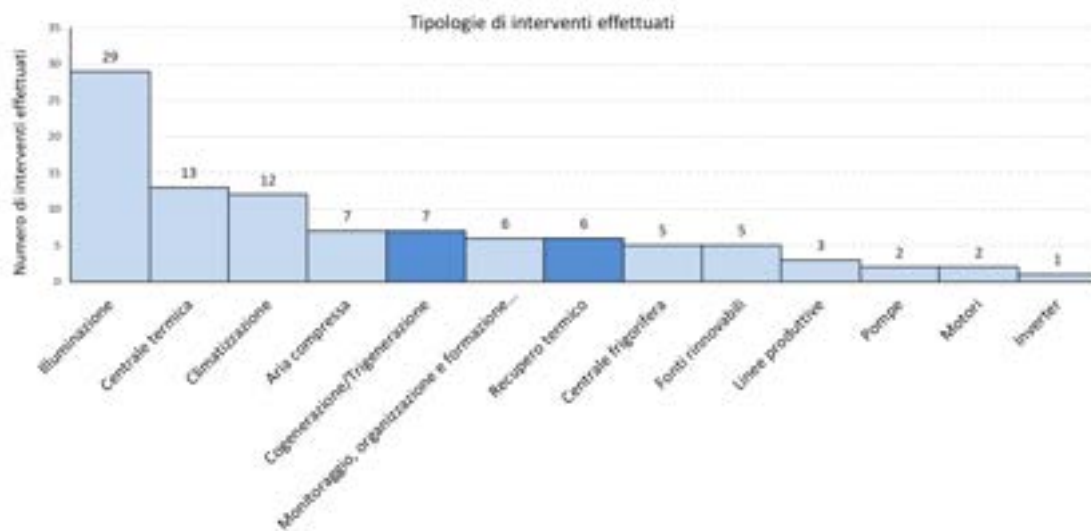


Figura 103: Numero e tipologia di interventi effettuati nel settore prodotti da forno

I dati forniti dalle aziende riguardano principalmente i risparmi ottenibili in termini di energia elettrica ed il costo del relativo intervento, in pochi casi si rinviengono i dati relativi ai risparmi in termini di kWh termici. Numerosi sono i casi in cui non si evince alcuna informazione in merito ai risparmi, soprattutto quando l'intervento riguarda azioni di monitoraggio o sistemi di cogenerazione.

Dalla Figura 105 si rileva come i risparmi ottenuti, convertiti in TEP, presentano dei valori estremamente eterogenei e questo è dovuto alle dimensioni dell'intervento ed al suo grado di complessità, nonché dalla tipologia di tecnologia adottata. In media i risparmi più significativi sono da attribuire agli interventi di cogenerazione (≈ 760 TEP/ANNO), di recupero termico (≈ 130 TEP/ANNO), le linee produttive (≈ 92 TEP/ANNO) e quelli relativi alle fonti rinnovabili (≈ 84 TEP/ANNO). È d'uopo evidenziare come spesso le informazioni oggetto dell'analisi compiuta siano insufficienti, in quanto spesso mancano i costi dell'investimento.

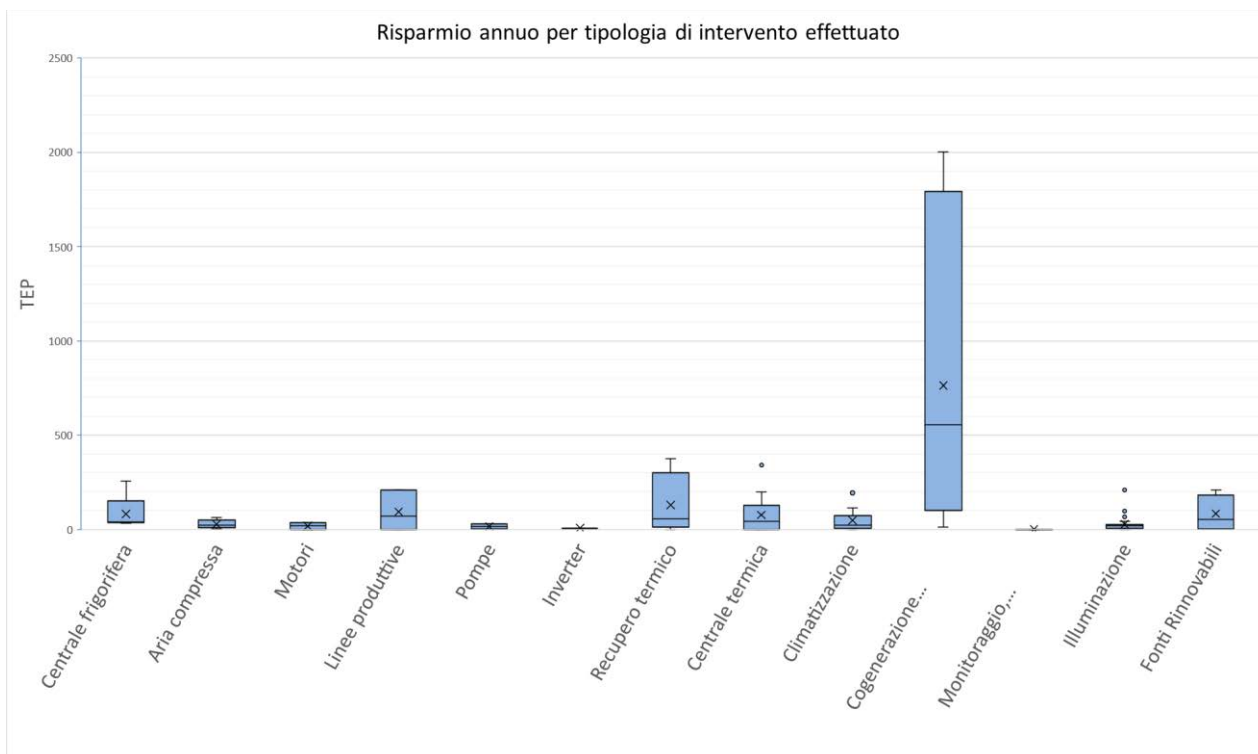


Figura 104: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di intervento per il settore prodotti da forno

Anche i costi dell'intervento presentano una notevole dispersione in parte dovute alla differente complessità dell'intervento, in parte alle dimensioni dell'azienda a cui si riferisce lo stesso. Concordemente con quanto espresso in termini di risparmi energetici anche dal punto di vista economico, gli interventi con un costo di investimento medio più alto sono quelli relativi alle azioni volte al recupero termico, con circa 1140 k€, alla cogenerazione e alla produzione da fonti rinnovabili, entrambi con circa 400 k€.

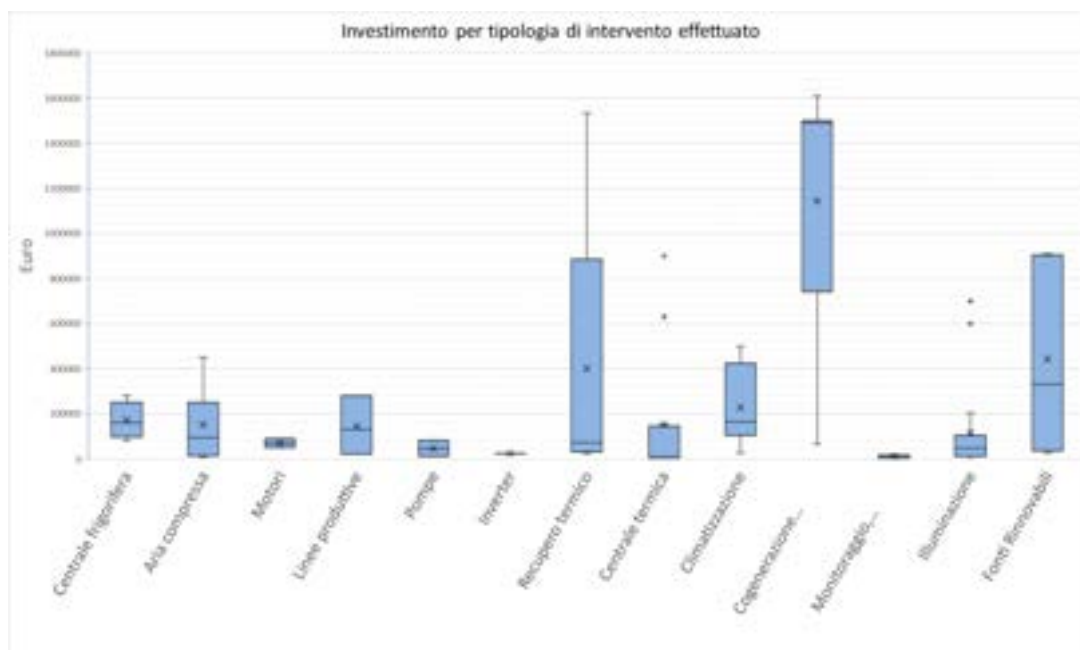


Figura 105: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia elettrica per gli interventi effettuati nel settore prodotti da forno

Tabella 75: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia elettrica per gli interventi effettuati nel settore prodotti da forno

	Aria compressa	Centrale frigorifera	Centrale termica	Climatizzazione	Cogenerazione/Trigenerazione	Monitoraggio	Illuminazione	Impianto di refrigerazione	Inverter	Linee produttive	Motori	Pompe	Fonti rinnovabili	Recupero termico	Impianto pompaggio a vuoto	
Dimensione campione	7	4	13	12	7	6	29	1	1	3	2	1	5	6	1	
Minimo (TEP/anno)	2,15	31,35	0,00	0,00	13,35	0,00	0,00	43,70	6,72	0,00	0,00	2,93	1,75	0,00	28,50	
Quartile (TEP/anno)	1	10,95	36,58	0,00	6,18	152,10	0,00	5,10	43,70	6,72	35,15	8,80	2,93	4,67	19,08	28,50
Mediana (TEP/anno)	22,80	38,92	41,58	23,75	556,00	0,00	17,10	43,70	6,72	70,30	17,60	2,93	51,30	56,16	28,50	
Media (TEP/anno)	26,98	91,66	76,42	47,22	762,43	0,00	27,82	43,70	6,72	93,01	17,60	2,93	83,88	129,63	28,50	
Quartile (TEP/anno)	3	38,81	94,00	120,29	66,03	1.231,10	0,00	24,70	43,70	6,72	139,52	26,40	2,93	154,67	227,28	28,50
Massimo (TEP/anno)	64,41	257,45	340,00	193,25	2.001,27	0,00	209,00	43,70	6,72	208,74	35,20	2,93	207,00	374,40	28,50	

Tabella 76: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di intervento per il settore prodotti da forno

	Aria compressa	Centrale frigorifera	Centrale termica	Climatizzazione	Cogenerazione/Trigenerazione	Monitoraggio	Illuminazione	Impianto di refrigerazione	Inverter	Linee produttive	Motori	Pompe	Fonti rinnovabili	Recupero termico	Impianto pompaggio a vuoto	
Dimensione campione	7	4	13	12	7	6	21	1	1	3	2	1	5	6	1	
Minimo (Euro)	6.000,00	112.924,00	0,00	25.000,00	65.000,00	0,00	0,00	80.000,00	23.233,31	20.000,00	50.000,00	10.000,00	25.000,00	22.500,00	81.000,00	
Quartile (Euro)	1	26.250,00	148.231,00	0,00	113.575,00	920.000,00	1.590,75	14.500,00	80.000,00	23.233,31	75.000,00	60.000,00	10.000,00	45.000,00	34.000,00	81.000,00
Mediana (Euro)	93.000,00	190.000,00	8.000,00	164.000,00	1.490.000,00	9.105,00	48.547,00	80.000,00	23.233,31	130.000,00	70.000,00	10.000,00	330.000,00	70.950,00	81.000,00	
Media (Euro)	151.642,86	193.231,00	153.565,38	227.425,00	1.143.571,43	8.535,17	116.479,83	80.000,00	23.233,31	143.333,33	70.000,00	10.000,00	442.000,00	399.906,40	81.000,00	
Quartile (Euro)	3	230.000,00	235.000,00	141.600,00	327.500,00	1.500.000,00	14.212,50	90.000,00	80.000,00	23.233,31	205.000,00	80.000,00	10.000,00	900.000,00	527.975,00	81.000,00
Massimo (Euro)	450.000,00	280.000,00	900.000,00	500.000,00	1.610.000,00	18.000,00	700.000,00	80.000,00	23.233,31	280.000,00	90.000,00	10.000,00	910.000,00	1.533.038,37	81.000,00	

La Figura 106 mostra la ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi effettuati nel settore prodotti da forno. Il 34% % del capitale investito è destinato agli interventi riguardanti la cogenerazione, seguono l'illuminazione al 14%, la climatizzazione al 12% ed il recupero termico al 10%.

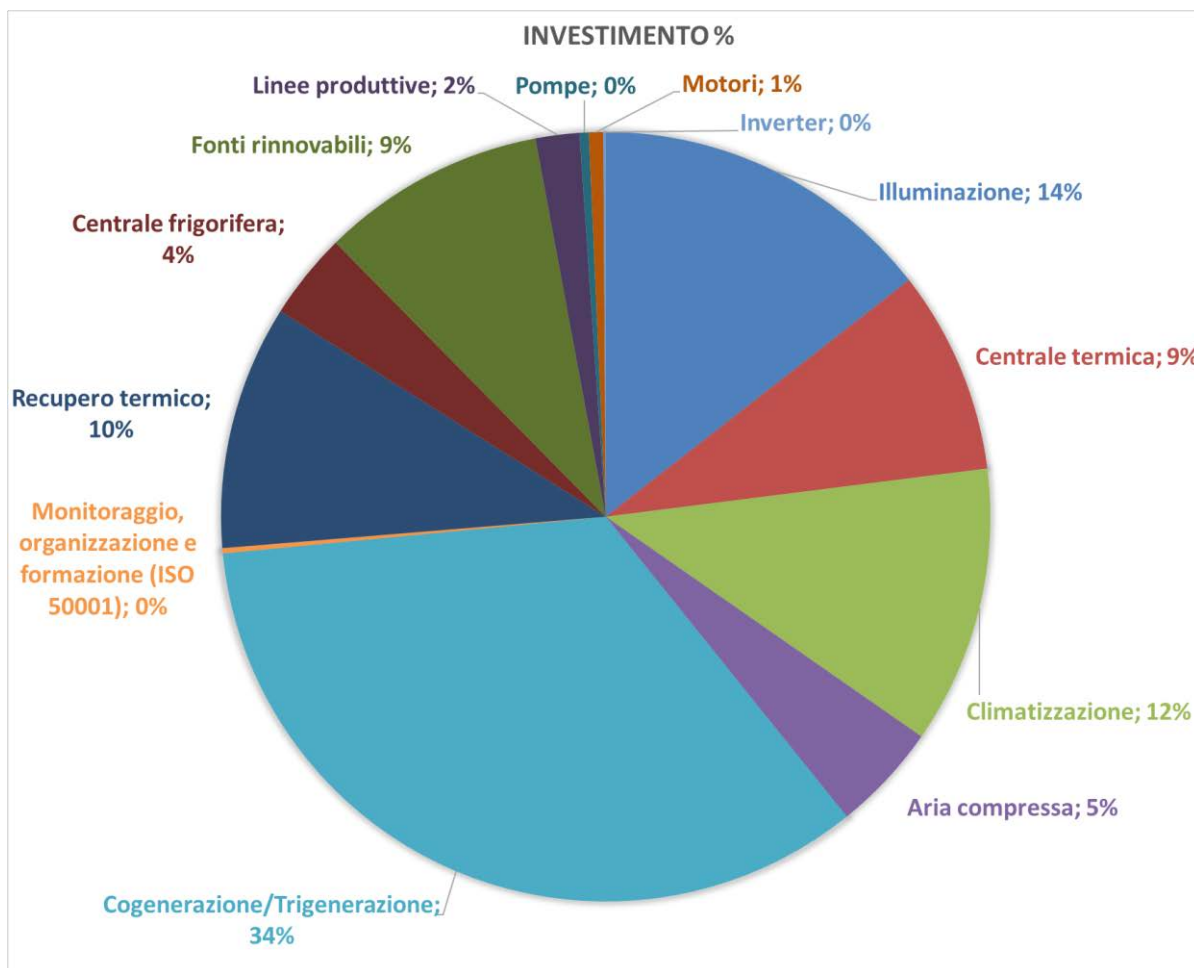


Figura 106: Ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi effettuati nel settore prodotti da forno

In Figura 107 sono mostrate le diverse tipologie di interventi di recupero termico e la loro frequenza. In Figura 108 ed in Figura 109 sono mostrati i risparmi di energia primaria riscontrati dall'applicazione dei succitati interventi effettuati nel settore prodotti da forno (Tabella 77) e nelle specifiche sottocategorie.

Gli interventi con un maggiore risparmio di energia primaria ottenibile sono quelli relativi al recupero dal camino dei forni (≈ 275 TEP/anno) e dai fumi dei forni (≈ 190 TEP/anno), in entrambi i casi però è anche previsto un maggior costo medio di investimento; per il recupero dal camino dei forni l'investimento medio è di circa 1.500.000 Euro, mentre nel caso del recupero dai fumi dei forni l'investimento medio ha un costo di circa 355.000 Euro.

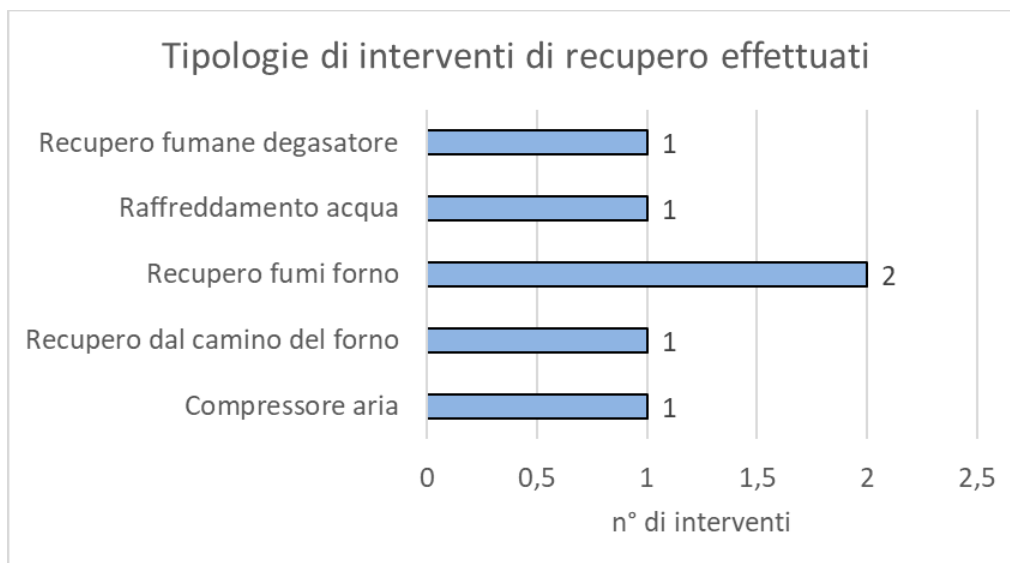


Figura 107: Numerosità e tipologie di interventi di recupero termico effettuati nel settore prodotti da forno

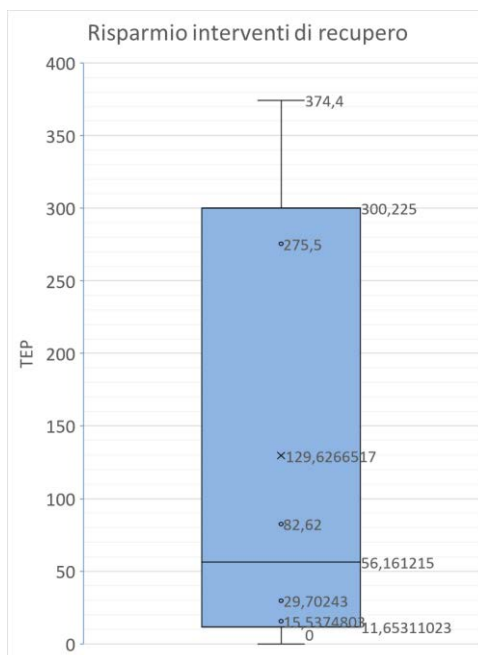


Figura 108: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore prodotti da forno

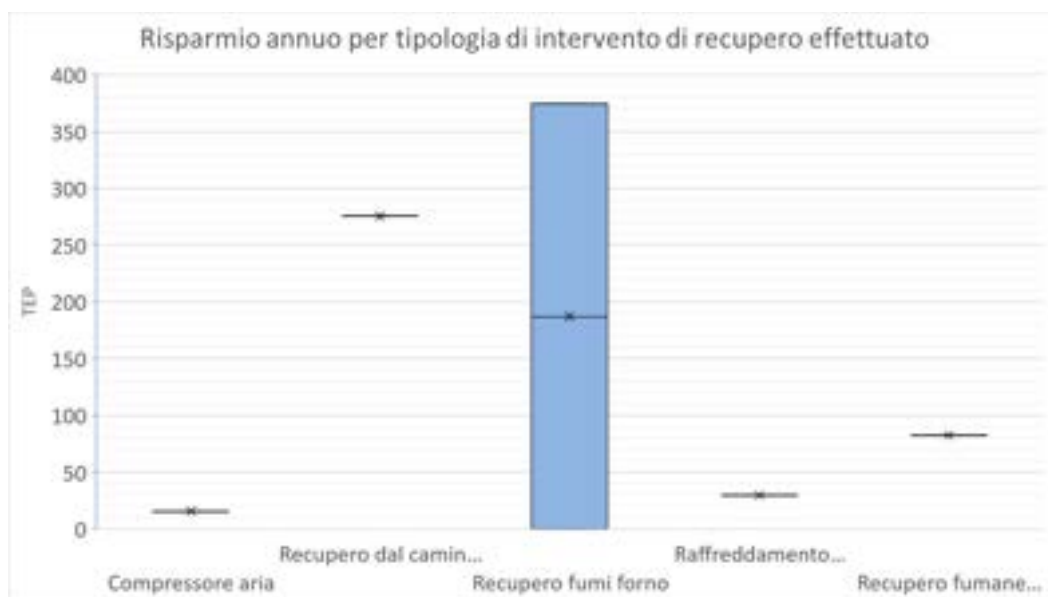


Figura 109: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore effettuato nel settore prodotti da forno

Tabella 77: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore effettuato nel settore prodotti da forno

	<i>Compressore aria</i>	<i>Recupero dal camino del forno</i>	<i>Recupero fumi forno</i>	<i>Raffreddamento acqua</i>	<i>Recupero fumane deasatore</i>
Dimensione campione	1	1	2	1	1
Minimo (TEP/anno)	15,54	275,50	0,00	29,70	82,62
Quartile 1 (TEP/anno)	15,54	275,50	93,60	29,70	82,62
Mediana (TEP/anno)	15,54	275,50	187,20	29,70	82,62
Media (TEP/anno)	15,54	275,50	187,20	29,70	82,62
Quartile 3 (TEP/anno)	15,54	275,50	280,80	29,70	82,62
Massimo (TEP/anno)	15,54	275,50	374,40	29,70	82,62

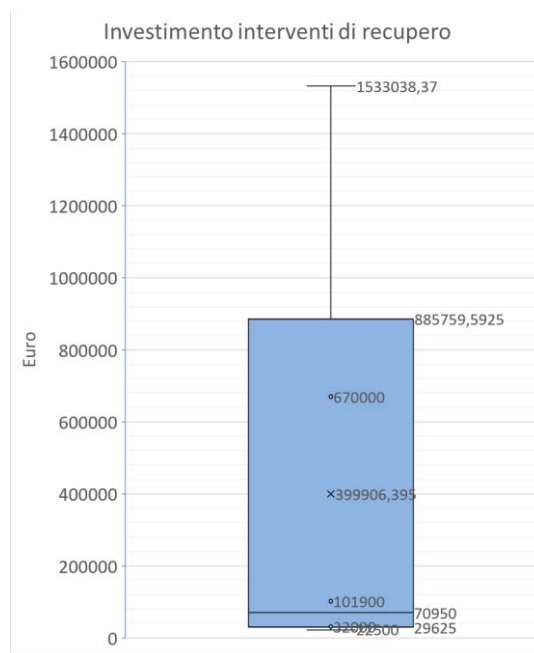


Figura 110: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore prodotti da forno

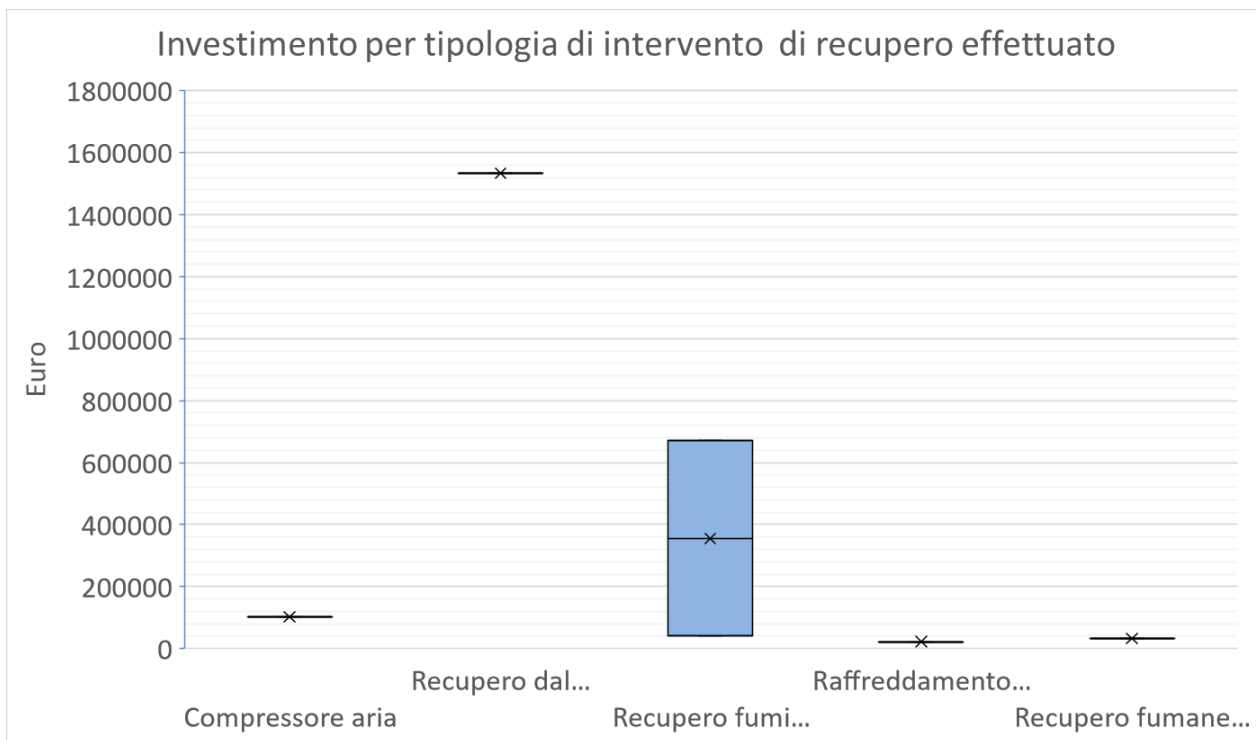


Figura 111: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore prodotti da forno

Tabella 78: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore effettuati nel settore prodotti da forno

	<i>Compressore aria</i>	<i>Recupero dal camino del forno</i>	<i>Recupero fumi forno</i>	<i>Raffreddamento acqua</i>	<i>Recupero fumane degasatore</i>
Dimensione e campione	1	1	2	1	1
Minimo (Euro)	101.900,00	1.533.038,37	40.000,00	22.500,00	32.000,00
Quartile 1 (Euro)	101.900,00	1.533.038,37	197.500,00	22.500,00	32.000,00
Mediana (Euro)	101.900,00	1.533.038,37	355.000,00	22.500,00	32.000,00
Media (Euro)	101.900,00	1.533.038,37	355.000,00	22.500,00	32.000,00
Quartile 3 (Euro)	101.900,00	1.533.038,37	512.500,00	22.500,00	32.000,00
Massimo (Euro)	101.900,00	1.533.038,37	670.000,00	22.500,00	32.000,00

1.4.4 Analisi sugli interventi individuati

Dall'analisi dei dati forniti dalle aziende sono stati individuati dalle stesse 415 potenziali interventi di risparmio energetico. Così come evidenziato in Figura 112 i succitati interventi sono stati ridefiniti in sole 17 categorie, tali da consentire un confronto in termini energetici ed economici. Le stesse sono di seguito riportate:

- Impianto di depurazione
- Sostituzione vettore energia termica
- Trasporti
- Intervento misto
- Inverter
- Centrale frigorifera
- Climatizzazione
- Motori
- Linee produttive
- Centrale termica
- Impianti elettrici
- Recupero termico
- Generale (monitoraggio, organizzazione, formazione, ISO 50001)
- Cogenerazione/Trigenerazione
- Aria compressa
- Produzione da Fonti Rinnovabili
- Illuminazione

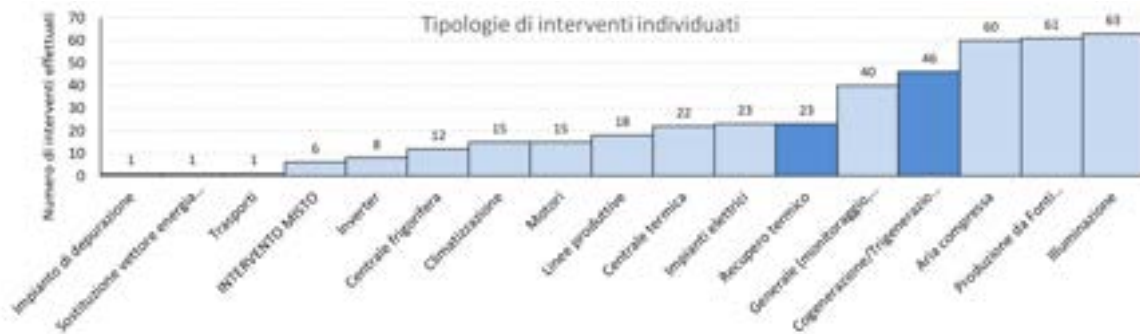


Figura 112: Numero e tipologia di interventi individuati nel settore prodotti da forno

Dalla Figura 112 si evidenzia come il maggior numero degli interventi ricadano nelle categorie “illuminazione” (63), “produzione di fonti rinnovabili” (61) e “aria compressa” (60). Gli interventi relativi al “recupero termico” invece sono complessivamente 23 mentre quelli riferiti ad interventi di “cogenerazione” 46.

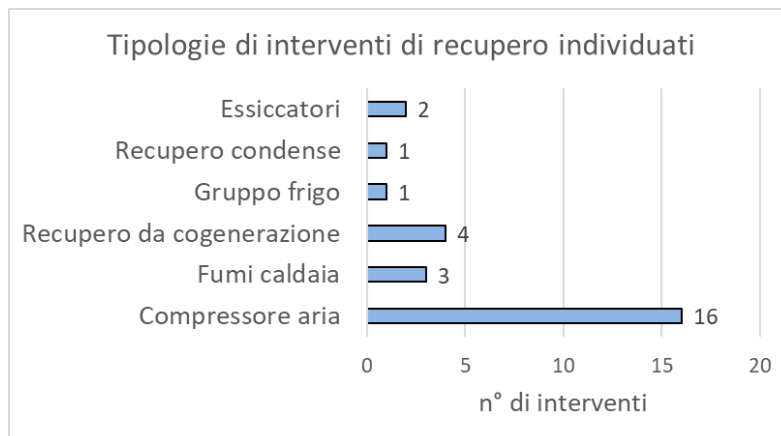


Figura 113: Numerosità e tipologie di interventi di recupero termico individuati nel settore prodotti da forno

Per ciò che riguarda gli interventi relativi al recupero termico, dalla Figura 113 è possibile notare come la maggior parte delle casistiche riguardino il recupero da compressori d’aria per un valore totale pari a 16. I dati forniti dalle aziende in merito alle categorie in cui ricadono gli interventi individuati, spesso non sono perfettamente fittanti e dunque sono stati riassegnati in numerosi casi, inoltre spesso sono risultati assenti i dati relativi ai risparmi ottenibili, sia in termici economici che energetici, si è dunque proceduto individuando tramite calcolo il risparmio annuo ottenibile in termini di TEP. Nella maggior parte dei casi però sono evincibili i dati riferiti ai risparmi elettrici piuttosto che quelli termici e sono stati valutati i costi di investimento nella loro totalità.

Nelle relazioni presentate dalle aziende, talvolta, non è possibile individuare alcuna descrizione dell’intervento proposto e altre volte è stato assegnato un unico valore di investimento o di risparmio ottenibile ad una miscellanea di interventi che, per semplicità di descrizione, si è scelto di individuare come “intervento misto”.

Ecezione fatta per un intervento estremamente dispendioso nell’ambito della categoria “cogenerazione” pari a 18.500.000 Euro, di media gli interventi più onerosi dal punto di vista economico sono quelli relativi alla categoria “centrale termica”, alle fonti rinnovabili (≈425 k€). e agli interventi, cosiddetti, misti (≈570 k€), così come riassunto dalla Figura 114 e dalla Tabella 80. L’intervento, invece, più economico riguarda l’installazione di un sistema di depurazione, il cui investimento è pari a 10.000 €.

In termini di risparmio di energia si evince che gli interventi più convenienti sono quelli che riguardano la centrale termica, nonostante siano i più onerosi, quelli ricadenti nella categoria “centrale frigorifera” e gli interventi di natura mista (Figura 115 e Tabella 79).

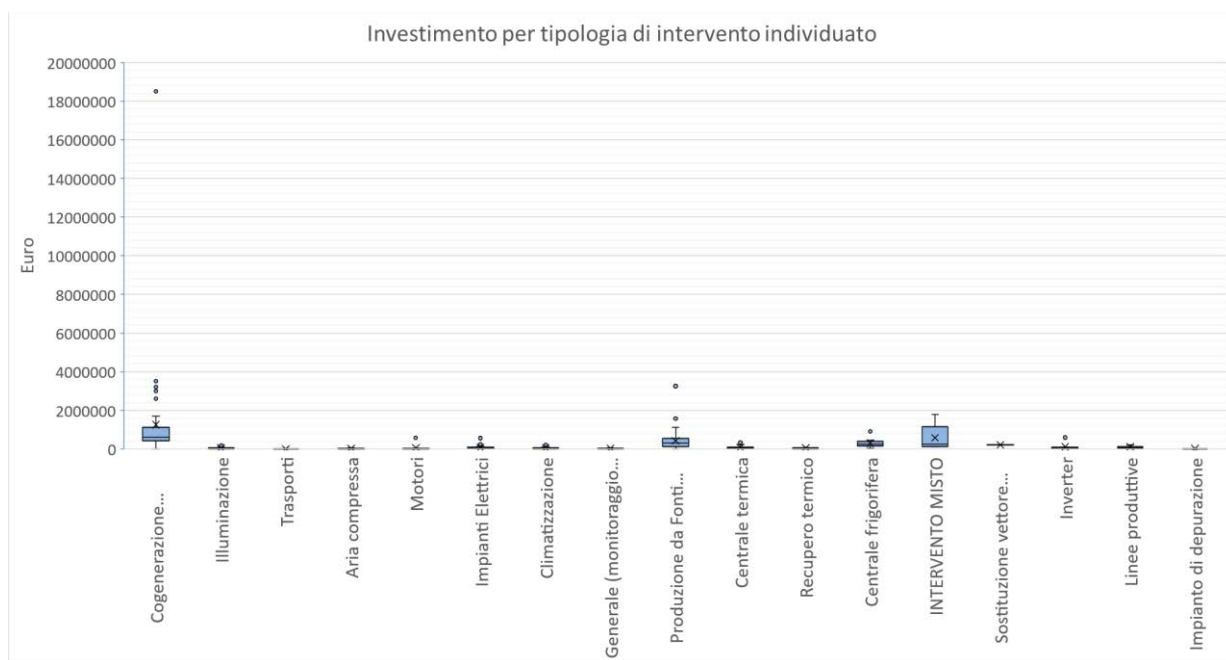


Figura 114: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di interventi individuati per il settore prodotti da forno

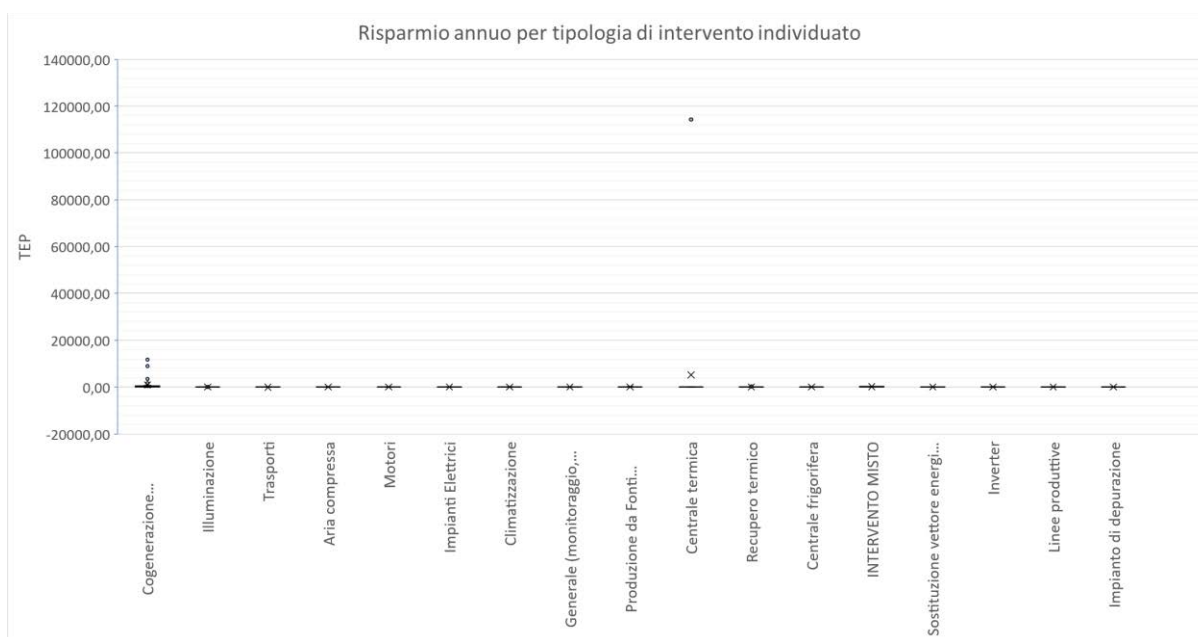


Figura 115: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria delle diverse classi di interventi individuati per il settore prodotti da forno

Tabella 79: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria delle diverse classi di interventi individuati per il settore prodotti da forno

	illuminazione	Aria compressa	Monitoraggio, organizzazione e formazione Fonti rinnovabili	Centrale termica	Recupero termico	Cogenerazione/Trigenerazione	Motori	Linee produttive	Impianto di depurazione	Climatizzazione	Sostituzione vettore energia	Inverter	Centrale frigorifera	Trasporti	Intervento Misto	Impianti Elettrici	
Dimensione campione	63	60	40	61	22	23	46	15	18	1	15	1	8	12	1	6	23
Minimo (TEP/anno)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	-222,00	0,30	0,87	12,60	0,60	7,70	6,35	2,36	0,93	19,47	0,00
Quartile 1 (TEP/anno)	2,64	3,70	3,75	24,48	7,11	5,74	83,78	4,35	13,99	12,60	4,05	7,70	9,77	44,02	0,93	24,93	2,02
Mediana (TEP/anno)	10,90	7,58	15,80	53,15	13,69	19,00	219,20	6,65	40,05	12,60	6,55	7,70	22,94	67,93	0,93	67,31	9,79
Media (TEP/anno)	19,32	14,04	23,35	86,71	5.227,54	76,10	918,21	9,27	56,96	12,60	15,67	7,70	45,31	65,96	0,93	162,83	35,82
Quartile 3 (TEP/anno)	26,80	20,49	36,22	95,76	37,18	37,09	466,81	9,80	74,58	12,60	18,57	7,70	70,17	79,46	0,93	133,54	29,19
Massimo (TEP/anno)	116,33	83,22	98,30	624,40	114.295,00	721,10	11.671,59	40,03	225,00	12,60	79,80	7,70	139,74	170,39	0,93	656,45	323,99

Tabella 80: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento delle diverse classi di intervento per il settore prodotti da forno

	illuminazione	Aria compressa	Monitoraggio, organizzazione e Fonti rinnovabili	Centrale termica	Recupero termico	Cogenerazione/Trigenerazione	Motori	Linee produttive	Impianto di depurazione	Climatizzazione	Sostituzione vettore energia	Inverter	Centrale frigorifera	Trasporti	Intervento Misto	Impianti Elettrici	
Dimensione campione	63	60	40	61	22	23	46	15	18	1	15	1	8	12	1	6	23
Minimo (Euro)	0,00	0,00	0,00	100,00	2.520,00	5.000,00	0,00	1.000,00	2.500,00	10.000,00	4.000,00	210.000,00	12.500,00	16.500,00	4.500,00	117.000,00	2.200,00
Quartile 1 (Euro)	12.750,00	2.475,00	9.750,00	135.000,00	17.750,00	9.650,00	412.500,00	5.410,00	17.000,00	10.000,00	8.154,00	210.000,00	21.500,00	153.750,00	4.500,00	126.500,00	19.600,00
Mediana (Euro)	33.000,00	8.000,00	15.000,00	310.800,00	50.000,00	20.000,00	605.000,00	12.800,00	63.267,80	10.000,00	24.000,00	210.000,00	26.250,00	230.000,00	4.500,00	238.500,00	40.000,00
Media (Euro)	50.050,99	22.644,47	31.559,98	426.937,26	72.000,45	58.714,48	1.256.295,09	52.072,00	97.005,13	10.000,00	43.793,87	210.000,00	102.729,44	281.386,67	4.500,00	569.000,00	78.579,52
Quartile 3 (Euro)	65.000,00	27.750,00	29.800,00	520.287,30	100.000,00	45.000,00	1.087.500,00	20.150,00	120.000,00	10.000,00	65.000,00	210.000,00	50.500,00	385.000,00	4.500,00	781.750,00	87.279,50
Massimo (Euro)	302.664,49	175.400,00	200.233,00	3.250.000,00	325.000,00	500.000,00	18.500.000,00	580.000,00	600.000,00	10.000,00	200.000,00	210.000,00	584.835,50	900.000,00	4.500,00	1.768.000,00	557.254,00

Per ciò che riguarda gli indici di redditività così come avvenuto per il settore tessile, non si è ritenuto necessario procedere con un'analisi dettagliata poiché la variabilità degli interventi, la loro entità e le caratteristiche identificative (vita utile dell'intervento, costi vettori energetici, ore di funzionamento dell'impianto, etc.) non li rende confrontabili in modo adeguato.

Ponendo invece l'accento sugli interventi di recupero, riportati nella Figura 116 e nella Figura 117, si può notare come i risparmi di energia primaria presentino una certa variabilità all'interno della medesima categoria di intervento. Solo nel caso dell'aria compressa però abbiamo un termine di paragone variegato che permetta delle assunzioni di massima, diversamente in quasi tutti gli altri casi, si è in presenza di una sola casistica per tipologia di intervento.



Figura 116: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per gli interventi di recupero di calore individuati nel settore prodotti da forno

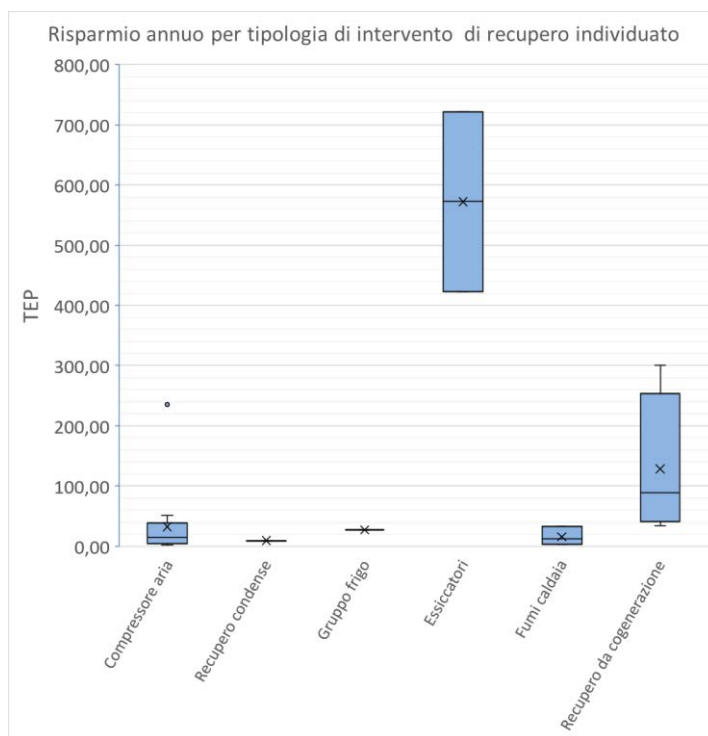


Figura 117: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore prodotti da forno

La categoria che evidenzia il maggior valore di risparmio è quella degli “essiccatori” con circa 572 TEP/anno, ma la numerosità delle casistiche si riduce a soli due esempi, seguono poi gli interventi di cogenerazione circa 128 TEP/anno (4 casi studio) e tutti gli altri hanno valori maggiormente confrontabili (valori compresi tra 10 e 30 TEP/anno) (Tabella 81).

Tabella 81: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei risparmi di energia primaria per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore prodotti da forno

	<i>Compressore aria</i>	<i>Essiccatori</i>	<i>Fumi caldaia</i>	<i>Gruppo frigo</i>	<i>Recupero condense</i>	<i>Recupero da cogenerazione</i>
Dimensione campione	16	2	3	1	1	4
Minimo (TEP/anno)	1,60	423,33	3,00	27,37	9,40	34,56
Quartile 1 (TEP/anno)	5,20	497,77	7,48	27,37	9,40	55,02
Mediana (TEP/anno)	15,15	572,21	11,95	27,37	9,40	89,13
Media (TEP/anno)	32,57	572,21	15,98	27,37	9,40	128,20
Quartile 3 (TEP/anno)	35,63	646,66	22,48	27,37	9,40	162,31
Massimo (TEP/anno)	235,10	721,10	33,00	27,37	9,40	300,00

La Figura 118, la Figura 119 e la Tabella 82 riassumono i costi d’investimento delle singole sottocategorie di intervento per il recupero termico e li confrontano. Anche in questo caso si evidenzia come solo nel caso delle azioni riguardanti l’aria compressa e il recupero da cogenerazione la numerosità di casi, rispettivamente 16 e 4, rende la loro analisi più dettagliata, diverso è per gli altri interventi poiché si è sempre in presenza di un solo o al massimo due esempi per sottocategoria.

Si nota altresì che nelle categorie riferite al recupero di calore da cogenerazione e dagli essiccatori si riscontrano i costi d’investimento maggiori, rispettivamente 308000 Euro e 330000 Euro, l’intervento che invece risulta essere il più economico, riguarda il gruppo frigo e si attesta sui 5000 Euro.

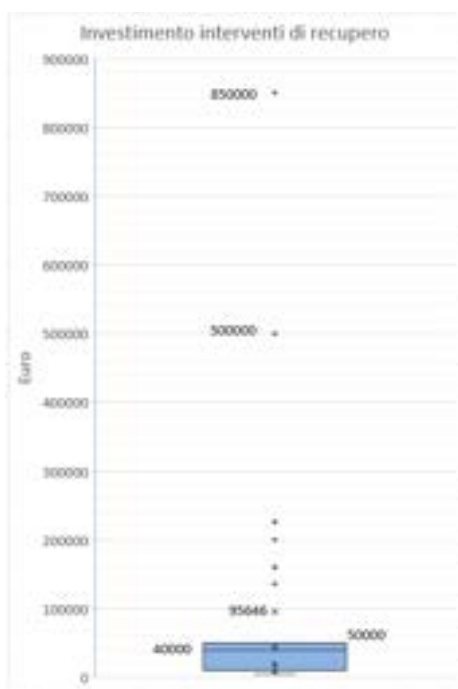


Figura 118: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero di calore individuati nel settore prodotti da forno

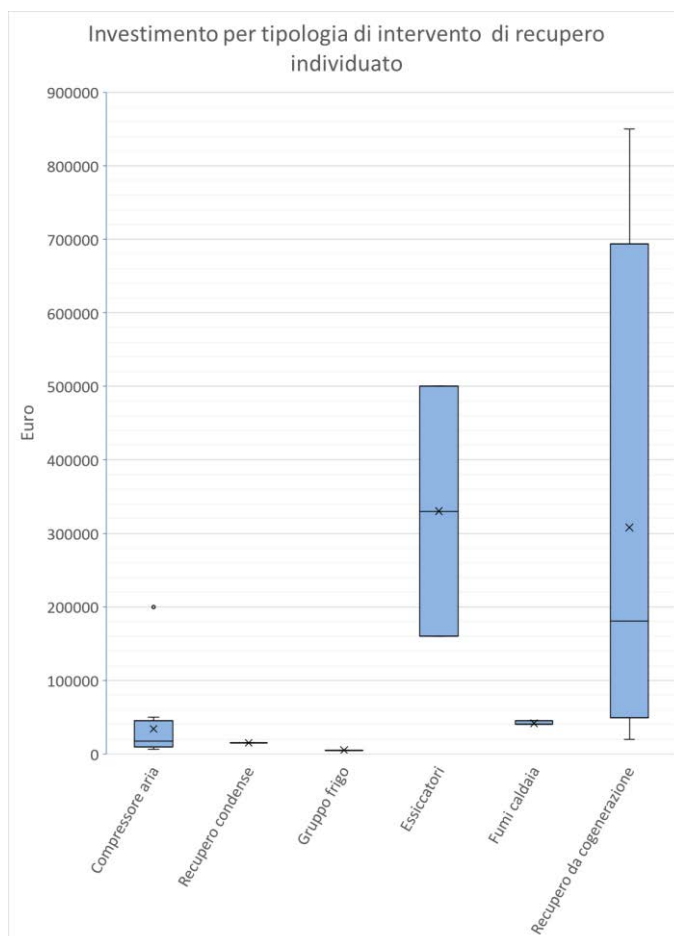


Figura 119: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore prodotti da forno

Tabella 82: Caratterizzazione della funzione di distribuzione dei costi di investimento per sottocategoria di intervento di recupero di calore individuato nel settore prodotti da forno

	<i>Compressore aria</i>	<i>Essiccatori</i>	<i>Fumi caldaia</i>	<i>Gruppo frigo</i>	<i>Recupero condense</i>	<i>Recupero da cogenerazione</i>
Dimensione campione	16	2	3	1	1	4
Minimo (Euro)	6.000,00	160.000,00	40.000,00	5.000,00	15.000,00	20.000,00
Quartile 1 (Euro)	9.300,00	245.000,00	40.000,00	5.000,00	15.000,00	107.000,00
Mediana (Euro)	17.250,00	330.000,00	40.000,00	5.000,00	15.000,00	181.000,00
Media (Euro)	34.089,56	330.000,00	41.666,67	5.000,00	15.000,00	308.000,00
Quartile 3 (Euro)	45.000,00	415.000,00	42.500,00	5.000,00	15.000,00	382.000,00
Massimo (Euro)	200.000,00	500.000,00	45.000,00	5.000,00	15.000,00	850.000,00

Dall'analisi dei dati relativi ai soli interventi di recupero termico individuati dalle aziende del settore prodotti da forno è stato possibile definire una correlazione tra i risparmi di energia primaria ed i corrispondenti costi di investimento. La Figura 120 riporta l'andamento dei risparmi annuali di energia primaria in funzione dei costi di investimento per gli interventi di recupero termico afferenti alla cogenerazione mentre la Figura 121 afferisce alla sottocategoria recupero termico dall'aria compressa.

Per le altre categorie (fumi caldaia, gruppo frigo, recupero condense ed essiccatori) non è stato ritenuto significativo ricercare una correlazione tra i risparmi di energia primaria ed i costi d'investimento proprio perché le casistiche erano estremamente ridotte e dunque non sufficientemente rappresentative di un eventuale studio di settore (Figura 121).

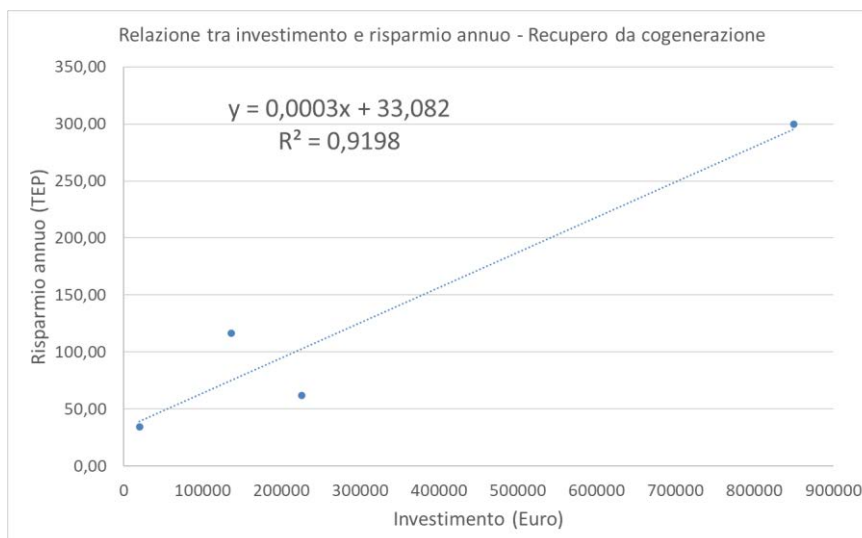


Figura 120: Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi alla cogenerazione nel settore prodotti da forno

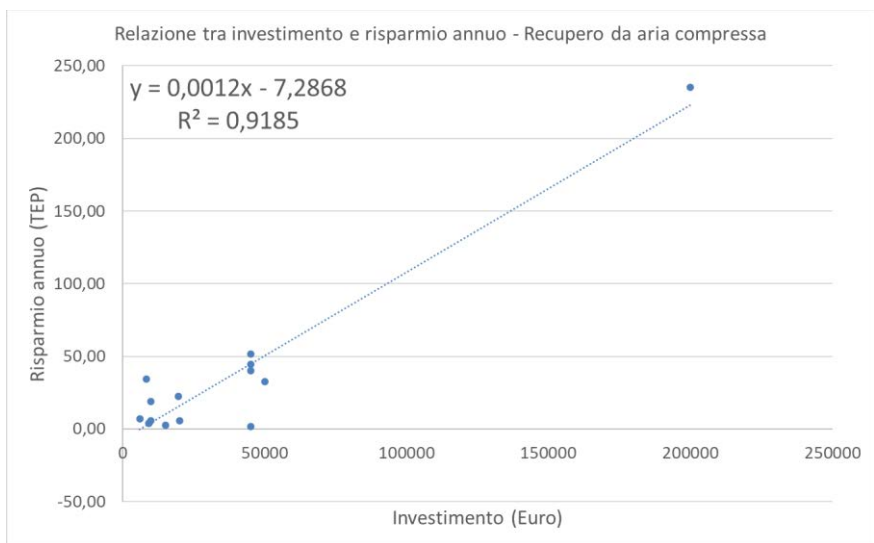


Figura 121: Andamento dei risparmi di energia primaria in funzione del corrispondente costo di investimento per gli interventi di recupero relativi all'aria compressa nel settore prodotti da forno

Per concludere il diagramma di Figura 121 sottolinea la percentuale di incidenza delle singole categorie di intervento di risparmio energetico nella ripartizione degli investimenti nel settore prodotti da forno. Rispetto al caso degli interventi realizzati, il contributo degli impianti di cogenerazione e trigenerazione passa dal 34% al 55%, l'incremento più significativo però lo mostra il settore della produzione da fonti rinnovabili che passa dal 9% al 25% presumibilmente per l'eventuale ricorso a titoli di efficienza energetica o altri sistemi incentivanti; il valore associato agli interventi di recupero di calore subisce una notevole abbattimento passando dal 10% nel caso degli interventi effettuati al mero 1% nel caso degli interventi individuati.

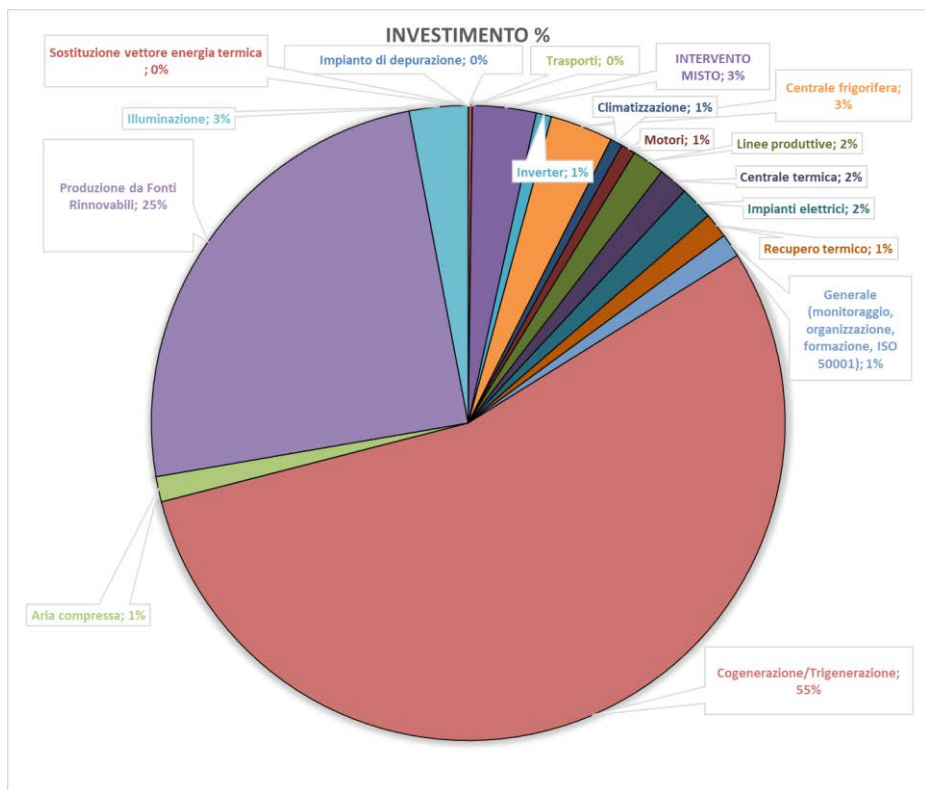


Figura 122: Ripartizione degli investimenti tra le diverse categorie di interventi individuati nel settore prodotti da forno

1.4.5 Integrazione del database con i dati del settore

Il database dei casi di studio è stato ulteriormente arricchito attraverso l'integrazione dei dati relativi a 16 interventi di recupero termico effettuati e individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche del settore prodotti da forno, che presentavano dati sufficienti per risultare rappresentativi. L'analisi di questi casi ha evidenziato laddove possibile:

- le potenziali soluzioni di recupero del calore di scarto generato nel processo o in seno ai diversi servizi ausiliari;
- i possibili utilizzi del calore recuperato;
- le tecnologie impiegate;
- le prestazioni energetiche ed economiche degli interventi proposti.

A questo proposito, la Tabella 83 mette in relazione i diversi interventi di recupero individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche ed i relativi utilizzi del calore di scarto. Si nota come, in tutte le soluzioni proposte, il calore sia recuperato internamente allo stabilimento stesso, spesso però non è stato possibile identificare la natura dell'utilizzo dei calori di scarto proprio perché non definito in alcun modo all'interno della diagnosi.

Tabella 83: Utilizzo del calore di scarto negli interventi di recupero di calore individuati nel settore prodotti da forno

Intervento di recupero	Centrale termica	Cogenerazione/trigenerazione	Compressore aria	Essiccatori	Forni caldaie	Linee produttive	Pompa di calore	Recupero condense
Utilizzo del calore di scarto								
Preriscaldamento acqua caldaia	-	-	1	-	1	-	-	-
Processo produzione pasta	-	-	1	-	-	-	-	-
Riscaldamento ambienti	-	-	1	-	-	1	-	-
Acqua di lavaggio o surriscaldamento	-	-	1	-	-	-	-	-
Produzione ACS	-	1	1	-	-	-	-	-
Riscaldamento acqua impasto	1	-	-	-	-	-	-	-
Non identificato	1	2	9	3	1	-	1	1

Nel caso del settore prodotti da forno non sono state eseguite ulteriori analisi sulle tipologie di tecnologie utilizzate negli interventi di recupero. Il grafico in Figura 123 e la Tabella 84 forniscono informazioni sulla temperatura del calore di scarto per quanto riguarda gli interventi di recupero termico effettuati e individuati, queste informazioni non risultano però essere particolarmente significative perché per la gran parte delle categorie di intervento il campione è esiguo.

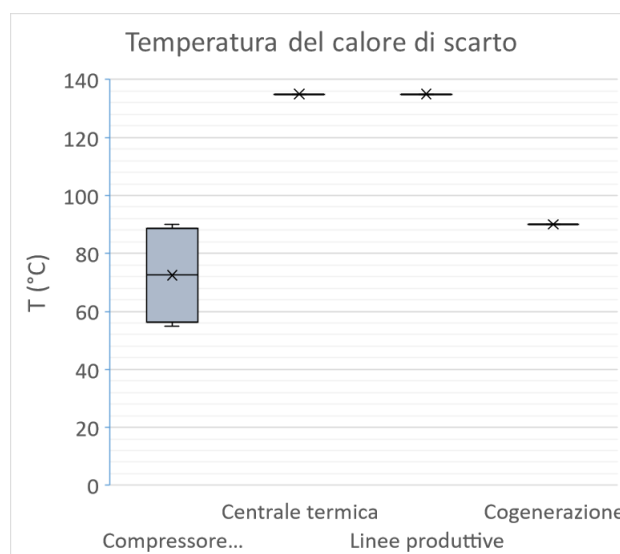


Figura 123: Temperatura del calore di scarto nelle diverse tipologie di interventi di recupero termico effettuati e individuati nel settore prodotti da forno

Tabella 84: Temperatura del calore di scarto nelle diverse tipologie di interventi di recupero termico effettuati e individuati nel settore prodotti da forno

	Centrale termica	Cogenerazione/ trigenerazione	Compressore aria	Linee produttive
Dimensione campione	1	1	4	1
Minimo	135,00	90,00	55,00	135,00
Quartile 1	135,00	90,00	58,75	135,00
Mediana	135,00	90,00	72,50	135,00
Media	135,00	90,00	72,50	135,00
Quartile 3	135,00	90,00	86,25	135,00
Massimo	135,00	90,00	90,00	135,00

Infine, le tabelle seguenti riportano i dati degli interventi di recupero di calore estrapolati dalle diagnosi energetiche e inseriti nel database dei casi di studio; in particolare, per ciascun caso, sono riportati i dati inerenti al tipo di settore e al sotto-settore coinvolti (Tabella 85), al processo che produce il calore di scarto (Tabella 86), alla tecnologia che opera il recupero e l'eventuale trasformazione del calore di scarto (Tabella 87), e al processo che riceve il calore recuperato (

Tabella 88).

Tabella 85: Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore prodotti da forno: caratterizzazione dei settori

ID documento	ID caso	AZIENDE			
		Riferimento geografico	Settori coinvolti (produzione calore)	Sotto settore	Altri settori coinvolti (utilizzo calore)
1	1	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno dolci e salati	
2	2	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno	per poter recuperare tutto il calore possibile sarà necessario installare tre scambiatori a piastre
3	3	Italia	Prodotti da forno	Produzione di torte e lievitati	
4	4	Italia	Prodotti da forno	Produzione di pasta	
5	5	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta di semola di grano duro	
6	6	Italia	Prodotti da forno	Produzione di fette biscottate e di biscotti; produzione di prodotti di pasticceria conservati	La centrale frigo esistente presenta un sistema di recupero termico dai chiller esistenti alla centrale termica, nello specifico ad integrazione della linea di alimentazione della UTA.
6	7	Italia	Prodotti da forno	Produzione di fette biscottate e di biscotti; produzione di prodotti di pasticceria conservati	bilancio economico di questo intervento è strettamente connesso al profilo di carico elettrico e termico del sito oggetto di analisi; pertanto eventuali riduzioni dei fabbisogni energetici possono influenzare il business plan di tale azione. Si sottolinea inoltre la necessità di verificare l'eventuale interferenza registrabile con l'impianto fotovoltaico quantomeno nelle ore centrali della giornata nei giorni non lavorativi (ossia a carico minimo pari a 300 kW).

6	8	Italia	Prodotti da forno	Produzione di fette biscottate e di biscotti; produzione di prodotti di pasticceria conservati	La centrale frigo esistente presenta un sistema di recupero termico dai chiller esistenti alla centrale termica, nello specifico ad integrazione della linea di alimentazione della UTA
7	9	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta di semola di grano duro	INSTALLAZIONE RECUPERATORE DI CALORE DA TUNNEL DI ESSICCAZIONE DELLA PASTA
7	10	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno	
7	11	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno	La produzione dell'aria compressa avviene principalmente attraverso tre compressori a vite, di cui uno a giri variabili. La potenza termica generata dai compressori è attualmente dissipata tramite appositi canali che scaricano l'aria calda: in inverno l'aria è reindirizzata, tramite apposite serrande, verso i locali produttivi, mentre d'estate viene smaltita all'esterno.
7	12	Italia	Prodotti da forno	Produzione di Paste Alimentari, di Cuscus e di Prodotti Farinacei Simili	ARIA COMPRESSA RECUPERO TERMICO: recupero dell'energia termica del compressore (attualmente raffreddato ad Aria) per ridurre i consumi associati al riscaldamento dell'officina attigua.
8	13	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno	In base al livello di utilizzo del compressore del Forno della Rotonda, deriva una quantità potenziale di energia termica resa disponibile di quasi 150.000 kWh/anno. Si può dunque ipotizzare di utilizzare tale calore per la produzione di acqua calda sanitaria e il riscaldamento degli ambienti.
8	14	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno	
9	15	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno per specifiche esigenze (senza glutine, dietetici, proteici etc)	
10	16	Italia	Prodotti da forno	Produzione di Paste Alimentari, di Cuscus e di Prodotti Farinacei Simili	CALDAIA PRERISCALDATORE / ECONOMIZZATORE: installazione recuperatori termici sui fumi di scarico delle caldaie a Olio diatermico per preriscaldare l'aria comburente in caldaia di 30°C.
10	17	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti dolciari e alimentari surgelati	
11	18	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti dolciari e alimentari surgelati	
12	19	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta	L'intervento di miglioramento consiste nel recuperare il calore prodotto dal circuito di raffreddamento dei compressori, attualmente smaltito con ventole, per produrre acqua calda alla temperatura variabile tra 80 °C e 90 °C, che potrà essere utilizzata per il processo produttivo.
13	20	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta all'uovo e di semola	
13	21	Italia	Prodotti da forno	Produzione prodotti da forno a base di pandispagna	
13	22	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta secca	
14	23	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta secca	
	24	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta secca	La maggior parte del consumo di energia termica, sia per il circuito di acqua surriscaldata sia per il circuito di acqua a 85°C, è legato al funzionamento degli essiccatori, utenze necessarie per ragioni di processo. Il consumo termico degli essiccatori, poiché non è misurato da alcuna sonda, è stato dedotto dalla produzione annuale delle macchine produttive e dalla produzione di energia termica.
15	25	Italia	Prodotti da forno	Produzione pasta secca	

16	26	Italia	Prodotti da forno	Produzione Di Paste Alimentari, Di Cuscus E Di Prodotti Farinacei Simili	recupero dell'energia termica del compressore (attualmente raffreddato ad Aria) per ridurre i consumi associati al riscaldamento dei locali attigui. Installazione di un condotto aria che tramite opportuna serranda convogli il flusso
17	27	Italia	Prodotti da forno	Produzione Di Paste Alimentari, Di Cuscus E Di Prodotti Farinacei Simili	installazione recuperatori termici sui fumi di scarico delle caldaie per preriscaldare l'aria comburente in caldaia di 30°C.
18	28	Italia	Prodotti da forno	Produzione Di Paste Alimentari, Di Cuscus E Di Prodotti Farinacei Simili	COMPRESSORE RAFFREDDATO AD ACQUA: sostituzione del compressore (attualmente raffreddato ad Aria) con uno analogo di nuova tecnologia raffreddato ad acqua. Da valutare in caso di obsolescenza del compressore.

Tabella 86: Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore prodotti da forno: caratterizzazione dei processi con produzione di calore di scarto

ID documento	ID caso	PRODUZIONE CALORE DI SCARTO						
		Processo che genera calore di scarto	Vettore	Quantità (flusso, potenza termica o calore prodotto)	Stagionalità produzione	Temperatura	Temperatura (originale)	Portata
1	1	Compressore aria	Olio di lubrificazione		15 ottobre – 15 aprile			
2	2	Compressore aria	Olio di lubrificazione		15 ottobre – 15 aprile			
3	3	Compressore aria	Acqua calda		tutto l'anno	50-55 °C		
4	4	Compressore aria	Aria		tutto l'anno			
5	5	Pompa di calore						
6	6	Compressore aria	Olio di lubrificazione		tutto l'anno	50-60 °C		
6	7	Cogenerazione/trigenerazione			6400 ore/anno			
6	8	Centrale termica			tutto l'anno			
7	9	Essiccatori						
7	10	Compressore aria	Olio di lubrificazione		15 ottobre – 15 aprile			
7	11	Compressore aria	Olio di lubrificazione		15 ottobre – 15 aprile			
7	12	Compressore aria						
8	13	Compressore aria	Olio di lubrificazione					
8	14	Recupero condense						
9	15	Compressore aria	Olio di lubrificazione		3511 ore/anno	50-85 °C		
10	16	Fumi caldaie						
10	17	Compressore aria	Aria		tutto l'anno			
11	18	Cogenerazione/trigenerazione			5422 ore/anno			
12	19	Compressore aria	Acqua			80-90 °C		
13	20	Cogenerazione/trigenerazione			5422 ore/anno			
13	21	Essiccatori						
13	22	Centrale termica	Fumi esausti caldaia		tutto l'anno	135 °C		
14	23	Essiccatori	Fumi caldi		tutto l'anno			
	24	Linee produttive	Aria riscaldata		6864 ore/anno	135 °C		99257 Nm3/h

15	25	Cogenerazione/trigenerazione	Acqua	2747459 kWh	tutto l'anno	90°C	135°C	
16	26	Compressore aria	Aria riscaldata		6784 ore/anno			
17	27	Fumi caldaie					30 °C	
18	28	Compressore aria	Acqua calda		6784 ore/anno			

Tabella 87: Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore prodotti da forno: caratterizzazione delle tecnologie di recupero di calore impiegate

ID documento	ID caso	PROCESSO DI RECUPERO			
		Tecnologia di recupero impiegata	Stadio di sviluppo della tecnologia	Vettore di scambio	Quantità vettore di scambio
1	1	Scambiatore olio-acqua	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
2	2	Scambiatore olio-acqua	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
3	3	Scambiatore	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
4	4	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
5	5		Tecnologia consolidata		
6	6		Tecnologia consolidata	Acqua calda	
6	7		Tecnologia consolidata		
6	8		Tecnologia consolidata		
7	9		Tecnologia consolidata		
7	10	Scambiatore olio-acqua	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
7	11	Scambiatore olio-acqua	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
7	12		Tecnologia consolidata		
8	13		Tecnologia consolidata	Acqua calda	
8	14		Tecnologia consolidata		
9	15	Scambiatore olio-acqua	Tecnologia consolidata	Acqua	
10	16		Tecnologia consolidata		
10	17	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua calda	
11	18		Tecnologia consolidata		
12	19		Tecnologia consolidata		
13	20	Cogenerazione	Tecnologia consolidata		
13	21		Tecnologia consolidata		
13	22	Scambiatore aria/acqua	Tecnologia consolidata	Acqua surriscaldata	
14	23	Essiccatori			
	24	Essiccatori	Tecnologia consolidata	Aria in entrata negli essiccatori	
15	25		Tecnologia consolidata		
16	26		Tecnologia consolidata		
17	27	Recuperatori termici	Tecnologia consolidata		
18	28		Tecnologia consolidata		

Tabella 88: Integrazione del database dei casi di studio con gli interventi di recupero del settore prodotti da forno: caratterizzazione dei processi che utilizzato il calore di scarto

ID documento	ID caso	UTILIZZO DI CALORE DI SCARTO					
		Processo che riceve calore	Interno/esterno	Valorizzazione calore di scarto	Quantità (potenza o flusso, o energia prodotta)	Stagionalità utilizzo	Temperatura utilizzo
1	1		Interno	Energia termica		15 ottobre – 15 aprile	
2	2		Interno	Energia termica		15 ottobre – 15 aprile	
3	3	Acqua di preriscaldamento di caldaia	Interno	Energia termica	64 kW	6000 ore/anno	
4	4	Processo produzione pasta	Interno	Energia termica		tutto l'anno	80°C
5	5						
6	6	Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica		tutto l'anno	
6	7						
6	8		Interno	Energia termica			
7	9						
7	10		Interno	Energia termica		15 ottobre – 15 aprile	
7	11		Interno	Energia termica		15 ottobre – 15 aprile	
7	12		Interno	Energia termica			
8	13		Interno	Energia termica			
8	14		Interno	Energia termica			
9	15	Acqua di lavaggio o acqua di riscaldamento	Interno	Energia termica	3.511 h/anno	tutto l'anno	50-80°C
10	16						
10	17	Produzione acqua calda sanitaria	Interno	Energia termica			
11	18		Interno	Energia termica			
12	19		Interno	Energia termica			
13	20						
13	21		Interno	Energia termica			
13	22	Riscaldamento acqua di impasto	Interno	Energia termica			35 °C
14	23						
	24	Riscaldamento ambienti	Interno	Energia termica	874057 Sm3/anno	tutto l'anno	
15	25	Produzione acqua calda sanitaria					
16	26		Interno	Energia termica			
17	27	Acqua di preriscaldamento di caldaia	Interno	Energia termica			
18	28		Interno	Energia termica			

Ulteriori informazioni utili ricavate dall'analisi dei PDF delle diagnosi energetiche e relative a principali barriere, soluzioni identificate per superarle e considerazioni generali utili per la fase di valutazione e implementazione sono riportate di seguito:

- In alcuni casi si sono proposti interventi di recupero su macchinari già predisposti in tal senso, semplicemente mancanti di una valutazione dei benefici, uno specifico allaccio oppure un sistema di controllo;

- L'azienda si ripropone di rivalutare la convenienza di eventuali impianti di cogenerazione/trigenerazione a valle di una valutazione completa delle opportunità di recupero di calore;
- In alcuni casi l'azienda evidenzia la necessità di valutazioni congiunte di più interventi di efficientamento o recupero;
- Alcuni interventi particolarmente complessi da un punto di vista impiantistico vengono prima proposti per parti piccole di impianto con l'obiettivo di verificarne la fattibilità e l'efficacia per poi essere applicati al resto dello stabilimento;
- La valutazione di alcuni interventi (come quello sui compressori) viene posticipata quando sarà maggiore l'obsolescenza dei macchinari (da proposta di intervento a best practice per l'acquisto e la progettazione).

1.4.6 Integrazione delle mappe con i dati del settore

Nonostante si sia provveduto a compiere un'analisi accurata delle diagnosi energetiche, dai dati forniti dalle aziende che operano nel settore prodotti da forno non è stato possibile estrapolare un set di informazioni complete.

In particolare, in sole 11 delle diagnosi analizzate, è stato possibile estrapolare schemi di processi e qualche dato relativo alla temperatura a cui avviene il processo di produzione. Solo da una minima parte di queste diagnosi, è stato possibile riportare il nome della fase di produzione, il relativo vettore termico impiegato e le condizioni operative corrispondenti (temperatura e pressione).

Nel settore prodotti da forno si è evinto che questa suddivisione delle fasi varia notevolmente tra tipologia di prodotti, in più risente molto della presenza o meno di una farcitura all'interno del prodotto stesso. Non è stato possibile rinvenire altresì le informazioni riguardanti il recupero del calore di scarto.

Le uniche informazioni che è stato possibile rinvenire sono state riportate nelle tabelle di seguito indicate ed riferiscono quanto segue:

- la sequenza delle fasi;
- i vettori energetici impiegati, con l'indicazione dei possibili livelli di temperatura e pressione (ove disponibili).

Tabella 89: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosettore 10.71.20

Prodotti a base gelato			
FASI	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	T (°C)	
Omogenizzazione (cremeria)	Acqua calda		
Pastorizzazione (cremeria)	Vapore acqueo		
Stoccaggio semilavorati (cremeria)	Aria		
Preparazione impasti (impasti)			
Stoccaggio semilavorati (impasti)	Acqua calda	45°-75°	
Tunnel ad azoto, di surgelazione	Vapore acqueo	-30°	
Stoccaggio prodotti finiti	Aria		
Stoccaggio semilavorati	Aria		

Tabella 90: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosettore 10.71.20

Bigné/marengo/sufflè/torte e pasta frolla/pizzette			
FASI	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	T (°C)	
Stoccaggio BT (cremeria)		-20 / -23	
o Stoccaggio TN (cremeria)		0 / 4	
Omogenizzazione (cremeria)	Acqua calda		
Pastorizzazione (cremeria)	Vapore acqueo		
Stoccaggio semilavorati (cremeria)	Aria		
Preparazione impasti (impasti)			
Stoccaggio semilavorati (impasti)	Aria		
Unione semilavorati (impasti) + semilavorati (cremeria)			
Cottura (forni)	Aria		
Confezionamento			
Taglio			

Tabella 91: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosectore 10.73.00

Pasta lunga		
FASI	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	T (°C)
Dosaggio		
Impasto		35*-40*
Estrusione		
Stendaggio	Aria	
Pre-incarto	Aria	45*
Incarto (tunnel)	Aria	50*-70*
Essiccamento	Aria	85*
Raffreddamento	Aria	25*-30*
Insilaggio (galleria)		
Sfilatura		

Tabella 92: Mappatura dei flussi di calore del processo di produzione del sottosectore 10.73.00

Pasta corta		
FASI	VETTORE TERMICO IMPIEGATO	T (°C)
Dosaggio		
Impasto		35*-40*
Estrusione		
Essiccamento (1 livello)	Aria	75*
Trabatto	Acqua	140*
Incarto (2 livello essiccamento)	Aria	80*-85*
Essiccamento	Aria	
Raffreddamento	Aria	25*-30*
Insilaggio		

2 Sviluppo della metodologia di valutazione e confronto delle soluzioni di recupero di calore

L'attività condotta nel corso della seconda annualità del progetto ha visto anche la creazione di uno dei moduli dello strumento software, che avrà il compito di orientare l'utente finale nella scelta delle soluzioni di intervento più opportune, in rapporto alle esigenze del sito produttivo.

A tale scopo, l'ENEA ha sviluppato una metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero, attraverso l'analisi e la successiva rielaborazione della letteratura esistente in materia. La metodologia è stata quindi implementata in ambiente Excel/Visual Basic, al fine di favorirne l'integrazione all'interno del software. Il modulo così sviluppato consentirà di valutare e confrontare le opzioni di recupero identificate attraverso l'analisi dei flussi di calore di scarto disponibili e la successiva simulazione dei possibili utilizzi del calore recuperato. Tale strumento potrà anche essere utilizzato indipendentemente dagli altri moduli del software, nel caso in cui l'utente (ad esempio un'azienda) abbia già identificato dei possibili interventi e sia interessato a valutare i potenziali benefici derivanti dalla loro realizzazione e ad identificare le soluzioni da realizzare in maniera prioritaria.

Inizialmente, è stata condotta un'analisi critica della letteratura, allo scopo di individuare le metodologie di valutazione esistenti, in relazione alla tipologia di processo produttivo esaminato. Tale indagine ha permesso di identificare gli indici maggiormente impiegati per quantificare le prestazioni energetiche ed economiche degli interventi di recupero di calore, le assunzioni relative ai parametri economici (tasso di interesse, inflazione, costi dei vettori energetici, ecc.) e le tipologie di analisi di sensitività condotte nei diversi studi.

L'analisi della letteratura ha evidenziato come, nella gran parte degli studi inerenti al recupero di calore, i possibili interventi siano stati valutati facendo riferimento ad analisi di carattere puramente economico, aventi l'obiettivo di valutare i principali indici di redditività, tra cui il tempo di ritorno (semplice o attualizzato), il valore attuale netto o il tasso interno di rendimento. In un esiguo numero di studi, inoltre, gli interventi di recupero sono stati sottoposti ad una valutazione completa, ovvero basata su un approccio di tipo energetico, economico ed ambientale. Ancora più raro è stato il ricorso ad indici definiti appositamente per quantificare le prestazioni degli interventi di recupero di calore.

Tale indagine ha evidenziato la necessità di sviluppare una nuova metodologia, che consenta di valutare non solo gli indici di redditività associati all'investimento, ma anche ulteriori indici, in grado di stabilire una relazione più diretta tra i costi (fissi e variabili) degli interventi e i corrispondenti benefici in termini di risparmi di energia primaria e di emissioni di CO₂ evitate.

Pertanto, è stata sviluppata e successivamente implementata una preliminare metodologia di valutazione e confronto degli interventi di recupero, basata sul calcolo di indici di prestazione a carattere energetico, economico ed ambientale. In particolare, dal punto di vista energetico, la metodologia prevede la valutazione dei risparmi di energia primaria conseguibili e le corrispondenti emissioni di CO₂ evitate; dal punto di vista economico, invece, sono valutati gli indici di redditività associati alla realizzazione dell'intervento di recupero di calore, tra cui il valore attuale netto (*VAN*), il tempo di ritorno o pay-back time semplice (*PBT_s*) ed attualizzato (*PBT*), il tasso interno di rendimento (*TIR*) e l'indice di profitto (*IP*). Ciò avrà un duplice scopo: da un lato consentirà un immediato confronto tra le valutazioni derivanti dall'impiego della suddetta metodologia e i risultati di studi di letteratura riguardanti l'analisi di interventi di recupero di calore aventi caratteristiche simili in termini di sorgente di calore di scarto e tecnologia di recupero implementata; dall'altro permetterà di confrontare le prestazioni degli interventi di recupero di calore con tipologie di interventi di efficientamento energetico di più largo impiego nel settore dell'industria.

L'aspetto innovativo della metodologia risiede nel fatto che, oltre ai classici indici di redditività, è previsto anche il calcolo di un indice di prestazione definito appositamente per gli interventi di recupero di calore. Tale indice, denominato costo unitario dell'intervento di recupero, definisce il costo che l'investitore deve sostenere lungo l'intera vita utile dell'intervento per poter conseguire un risparmio unitario, espresso in termini di energia termica e/o elettrica o ancora in termini di energia primaria o di emissioni di CO₂ evitate. Infine è stata condotta una preliminare validazione della metodologia di valutazione e confronto, sulla base di 6 casi di studio relativi ad interventi di recupero di calore individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche

dei settori oggetto di studio (tessile, caseario e prodotti da forno). Si precisa, altresì, che tale confronto è stato limitato ad un numero relativamente ristretto di casi, sia perché ritenuto sufficiente per una validazione di carattere preliminare, sia per la difficoltà di reperire dalle diagnosi informazioni di dettaglio in merito agli interventi di recupero di calore individuati dalle aziende. Dapprima, è stata verificata la capacità del modello di riprendere i risultati delle diagnosi energetiche, in termini di *VAN*, *PBT_S*, *PBT* e *TIR*. Ciò ha consentito di verificare, in via preliminare, la correttezza dei modelli impiegati per la valutazione di tali indici. A tale riguardo si precisa, inoltre, che i suddetti modelli di calcolo sono stati definiti tenendo conto anche del fenomeno della tassazione e degli sgravi fiscali ad esso associati, come pure di eventuali incentivi derivanti dalla vendita dei titoli di efficienza energetica; ciò ha reso necessaria l'implementazione in Excel di formule specifiche, non essendo possibile l'utilizzo diretto delle formule finanziarie già presenti in tale applicativo. Infine, sono stati valutati i costi unitari degli interventi di recupero, riferiti ai risparmi unitari di combustibile ed energia elettrica ad essi associati; tali indici sono stati messi a confronto con i corrispondenti costi dei vettori energetici (gas naturale ed energia elettrica) impiegati in assenza di interventi di recupero di calore. L'analisi comparativa ha avuto l'obiettivo di identificare l'esistenza di eventuali differenze per quanto riguarda l'ordine di priorità degli interventi e l'entità degli scostamenti delle prestazioni di interventi realizzati nel medesimo settore, rispetto a quelle definite attraverso l'impiego degli indici di redditività.

2.1 Analisi critica della letteratura

L'analisi della letteratura ha interessato sia articoli scientifici riguardanti lo studio di specifici interventi di recupero termico in ambito industriale, sia articoli relativi allo sviluppo di metodologie o software tools per l'analisi ed il confronto di interventi di recupero basati sull'utilizzo di differenti fonti di calore di scarto e tecnologie di recupero. A questo riguardo, la Tabella 93 fornisce un quadro riassuntivo delle parole chiave impiegate nella ricerca bibliografica.

Tabella 93. Parole chiave utilizzate nell'analisi bibliografica delle metodologie di valutazione degli interventi di recupero di calore in ambito industriale

Focalizzate sulla tematica	Focalizzate sulle metodologie di valutazione	Focalizzate sugli indicatori di prestazione
Waste heat recovery, low-temperature waste heat recovery, industrial waste heat, excess heat, industrial sector, heat transformation technologies	Economic evaluation, evaluation methodologies, techno-economic assessment, economic feasibility, software tool, economic model, decision support, decision making	Energy saving, Primary energy savings, discounted pay-back time, pay-back period, energy performance indicators, economic performance indices, profitability indices, CO ₂ avoided, emission reduction

La Tabella 94 fornisce un quadro delle principali informazioni desunte dall'analisi bibliografica, tra cui in particolare le tipologie di studi, i settori industriali coinvolti, le tecnologie di recupero impiegate e gli indici di prestazione oggetto di valutazione.

Come evidenziato in Tabella 94, alcuni studi hanno messo a punto delle metodologie di valutazione degli interventi di recupero mirate all'analisi di casi specifici. In particolare, Bühler et al. [13,14] hanno sviluppato un modello per valutare le potenzialità di recupero del calore di scarto industriale (sottoforma di calore di processo e acque reflue), attraverso l'impiego di pompe di calore, reti di scambiatori di calore e ORC, allo scopo di fornire calore per il teleriscaldamento ed elettricità. Nel caso della produzione di calore, la fattibilità economica è stata definita mettendo a confronto il costo unitario di produzione del calore, valutato sulla base dei costi di investimento e di esercizio e manutenzione della tecnologia implementata, con il prezzo locale dell'energia termica. Nel caso della produzione di energia elettrica, invece, è stato fatto riferimento al *VAN*, considerando i ricavi derivanti dalla vendita dell'energia elettrica al prezzo di mercato. Per tenere conto dell'incertezza nella definizione dei parametri del modello, sia di natura progettuale che economica, è stata condotta un'analisi di sensitività attraverso il metodo Monte Carlo, assumendo quattro distinte funzioni di distribuzione dell'incertezza (normale, semi-normale, uniforme e gamma).

Li et al. [15] hanno valutato la fattibilità tecnico-economica di recuperare il calore di scarto proveniente da un impianto di produzione di energia elettrica (sottoforma di gas esausti ad una temperatura compresa tra 250°C e 450°C oppure di acqua calda a 90°C), per alimentare un essiccatore di biomassa. La redditività

economica dell'investimento è stata valutata attraverso il *VAN*, assumendo come ricavi i costi evitati per l'acquisto del combustibile necessario a generare il vapore per l'essiccamento della biomassa (in assenza di un sistema di recupero del calore di scarto a bassa temperatura).

Kosmadakis ed al. [16] hanno condotto uno studio riguardante l'integrazione di pompe di calore ad alta temperatura a singolo e a doppio stadio, per il recupero del calore di scarto industriale a temperature inferiori a 100°C. Le prestazioni economiche dell'intervento sono state valutate al variare del livello di temperatura della sorgente di calore, del layout e del fluido operativo della pompa di calore e dei costi unitari dell'energia elettrica e del gas naturale, considerando come indice di redditività il *PBT*, valutato secondo la relazione seguente:

$$PBT = \frac{\log\left(\frac{1}{1 - \frac{I_0 i}{FC}}\right)}{\log(1 + i)} \quad (1)$$

dove I_0 è il costo di investimento, i è il tasso di interesse reale, mentre FC è il flusso di cassa netto, corrispondente ai risparmi derivanti dal mancato acquisto del gas naturale, al netto dei costi dell'energia elettrica assorbita dalla pompa di calore e dei relativi costi di esercizio e manutenzione.

Bruckner et al. hanno fatto ricorso ad una metodologia di valutazione economica delle tecnologie di recupero di calore basata sul calcolo del massimo costo di investimento ammissibile [17]; tale parametro è stato definito per la prima volta da un team di esperti dell'International Energy Agency (IEA), nell'ambito di un'attività di ricerca riguardante la valutazione economica di sistemi di accumulo termico (Task 42) [18]. Tale metodologia prende spunto dal fatto che i metodi di valutazione classici, basati sul calcolo del *PBT* o del *VAN*, presuppongono la conoscenza del costo di investimento, dei costi di esercizio e manutenzione e del numero di ore operative della tecnologia oggetto di studio. Questi parametri, tuttavia, non sono costanti: il costo di investimento è correlato alla curva di apprendimento della tecnologia considerata, mentre i costi di esercizio e manutenzione sono influenzati dai prezzi del mercato dell'energia. Per ovviare a questo inconveniente, l'approccio proposto dall'IEA prevede un'inversione della metodologia di valutazione economica. Tenuto conto che le aspettative in termini di tempi di ritorno dell'investimento e di tasso di interesse si mantengono praticamente costanti nel tempo, viene calcolato il massimo costo di investimento ammissibile per il tipo di tecnologia considerata, assumendo tre scenari caratterizzati da differenti valori del *PBT* e di i , ovvero:

- caso di applicazione nel settore industriale ($PBT=5$ anni, $i=10\%$);
- caso di applicazione in edifici commerciali ($PBT=15$ anni, $i=5\%$);
- caso ottimistico ($PBT=25$ anni, $i=1\%$).

In particolare, nel caso in cui la tecnologia di recupero preveda la produzione di calore, il massimo costo di investimento accettabile è valutato come segue:

$$I_{\max} = h_{\text{op}}(c_c - c_{\text{rec}})FA \quad (2)$$

dove h_{op} è il numero di ore operative all'anno, c_c è il costo unitario del calore generato attraverso una tecnologia convenzionale, c_{rec} è il costo unitario del calore prodotto dalla tecnologia di recupero termico esaminata ed FA è il fattore di annualità, che consente di attualizzare costi e risparmi futuri:

$$FA = \frac{(1 + i)^{PBT} - 1}{i(1 + i)^{PBT}} \quad (3)$$

Se, ad esempio, la tecnologia di recupero del calore a bassa temperatura è una pompa di calore a compressione di vapore e si assume che il costo dell'energia termica a bassa temperatura sia nullo, l'equ. 2 può essere ulteriormente esplicitata come segue:

$$I_{\max} = h_{\text{op}}\left(c_c - \frac{c_{\text{el}}}{COP_{\text{el}}}\right)FA \quad (4)$$

dove c_{el} è il costo unitario dell'energia elettrica, mentre COP_{el} è il coefficient of performance della pompa di calore.

Il principale vantaggio di questo approccio sta nel fatto che non è richiesta una conoscenza dettagliata della tecnologia e del suo grado di maturità. Inoltre, si trascurano i costi di esercizio e manutenzione, come pure le fluttuazioni nel tempo del costo di produzione dell'energia.

Araiz et al. [19] hanno esaminato le potenzialità dei generatori termoelettrici di recuperare il calore di scarto in un impianto di produzione di lana di roccia. La fattibilità economica dell'intervento è stata valutata per mezzo del costo livellato dell'energia elettrica prodotta ($LCOE$), inteso come il rapporto tra il costo totale del generatore termoelettrico (comprensivo dei costi di installazione, esercizio, manutenzione e smantellamento) e l'energia elettrica prodotta, entrambi valutati lungo l'intera vita utile dell'impianto stesso. Nel caso esaminato, i costi di esercizio e manutenzione, come quelli di smantellamento, sono stati considerati trascurabili. Pertanto l' $LCOE$ è stato valutato come segue:

$$LCOE = \frac{I_0}{\sum_{t=1}^n \frac{E_{a,t}}{(1+i)^k}} \quad (5)$$

dove $E_{a,t}$ rappresenta l'energia elettrica prodotta all'anno t -esimo.

Wang et al. [20] hanno sviluppato una metodologia per il confronto di differenti tecnologie di pompe di calore industriali (pompe di calore elettriche e ad assorbimento, trasformatori di calore ad assorbimento), per il recupero di sorgenti di calore di scarto a bassa temperatura. Tenuto conto che tali tecnologie sono alimentate da fonti energetiche di primo e secondo grado (energia elettrica ed energia termica a media e bassa temperatura), la metodologia di confronto prevede la valutazione di un indice di prestazione di tipo exergo-economico, definito come il rapporto tra l'exergia distrutta dal sistema di recupero (E_{loss}) ed il costo di investimento iniziale del medesimo:

$$EPC = \frac{E_{loss}}{I_0} \quad (6)$$

Ad esempio, nel caso di una pompa di calore, E_{loss} è ottenuta come differenza tra l'exergia in ingresso al sistema, pari alla somma dell'exergia associata al calore di scarto (E_W) e al lavoro meccanico del compressore (W_C), e l'exergia in uscita attraverso il condensatore (E_{cond}):

$$E_{loss} = E_W + W_C - E_{cond} \quad (7)$$

Oluleye et al. [21] hanno proposto un criterio di classificazione delle opportunità di recupero termico che tiene conto contemporaneamente delle prestazioni delle tecnologie impiegate, delle loro potenzialità di riduzione delle emissioni inquinanti, dei costi associati alla loro implementazione e della tipologia di recupero (interno o esterno allo stabilimento). In particolare, tale approccio si basa sulla valutazione dei benefici economici, per unità di emissioni di CO_2 evitate, conseguiti grazie all'implementazione dell'intervento di risparmio energetico. Nel caso di utilizzo interno del calore di scarto, il potenziale economico è valutato come segue:

$$PE = \frac{BF_a - CT_a}{R_{CO_2}} \quad (8)$$

dove BF_a indica i benefici finanziari annuali associati ai risparmi di energia primaria, CT_a i costi totali dell'intervento di recupero (comprensivi della quota di ammortamento dei costi di investimento e dei costi di esercizio e manutenzione) ed R_{CO_2} le emissioni annue di CO_2 evitate. Nel caso di utilizzo esterno, invece, il potenziale economico è funzione del profitto associato alla vendita dell'energia termica o elettrica (P_a):

$$PE = \frac{P_a}{R_{CO_2}} \quad (9)$$

Ulteriori metodologie di valutazione degli interventi di recupero di calore sono state definite nel contesto di studi più ampi, aventi lo scopo di sviluppare strumenti di calcolo capaci di svolgere un'analisi completa dei progetti di recupero, a partire dall'individuazione delle possibili sorgenti e dei pozzi di calore, fino alla scelta e al dimensionamento del sistema di recupero più opportuno dal punto di vista energetico e/o economico. A tal proposito, Simeoni et al. [22,23] hanno sviluppato uno strumento di supporto alle decisioni, basato su una funzione di ottimizzazione multi-obiettivo, in grado di individuare le soluzioni di recupero di calore più idonee a soddisfare le esigenze, talora contrastanti, di differenti tipologie di stakeholders (industrie, investitori, consumatori, cittadini, ecc.). Tali esigenze possono tradursi ad esempio nella massimizzazione degli indici di profitto, nella minimizzazione dei costi delle bollette, o ancora nella minimizzazione delle emissioni di gas climalteranti, in un'ottica complessiva di sviluppo sostenibile. Tale metodologia è stata impiegata anche per l'implementazione di un tool on-line, sviluppato nell'ambito del progetto CE-HEAT [24]. Il tool consente la valutazione preliminare di interventi di recupero di calore operati attraverso l'implementazione di differenti tecnologie, quali scambiatori di calore, pompe di calore, chiller ad assorbimento e cicli Rankine a fluido organico (ORC). In fase di valutazione, per ciascuna soluzione sono calcolati i risparmi di energia primaria, le emissioni di CO₂ evitate e quattro indici di redditività dell'investimento, ovvero il VAN, il PBT_s, il TIR ed il Debt Service Coverage Ratio (DSCR) [23]. Tale parametro indica il rapporto tra il flusso di cassa (FC) al netto delle imposte (T) ed il flusso finanziario al servizio del debito (D_a), ovvero associato al rimborso di eventuali prestiti ricevuti:

$$DSCR = \frac{FC(1 - T)}{D_a} \quad (10)$$

Le soluzioni vengono considerate tecnicamente fattibili sulla base delle caratteristiche delle sorgenti di calore di scarto (livelli di temperatura, potenze termiche, disponibilità temporale), ed economicamente fattibili se garantiscono contemporaneamente un PBT_s<20 anni, un TIR>3.5% ed un DSCR>1.

Un altro strumento di valutazione degli interventi di recupero di calore è stato messo a punto da Simeone et al. [25,26]. Tale strumento consente la scelta della tipologia di scambiatore più idonea al recupero di calore ed il relativo dimensionamento, attraverso un processo comprendente quattro fasi distinte [27]:

- definizione delle fonti di calore di scarto (sorgenti) e dei potenziali utilizzatori (pozzi), in termini di numero di pozzi e sorgenti, di temperatura e portata;
- caratterizzazione delle fonti di calore dal punto di vista qualitativo e quantitativo, attraverso la valutazione della differenza di temperatura tra sorgenti e pozzi, del contenuto exergetico ad essi associato e della loro disponibilità temporale e spaziale;
- definizione delle tecnologie di recupero compatibili con i livelli di pressione e temperatura delle sorgenti e dei pozzi: a tale scopo è stato estratto un database di tecnologie dall'Engineering Science Data Units (ESDU) 92013 selection and costing of heat exchangers [28], che fornisce una guida dettagliata alla scelta delle tecnologie di scambiatori più appropriate in rapporto a diversi criteri (pressione minima e massima, differenze di temperatura, range di taglie disponibili, fattori di sporcamento, ecc.);
- selezione dell'opzione di recupero più opportuna, in base a criteri di natura economica ed ambientale: quest'ultima fase prevede una preliminare valutazione del costo degli scambiatori e il relativo dimensionamento attraverso il metodo semplificato di Hewitt [29]; l'indagine è seguita da un'analisi costi-benefici, attraverso cui le diverse opzioni di recupero sono classificate in rapporto a diversi criteri, tra cui il costo di investimento, il PBT_s e le emissioni di CO₂ evitate.

La Tabella 94 mette in evidenza come nella quasi totalità dei casi le metodologie di valutazione siano state basate sul calcolo di più indici di prestazione. Dal punto di vista energetico, l'attenzione di tali modelli è stata focalizzata sulla valutazione dei risparmi di energia termica e/o elettrica e sui corrispondenti risparmi di energia primaria; in un ridotto numero di casi (7 su un totale di 21) sono stati valutati anche i benefici ambientali, principalmente in termini di emissioni di CO₂ evitate o di riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera. Dal punto di vista economico, gli indici di prestazione più utilizzati per valutare e

mettere a confronto la fattibilità dei possibili interventi di recupero del calore di scarto sono stati il PBT_s e PBT , il VAN ed il TIR . In poco meno della metà degli studi, inoltre, tali indici sono stati valutati variando le condizioni operative delle tecnologie di recupero e dei parametri economici (tasso di interesse, inflazione, costo dei vettori energetici, numero di ore di funzionamento); tuttavia, nella quasi totalità dei casi, l'analisi di sensitività è stata condotta variando un solo parametro alla volta, ovvero non considerando contemporaneamente gli effetti di variazioni (positive o negative) di più parametri; inoltre, in un esiguo numero di studi gli indici di redditività economica sono stati valutati tenendo conto di possibili forme di incentivazione, tra cui i titoli di efficienza energetica (TEE) e la carbon tax.

È importante sottolineare come lo sviluppo di metodologie di valutazione a carattere energetico ed economico abbia interessato principalmente tecnologie consolidate (scambiatori di calore, pompe di calore, ORC, macchine frigorifere ad assorbimento, ecc.), per le quali è possibile risalire ai costi di investimento e ai costi di esercizio e manutenzione tramite modelli di costo presenti in letteratura o attraverso le stime fornite dalle case costruttrici.

Per quanto riguarda invece le assunzioni relative ai principali parametri economici, si nota come il tasso di interesse considerato vari in maniera piuttosto significativa; in particolare, negli studi che hanno fatto riferimento ad un valore fisso del tasso di interesse, quest'ultimo risulta compreso tra il 4% e l'8%; invece, negli studi che hanno condotto un'analisi di sensitività su tale parametro, i campi esplorati sono stati piuttosto ampi e diversificati; è, altresì, interessante notare come il fenomeno dell'inflazione sia stato considerato solo nello studio di Simeoni [23], dove f è stato assunto pari a 1.5%. La grande variabilità in fatto di assunzioni è confermata anche per i costi dell'energia elettrica e dell'energia termica. Per quest'ultima, in particolare, non è possibile effettuare un confronto diretto tra i diversi studi, a causa delle differenze in termini di unità di misura adottate e/o della mancanza di informazioni relative alle tipologie di combustibili impiegati.

Alla luce di quanto emerso dall'analisi della letteratura esistente e allo scopo di superare i limiti riscontrati negli studi esaminati, è stata sviluppata una nuova metodologia di valutazione degli interventi di recupero di calore. La metodologia proposta nasce con l'obiettivo di integrare gli approcci adottati negli studi precedenti, offrendo la possibilità di valutare e confrontare le opzioni di recupero dal punto di vista energetico, economico ed ambientale; dal punto di vista economico, in particolare, la metodologia si propone di tenere conto nella valutazione degli indici di redditività anche di eventuali forme di incentivazione degli interventi di recupero (ad es. titoli di efficienza energetica). Aspetto ancora più importante è la definizione di nuovi indici di valutazione degli interventi di recupero; questi ultimi, rispetto ai classici indici di redditività, consentiranno di mettere in relazione i benefici energetici ed ambientali (risparmi di energia primaria ed emissioni di CO_2 evitate) ed i corrispondenti costi che l'investitore dovrà sostenere, offrendo così la possibilità di realizzare un confronto più immediato tra opzioni di recupero diverse in termini di vita utile ed impegno economico. Inoltre, la metodologia consentirà di mettere a confronto le opzioni di recupero attraverso un approccio "multi-obiettivo", ovvero sulla base dei valori assunti dall'insieme degli indici di prestazione energetici, economici ed ambientali oggetto di valutazione.

Infine, allo scopo di tenere conto di possibili fluttuazioni dei parametri economici principali (tasso di interesse ed inflazione, costi dei vettori energetici e costo di investimento), la metodologia prevederà anche la possibilità di condurre un'analisi dell'incertezza degli indici di prestazione attraverso il metodo Monte Carlo [30].

Tabella 94. Studi relativi allo sviluppo di metodologie di valutazione e confronto di interventi di recupero di calore di scarto in processi industriali

Autori	Tipo di studio	Settore che genera il calore di scarto	Tecnologia di recupero	Utilizzo del calore di scarto	Indici di prestazione valutati	Tipologia di incentivi considerati	Analisi di sensitività/incertezza	Tasso di interesse	Costi dei vettori energetici
Li ed al. [15]	Studio di un caso	Impianto di generazione di energia elettrica	Scambiatore di calore	Essiccamento di biomassa ad uso energetico	<i>VAN</i>	-	Umidità della biomassa, costo del combustibile (impiegato in assenza di sistema di recupero)	-	$c_{BIO}=14$ €/MWh
Kosmadakis ed al. [16]	Sviluppo di una metodologia e studio di un caso	-	Pompe di calore ad alta temperatura	Generazione di calore a temperatura a temperature comprese tra 100°C e 150°C	<i>PBT</i>	-	Costo del gas naturale, costo dell'energia elettrica	5%	$c_{el}=3-11$ c€/kWh; $c_{NG}=2-7$ c€/kWh
Brückner ed al. [17]	Sviluppo di una metodologia di confronto di differenti tecnologie	N/A	Chiller ad assorbimento, pompe di calore elettriche e ad assorbimento	Produzione di energia termica e frigorifera	<i>I_{max}</i>	-	Numero di ore operative, tasso di interesse, PBT	1-10%	$c_{el}=11.7$ c€/kWh; $c_{th}=4$ c€/kWh
Araiz ed al. [19]	Studio di un caso	Produzione di lana di roccia	Generatore termoelettrico	Produzione di energia elettrica	<i>LCOE</i>	-	-	8%	-
Wang ed al. [20]	Sviluppo di una metodologia di confronto di differenti tecnologie e studio di un caso	Raffineria	Pompe di calore elettrica, pompe di calore ad assorbimento, trasformatori di calore ad assorbimento	Produzione di energia termica e frigorifera	<i>EPC</i>	-	Temperatura della sorgente di calore di scarto a bassa temperatura e thermal lift	-	-
Oluleye ed al. [21]	Sviluppo di una metodologia e studio di un caso	Raffineria	Chiller ad assorbimento, ORC, scambiatori di calore	Preriscaldamento dell'acqua di alimento al boiler, riscaldamento e raffreddamento degli ambienti, produzione di energia elettrica, raffreddamento dell'aria all'ingresso del compressore del gruppo turbogas (recupero interno), produzione di acqua calda per l'alimentazione di reti di teleriscaldamento e produzione di energia elettrica (recupero esterno)	<i>PE</i>	-	Prestazioni e costi delle tecnologie di recupero, tasso di interesse, costi dei vettori energetici, costi di retrofit	12-30%	$c_{el}=10.7-16.1$ p/kWh; $c_{NG}=2.6-3.8$ p/kWh
Simeoni ed al. [22]	Sviluppo di uno strumento di calcolo e studio di un caso	Acciaio	Scambiatore di calore e sistema di accumulo termico	Produzione di calore ad uso residenziale	Risparmi di energia primaria, <i>VAN, PBT_s, TIR, DSCR</i>	Carbon tax, TEE	Costo dell'energia recuperata, prezzo di vendita dell'energia termica al consumatore	-	-
Simeoni [23]	Sviluppo di uno strumento di calcolo e studio di un caso	Agro-alimentare	Scambiatore di calore, chiller ad assorbimento e sistemi di accumulo dell'energia termica e frigorifera	Produzione di energia termica e frigorifera ad uso interno	Risparmi di energia primaria, <i>PBT_s, VAN, DSCR</i> , Riduzione emissioni di CO ₂	TEE	-	4%	-

Simeone ed al. [25], Luo ed al. [26]	Sviluppo di uno strumento di calcolo e studio di un caso	Produzione di circuiti stampati	Scambiatore di calore	Preriscaldamento dell'acqua all'ingresso della caldaia per produzione di acqua calda e riscaldamento	Indice di recupero energetico, PBT_s , Riduzione delle emissioni di CO ₂	-	-	-	-
Luo ed al. [27]	Sviluppo di uno strumento di calcolo e studio di un caso	Data centers	Scambiatore di calore	Preriscaldamento dell'acqua all'ingresso della caldaia per riscaldamento di uffici e mense	Indice di recupero energetico, PBT_s	-	-	-	-
Qin e Chang [31]	Studio di un caso	Produzione di coke di petrolio	Scambiatore di calore e turbina a vapore	Produzione di energia elettrica	VAN, PBT, TIR	-	-	7%	-
Ozturk ed al. [32]	Studio di un caso	Industria tessile	Scambiatore di calore	Preriscaldamento dell'acqua all'ingresso del boiler	Risparmi di energia termica, Riduzione di emissioni atmosferiche, PBT_s	-	-	-	-
Hasanbeigi A. [33]	Report	Industria tessile	Canalizzazioni (per recupero termico dai compressori), scambiatori di calore (per recupero termico da acque reflue)	Riscaldamento di aria e/o acqua di processo	Risparmi di energia primaria, PBT	-	-	6%	$C_{NG}=0.25$ €/Sm ³
Ozturk ed al. [34]	Studio di un caso	Industria tessile	Scambiatori di calore	N/A	Risparmi di energia primaria, Riduzione di emissioni atmosferiche, PBT_s	-	-	-	-
Eriksson ed al. [35]	Studio di un caso	Industria chimica	Scambiatore di calore	Produzione di calore ad uso interno o residenziale	PBT_s	-	Costo di produzione del vapore prodotto nello stabilimento, prezzo di vendita del calore	-	-
Woolley ed al. [36]	Sviluppo di uno strumento di calcolo e studio di un caso	Fonderia	Scambiatore di calore	Preriscaldamento dell'aria di alimento alla fornace, riscaldamento del serbatoio di contenimento dei metalli fusi	Indice di recupero energetico, PBT_s , Riduzione delle emissioni di CO ₂	-	Tipologia di scambiatore di calore	-	-
Goodarzi ed al. [37]	Studio di un caso	Produzione di pellet di minerali di ferro	Scambiatore di calore	Alimentazione di un impianto di distillazione multi-effetto	Costo livellato di produzione dell'acqua, PBT	-	Tasso di interesse, costo del gas naturale, costo dell'energia elettrica	2-14%	$C_{el}=2-30$ c\$/kWh, $C_{NG}=0.02-0.35$ \$/Sm ³
Fiaschi e Talluri [38]	Studio di un caso	Industria tessile	ORC	Produzione di energia elettrica	PBT_s	TEE	-	-	$C_{el}=15$ c€/kWh
Varga e Csaba [39]	Studio di un caso	Raffineria	ORC	Produzione di energia elettrica	PBT_s , Riduzione delle emissioni di CO ₂	-	Fluido operativo dell'ORC	-	$C_{el}=8.8$ c\$/kWh
Jin ed al. [40]	Sviluppo di una metodologia e confronto di due tecnologie di recupero	Produzione di energia elettrica da impianti a carbone	ORC	Produzione di energia elettrica	VAN, PBT	-	-	8%	$C_{el}=6$ c\$/kWh
Zieleme ed al. [41]	Sviluppo di una metodologia e studio di un caso	N/A	Scambiatori di calore	Produzione di calore ad uso residenziale	Energia termica recuperata, TIR, PBT , riduzione delle emissioni di CO ₂	-	Prezzo di vendita dell'energia termica recuperata	-	$C_{th}=2-10$ c€/kWh

2.2 Metodologia

La metodologia di valutazione e confronto degli interventi di recupero di calore sviluppata nell'ambito di questo progetto si basa sul calcolo di una serie di indici di prestazione a carattere energetico, economico ed ambientale. La valutazione di tali indici è condotta, per le diverse opzioni di recupero, a partire da un insieme di dati di input, di cui alcuni definiti dall'utente ed altri derivanti dai moduli del software adibiti all'individuazione e caratterizzazione delle possibili soluzioni di recupero (interne o esterne allo stabilimento industriale).

In particolare, i dati di input definiti dall'utente comprendono:

- la superficie dello stabilimento;
- la tipologia di combustibile impiegato (gas naturale, gasolio, gpl, olio combustibile, ecc.) per la produzione locale dell'energia termica;
- il rendimento dell'impianto destinato alla produzione di energia termica;
- i costi unitari dell'energia elettrica e dei combustibili impiegati;
- il tasso di interesse nominale ed il tasso di inflazione;
- l'eventuale accesso ai TEE: tale informazione è assunta come dato di input per offrire all'utente la possibilità di tenere conto o meno dei benefici addizionali derivanti dai TEE; a questo proposito, si sottolinea che l'effettiva possibilità di ottenimento di tale forma di incentivazione rende necessari ulteriori approfondimenti, che esulano dagli scopi della metodologia proposta.

I dati inerenti alla caratterizzazione delle soluzioni di recupero sono invece:

- i risparmi di energia elettrica e/o termica derivanti dall'applicazione dell'intervento di recupero di calore;
- i costi di investimento, i costi di esercizio e manutenzione e la vita utile delle tecnologie di recupero implementate.

Sulla base di tali dati di input, la metodologia di valutazione è in grado di calcolare i seguenti indici di prestazione:

- i risparmi annui di energia primaria, espressi in tonnellate equivalenti di petrolio (tep);
- le emissioni di CO₂ evitate su base annua;
- il VAN ed il valore attuale netto annuale (VAN_a);
- il PBT_s e il PBT ;
- l'indice di redditività sul capitale investito (ROI);
- il TIR ;
- l' IP ;
- il costo unitario dell'intervento di recupero o energy recovery cost (ERC), riferito ai risparmi di energia termica o elettrica, ai risparmi di energia primaria o ancora alle emissioni di CO₂ evitate;
- l'indice di valutazione globale (IVG).

La metodologia di valutazione prevede essenzialmente due tipologie di calcolo:

- studio di singole opzioni di recupero o di combinazioni di più opzioni, per fissati valori dei parametri economici: per ciascuna opzione (o combinazione), viene calcolato l'insieme degli indici di prestazione energetici, economici ed ambientali; quindi, le diverse opzioni (o combinazioni) vengono classificate in ordine di preferenza, sulla base di un criterio (ovvero di un indice di prestazione) definito dall'utente;
- analisi di sensitività delle opzioni di recupero: applicando il metodo Monte Carlo [30], è condotta un'analisi di sensitività degli indici di prestazione economica di ciascuna opzione di recupero alle variazioni simultanee di parametri quali il tasso di interesse e di inflazione, i costi dei vettori energetici e il costo di investimento.

Si precisa, inoltre, che la definizione e la successiva implementazione nel modulo Excel dell'IVG e del metodo Monte Carlo saranno oggetto della prossima annualità del progetto (LA 3.20. *Messa a punto della metodologia per la valutazione e il confronto delle soluzioni di recupero e validazione in casi di studio*).

2.3 Modelli di calcolo degli indici di prestazione energetici, economici ed ambientali

Nei seguenti paragrafi sono discussi i modelli di calcolo dell'insieme degli indici di prestazione energetici, economici ed ambientali alla base della metodologia di valutazione e confronto degli interventi di recupero di calore. In particolare, gli indici di prestazione economici sono stati suddivisi in due categorie principali. Alla prima appartengono gli indici di redditività del capitale investito, che rappresentano gli indici più comunemente impiegati dai "decisori" nella valutazione della fattibilità economica di progetti volti al miglioramento delle prestazioni energetiche di un'azienda. Nella seconda categoria rientrano, invece, i costi unitari dell'intervento di recupero o energy recovery cost (ERC), riferiti all'unità di risparmio di energia (elettrica, termica o energia primaria) o di emissioni di CO₂ evitate. Tali indici sono stati definiti con l'obiettivo di superare alcuni limiti intrinseci agli indici di redditività e permettere allo stesso tempo un più immediato confronto tra soluzioni di recupero diverse in termini di impegno finanziario e vita utile.

2.3.1 Risparmi di energia primaria ed emissioni di CO₂ evitate

I risparmi annui di energia elettrica (R_{el}) sono convertiti in risparmi di energia primaria, espressi in tonnellate equivalenti di petrolio (tep), attraverso l'impiego di un opportuno fattore di conversione ($f_{tep,el}$):

$$R_{tep,el} = f_{tep,el} R_{el} \quad (11)$$

A partire dai risparmi di energia termica (R_{th}), è possibile valutare i corrispondenti risparmi di combustibile, sulla base del rendimento dell'impianto (η_{imp}) destinato a produrre la medesima quantità di energia termica richiesta in assenza dell'intervento di recupero di calore e del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato (LHV_{comb}):

$$R_{comb} = \frac{R_{th}}{\eta_{imp} LHV_{comb}} \quad (12)$$

Infine, i risparmi di combustibile sono convertiti in risparmi di energia primaria espressi in tep attraverso il fattore di conversione $f_{tep,comb}$:

$$R_{tep,comb} = f_{tep,comb} R_{comb} \quad (13)$$

Le emissioni di CO₂ evitate sono valutate attraverso dei fattori di emissione standard per l'energia elettrica prelevata dalla rete ($f_{CO_2,el}$) e per gli eventuali combustibili impiegati dall'azienda per la produzione di energia elettrica e termica ($f_{CO_2,comb}$):

$$R_{CO_2,el} = f_{CO_2,el} R_{el} \quad (14)$$

$$R_{CO_2,comb} = f_{CO_2,comb} R_{comb} \quad (15)$$

La Tabella 95 riassume i fattori di conversione in energia primaria e i fattori di emissione di CO₂ dell'energia elettrica di rete e dei principali combustibili impiegati nei settori industriali. Per questi ultimi, in particolare, si è fatto riferimento ai valori riportati nella tabella dei parametri standard nazionali per il monitoraggio dei

gas ad effetto serra [42]. Per quanto riguarda l'energia elettrica, invece, si è fatto riferimento al fattore di emissione relativo alla produzione di energia elettrica in Italia (comprensiva del contributo delle energie rinnovabili) fornito da ISPRA [43].

Tabella 95. Fattori di conversione in energia primaria e fattori di emissione di CO₂ dell'energia elettrica e dei principali combustibili impiegati nei settori industriali [10,42,43]

	UM	Potere calorifico inferiore (MJ/UM)	f_{CO_2} (t _{CO2} /UM)	f_{tep} (tep/UM)
GAS NATURALE	Sm ³	35.281	1.98E-03	8.43E-04
GASOLIO	t	42877	3.155	1.024
GPL	t	46141	3.026	1.102
OLIO COMBUSTIBILE	t	41009	3.144	9.80E-01
ENERGIA ELETTRICA	kWh _{el}	-	2.78E-04	1.87E-04

2.3.2 Indici di prestazione economica rielaborati dalla letteratura: indici di redditività economica

Sono di seguito descritti i modelli impiegati per la valutazione dei principali indici di redditività economica dell'investimento, tra cui il VAN ed il VAN_a, il PBT_s ed PBT, il ROI, il TIR e l'IP.

Valore attuale netto

Il valore attuale netto (VAN) rappresenta la differenza tra la somma algebrica dei flussi di cassa attualizzati originati dall'iniziativa ed il costo di investimento iniziale:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+R)^j} - I_0 \quad (16)$$

dove FC_j è il flusso di cassa netto relativo all'anno j -esimo (calcolato come differenza tra i ricavi e le spese sostenute nell'anno j -esimo), I_0 è l'investimento iniziale, R il tasso di interesse nominale ed n la vita utile dell'intervento.

Il costo di investimento iniziale comprende, oltre al costo dell'intervento di recupero (C_I), anche i costi associati alle attività precedenti all'implementazione dello stesso (audit energetico, progettazione, ecc.) (C_{ap}):

$$I_0 = C_{ap} + C_I \quad (17)$$

In particolare C_{ap} è valutato in funzione della superficie coperta del sito produttivo (S_{sito}), secondo il seguente modello:

$$C_{ap} = 667.57 S_{sito}^{-0.686} \quad (18)$$

Tale funzione è stata determinata interpolando i dati di costo di audit energetici nel settore industriale, reperiti attraverso sondaggi condotti dalla Commissione Europea [44].

Nel calcolo del VAN è necessario tenere conto del fenomeno dell'inflazione, ovvero delle variazioni di prezzo di beni e servizi. Pertanto l'equ. (16) deve essere modificata come segue:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j (1+f)^j (1+f')^j}{(1+R)^j} - I_0 \quad (19)$$

dove f è l'indice dei prezzi al consumo, che definisce la variazione media dei prezzi all'interno di un paniere di prodotti, mentre f' indica la deriva (positiva o negativa) rispetto all'inflazione della voce di costo principale responsabile del flusso di cassa FC_j .

Inoltre, nell'equ. (19) viene comunemente accettata la seguente approssimazione:

$$\frac{(1+f)^j(1+f')^j}{(1+R)^j} \cong \frac{1}{(1+R-f-f')^j} = \frac{1}{(1+i)^j} \quad (20)$$

dove i è detto tasso di interesse reale. Assumendo costanza dei flussi di cassa, l'equ. (19) può essere riscritta come segue:

$$VAN = FC \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+i)^j} - I_0 = FC \cdot FA_{n,i} - I_0 \quad (21)$$

essendo

$$FA_{n,i} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+i)^j} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (22)$$

il fattore di annualità, calcolato sulla base della durata n e del tasso di interesse reale i .

Il VAN rappresenta uno degli strumenti più efficaci per la valutazione ed il confronto di differenti iniziative, in quanto considera il valore temporale del denaro e l'andamento dei flussi di cassa lungo l'intera vita utile del progetto. Inoltre, il VAN consente di tenere conto del fenomeno dell'inflazione e di quello della deriva rispetto all'inflazione delle voci di costo che confluiscono nel flusso di cassa. Tuttavia, quando si vuole effettuare il confronto tra due alternative, è necessario che si faccia riferimento alla stessa vita utile.

Nel calcolo del VAN è opportuno tenere conto anche del fenomeno della tassazione, a cui sono soggetti i flussi di cassa che contribuiscono al reddito dell'impresa. In particolare, il flusso di cassa al netto della tassazione è pari a:

$$(FC)_T = FC(1 - T) \quad (23)$$

dove T rappresenta il coefficiente di tassazione o aliquota marginale.

Per legge, è anche prevista una detassazione della quota di ammortamento, definita come il rapporto tra I_0 ed il numero di anni di ammortamento fiscale (n_a). Pertanto, l'espressione del VAN al netto delle tasse diventa:

$$VAN = FC \cdot FA_{n,i}(1 - T) + \frac{I_0}{n_a} \cdot T \sum_{j=1}^{n_a} \frac{1}{(1+R)^j} - I_0 \quad (24)$$

dove il secondo termine rappresenta lo sgravio fiscale sulla quota di ammortamento cumulato ed attualizzato al tasso di interesse R , per una durata di n_a anni. Indicando con $FA_{n_a,R}$ il fattore di annualità basato sulla durata n_a ed il tasso di interesse R , l'equ. (24) diventa:

$$VAN = FC \cdot FA_{n,i}(1 - T) + \frac{I_0}{n_a} T \cdot FA_{n_a,R} - I_0 \quad (25)$$

Considerando gli eventuali incentivi derivanti dall'ottenimento dei TEE, l'equ. (25) diventa:

$$VAN = FC \cdot FA_{n,i}(1 - T) + \frac{I_0}{n_a} T \cdot FA_{n_a,R} + I_{TEE} FA_{n_{TEE},i} - I_0 \quad (26)$$

dove $I_{TEE} = c_{TEE}R_{tep}$ indica il valore annuale complessivo dell'incentivo associato alla vendita dei TEE, calcolato come prodotto del valore unitario dei TEE (c_{TEE}) e dei risparmi di energia primaria (R_{tep}), mentre n_{TEE} è la durata in anni dell'incentivo.

Tempo di ritorno semplice

Il tempo di ritorno semplice o pay-back time semplice (PBT_s) rappresenta il numero di anni affinché la somma dei flussi di cassa semplici, ovvero non attualizzati, eguagli l'investimento iniziale:

$$\sum_{j=1}^{PBT_s} FC_j \geq I_0 \quad (27)$$

In particolare, nel caso di un'iniziativa con flussi di cassa costanti, il tempo di ritorno semplice può essere esplicitato come segue:

$$PBT_s = \frac{I_0}{FC} \quad (28)$$

Il PBT_s così calcolato deve essere confrontato con il tempo di ritorno atteso per l'iniziativa, detto anche cut-off period (CP). Pertanto, l'intervento proposto viene accettato solo nell'ipotesi in cui:

$$PBT_s \leq CP \quad (29)$$

Il PBT_s offre l'indubbio vantaggio della rapidità di calcolo; allo stesso tempo però non tiene conto del fenomeno dell'attualizzazione, ovvero il confronto tra i flussi di cassa ed il costo di investimento viene realizzato assumendo che il tasso di interesse e quello di inflazione siano nulli.

Inoltre, il PBT_s non tiene conto dell'andamento dei flussi di cassa lungo l'intera vita utile dell'iniziativa. Pertanto, questa metodologia tende a far scartare degli investimenti con $PBT_s > CP$, ma caratterizzati da elevati flussi di cassa negli anni successivi al PBT_s -esimo; allo stesso modo, potrebbero essere accettati investimenti con $PBT_s < CP$, ma aventi flussi di cassa alquanto esigui negli anni successivi al PBT_s -esimo.

Tempo di ritorno attualizzato

Il tempo di ritorno attualizzato o payback time (PBT), invece, indica il numero di anni affinché la somma dei flussi di cassa attualizzati eguagli l'investimento iniziale. Trascurando l'eventuale accesso ai TEE, il PBT può essere valutato come il numero di anni per cui:

$$VAN = FC \cdot FA_{PBT,i}(1 - T) + \frac{I_0}{n_a} T \cdot FA_{PBT,R} - I_0 = 0 \quad (30)$$

Anche nel caso del PBT , il progetto viene accettato se è soddisfatta la seguente condizione:

$$PBT \leq CP \quad (31)$$

Rispetto al PBT_s , il PBT tiene conto anche del fenomeno dell'attualizzazione. Tuttavia, al pari del PBT_s , il PBT non considera i valori assunti dai flussi di cassa successivi all'anno PBT -esimo. Questo comporta il rischio di poter scartare iniziative con $VAN > 0$ o accettare iniziative con $VAN < 0$. Inoltre, la scelta di realizzare o meno l'iniziativa è influenzata dal valore assunto per il CP , che deve essere stabilito dal decisore in base alla sua propensione all'accettazione del rischio.

Return on investment

Il return on investment (ROI) è il rapporto tra l'utile al netto delle tasse, mediato sull'intera vita dell'iniziativa, ed il costo di investimento dell'iniziativa stessa:

$$ROI = \frac{\sum_{j=1}^n (FC_j - q_{amm,j}) / n}{I_0} \quad (32)$$

dove $q_{amm,j} = I_0/n_a$ rappresenta la quota annua di ammortamento del capitale investito. Il ROI rappresenta quindi una sorta di interesse annuo reso dall'iniziativa.

Tasso interno di rendimento

Insieme al VAN , il tasso interno di rendimento (TIR) rappresenta l'indicatore più utilizzato dalle organizzazioni nella valutazione degli investimenti. Il TIR rappresenta il valore del tasso di interesse che annulla il VAN :

$$VAN = FC \cdot FA_{n,TIR}(1 - T) + \frac{I_0}{n_a} T \cdot FA_{n_a,TIR} - I_0 = 0 \quad (33)$$

Per valutare la redditività dell'investimento, è necessario confrontare il TIR con il tasso di interesse reale. Nell'ipotesi in cui $TIR > i$, allora $VAN > 0$. Pertanto, la regola del TIR prevede che vengano considerati solo quei progetti per cui $TIR > i$. In presenza di più alternative, viene preferita l'iniziativa con il TIR più elevato.

Il TIR definisce, quindi, il valore critico del tasso di interesse reale, ovvero quello che permette di raggiungere il break-even finanziario di un investimento. Dal valore critico del tasso di interesse reale sarà possibile ricavare anche il valore critico del tasso di interesse nominale:

$$R_c = TIR + f + f' \quad (34)$$

In base all'equ. (34), è auspicabile realizzare solo quelle iniziative a cui corrisponde un R_c superiore al tasso di interesse R praticato sul capitale.

Il metodo del TIR è preferito a quello del VAN nei casi in cui il tasso di interesse reale non sia noto o sia soggetto ad incertezza; in queste situazioni il TIR fornisce maggiori informazioni su un investimento di quanto possa fare il VAN . A differenza di quest'ultimo, inoltre, il TIR costituisce una misura relativa della profittabilità di un progetto (essendo espresso tramite un valore percentuale e non assoluto). Tuttavia il TIR è sensibile ai cambiamenti di segno nei flussi di cassa, da cui ne deriva la possibilità di soluzioni multiple.

Pertanto, nel caso in cui il tasso di interesse reale non sia costante lungo il periodo di vita del progetto o ancora la struttura dei flussi di cassa non sia convenzionale, è preferibile l'utilizzo del VAN .

Indice di profitto

L'indice di profitto (IP) definisce l'entità del guadagno al netto dell'investimento iniziale, per unità dell'investimento stesso:

$$IP = \frac{VAN}{I_0} \quad (35)$$

Questo indice è molto importante in presenza di limitazioni sul capitale disponibile per la realizzazione di interventi di recupero energetico. In particolare, in presenza di molte opportunità di intervento caratterizzate da $VAN > 0$, è necessario calcolare l' IP e realizzare prioritariamente gli interventi con IP più elevato. In questo modo, infatti, si è certi di aver massimizzato il profitto conseguito per unità di capitale investito.

Valore attuale netto annuale

Il valore attuale netto su base annuale (VAN_a) è valutato come segue:

$$VAN_a = \frac{VAN}{FA_{n,i}} = FC - \frac{I_0}{FA_{n,i}} \quad (36)$$

Tale indice risulta utile nel caso in cui sia necessario mettere a confronto interventi aventi una diversa vita utile. Ad esempio, nel caso di due alternative caratterizzate da durate rispettivamente pari ad n_1 ed n_2 , si ricorre al calcolo del valore attuale netto annuo differenziale:

$$\Delta VAN_a = \frac{VAN_1}{FA_{n_1 i_1}} - \frac{VAN_2}{FA_{n_2 i_2}} = (FC_1 - FC_2) - \left(\frac{I_{0,1}}{FA_{n_1 i_1}} - \frac{I_{0,2}}{FA_{n_2 i_2}} \right) \quad (37)$$

2.3.3 Indici di prestazione economica sviluppati nell'attività di progetto: costi unitari degli interventi di recupero

Oltre alla stima degli indici di redditività dell'investimento, la presente metodologia si propone di definire e valutare dei nuovi indici, denominati costi unitari degli interventi di recupero o più brevemente energy recovery cost (*ERC*).

La ricerca di nuovi indici nasce principalmente dalla volontà di superare alcuni dei limiti intrinseci agli indici di redditività dell'investimento ed in particolare del PBT_s , che (grazie alla sua semplicità di valutazione) rappresenta attualmente l'indicatore più comunemente impiegato a livello aziendale nel processo di valutazione degli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche dei siti produttivi. Uno dei limiti principali di tale indicatore riguarda proprio l'impossibilità di tenere conto dell'andamento dei flussi di cassa nel periodo successivo al PBT_s , determinando così una tendenza a scartare proprio quelli interventi caratterizzati da elevati risparmi lungo l'intera vita utile ed in particolare nell'ultimo periodo dell'iniziativa. Un altro aspetto da considerare, seppur non strettamente correlato al modello di valutazione del PBT_s , è rappresentato dai criteri stringenti adottati nelle aziende per la valutazione della fattibilità economica, in base a cui l'intervento può essere accettato solo per valori estremamente ridotti del PBT_s (solitamente 2-3 anni). Ciò è da imputare principalmente al fatto che, soprattutto nelle piccole realtà aziendali, gli interventi di efficientamento, come pure quelli di recupero di calore, non rientrano tra le attività prioritarie e quindi si preferisce accettare investimenti con ritorni piuttosto rapidi, per evitare di sottrarre capitali alle attività che invece appartengono al loro "core business".

Tali considerazioni mettono in luce la necessità di introdurre un nuovo approccio alla valutazione, ovvero un approccio in grado di tenere adeguatamente conto delle prestazioni energetiche ed economiche delle soluzioni di recupero di calore lungo l'intera vita utile delle stesse.

Gli indici qui proposti prendono ispirazione dalla metodologia di valutazione comunemente impiegata per gli impianti di produzione di energia elettrica, che si basa sul calcolo del costo unitario associato alla produzione del kWh. Quest'ultimo è valutato come somma di tre contributi, relativi rispettivamente alla quota di ammortamento del costo di investimento iniziale dell'impianto (COE_I), ai costi (fissi e variabili) di esercizio e manutenzione ($COE_{O\&M}$) ed ai costi del combustibile (COE_{comb}):

$$COE = COE_I + COE_{O\&M} + COE_{comb} = \frac{I_0 \cdot f_{amm} + C_{O\&M} + C_{comb}}{E_a} \quad (38)$$

essendo f_{amm} il fattore di ammortamento, $C_{O\&M}$ i costi annuali di esercizio e manutenzione, C_{comb} i costi del combustibile e E_a la produzione annuale di energia elettrica.

Tale approccio è stato recentemente considerato anche da Chiaroni ed al. [45] in uno studio relativo all'applicazione di tecnologie di efficientamento nei settori industriali più energivori (acciaio, cemento, carta, automotive) e nel settore civile.

Facendo riferimento al concetto di costo del kWh appena discusso, la presente metodologia si propone di valutare il costo unitario di un intervento di recupero, con l'obiettivo di mettere in relazione i risparmi di energia conseguibili (siano essi espressi in termini di energia elettrica, termica o ancora in termini di risparmi di energia primaria) ai costi sostenuti lungo l'intera vita utile dell'intervento (ovvero i costi di investimento iniziali e quelli di esercizio e manutenzione).

In altri termini, l'*ERC* definisce il costo complessivo che l'investitore deve sostenere per conseguire un risparmio di energia unitario, lungo l'intera vita utile dell'intervento stesso [45] e può quindi essere calcolato come segue:

$$ERC = \frac{I_0 \cdot f_{amm} + C_{O\&M}}{R_a} \quad (39)$$

dove $C_{O\&M}$ comprende i costi operativi e di manutenzione annuali, associati all'implementazione della tecnologia di recupero, R_a i risparmi di energia conseguiti su base annua, mentre f_{amm} - come già anticipato - consente di ripartire il costo di investimento sull'intera vita utile dell'iniziativa e corrisponde pertanto all'inverso del fattore di annualità:

$$f_{amm} = \frac{1}{FA_{i,n}} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (40)$$

Nell'ipotesi in cui sia possibile ottenere gli incentivi associati alla vendita dei TEE, l'equ. (40) può essere riformulata come segue:

$$ERC = \frac{(I_0 - I_{TEE}FA_{n_{TEE},i}) \cdot f_{amm} + C_{O\&M}}{R_a} \quad (41)$$

Se l'implementazione dell'intervento di recupero determina, in particolare, un risparmio di energia elettrica, allora il costo unitario ad esso associato è dato da:

$$ERC_{el} = \frac{(I_0 - I_{TEE}FA_{n_{TEE},i}) \cdot f_{amm} + C_{O\&M}}{R_{el}} \quad (42)$$

Il valore così calcolato deve essere confrontato con un valore di "benchmark", ovvero un valore di riferimento, rappresentato dal costo di acquisto dell'energia elettrica (c_{el}); pertanto l'intervento risulta conveniente se:

$$ERC_{el} < c_{el} \quad (43)$$

In questo caso, infatti, i costi associati all'implementazione e all'esercizio dell'intervento di recupero di calore sono più che compensati dai risparmi associati ai costi evitati per l'acquisto dell'energia elettrica.

Analogamente, nell'ipotesi in cui l'intervento comporti un risparmio di energia termica, è possibile definire un valore dell' ERC come segue:

$$ERC_{th} = \frac{(I_0 - I_{TEE}FA_{n_{TEE},i}) \cdot f_{amm} + C_{O\&M}}{R_{th}} \quad (44)$$

Con riferimento ai corrispondenti risparmi di combustibile, l'equ. (44) diventa:

$$ERC_{comb} = \frac{(I_0 - I_{TEE}FA_{n_{TEE},i}) \cdot f_{amm} + C_{O\&M}}{R_{comb}} \quad (45)$$

In questo caso l' ERC_{comb} deve essere messo a confronto con il costo unitario del combustibile che l'azienda deve acquistare per produrre localmente l'energia termica necessaria ad alimentare il processo produttivo; in particolare, l'intervento di recupero risulta conveniente se:

$$ERC_{comb} < c_{comb} \quad (46)$$

essendo c_{comb} il costo unitario del combustibile impiegato.

La differenza tra il valore di benchmark e l'ERC consente quindi di quantificare il guadagno medio, per ogni kWh (elettrico o termico), che l'azienda riesce a conseguire lungo l'intera vita utile dell'iniziativa.

Più complessa è la situazione in cui l'intervento di recupero comporti sia un risparmio di energia elettrica, che di energia termica. In questo caso è utile riferire i costi totali ai risparmi complessivi di energia primaria espressi in tep:

$$ERC_{\text{tep}} = \frac{(I_0 - I_{\text{TBE}}FA_{n_{\text{TEE}},i}) \cdot f_{\text{amm}} + C_{\text{O\&M}}}{R_{\text{tep}}} \quad (47)$$

dove $R_{\text{tep}} = R_{\text{tep,el}} + R_{\text{tep,th}}$.

Nota ERC_{tep} , è possibile attribuire un costo ai risparmi di energia elettrica e termica separatamente, attraverso l'introduzione di due nuovi indici:

$$ERC'_{\text{el}} = ERC_{\text{tep}} \cdot \frac{R_{\text{tep,el}}}{R_{\text{el}}} = \frac{(I_0 - I_{\text{TBE}}FA_{n_{\text{TEE}},i}) \cdot f_{\text{amm}} + C_{\text{O\&M}}}{R_{\text{el}}} \cdot \beta_{\text{tep,el}} = ERC_{\text{el}} \beta_{\text{tep,el}} \quad (48)$$

$$ERC'_{\text{th}} = ERC_{\text{tep}} \cdot \frac{R_{\text{tep,th}}}{R_{\text{th}}} = \frac{(I_0 - I_{\text{TBE}}FA_{n_{\text{TEE}},i}) \cdot f_{\text{amm}} + C_{\text{O\&M}}}{R_{\text{th}}} \cdot \beta_{\text{tep,th}} = ERC_{\text{th}} \beta_{\text{tep,th}} \quad (49)$$

essendo $\beta_{\text{tep,el}} = R_{\text{tep,el}}/R_{\text{tep}}$ e $\beta_{\text{tep,th}} = R_{\text{tep,th}}/R_{\text{tep}}$ i contributi dei risparmi di energia elettrica e termica ai risparmi complessivi di energia primaria. Da notare che nel caso in cui l'intervento determini solo risparmi di energia elettrica, ERC'_{el} coincide con ERC_{el} , essendo $\beta_{\text{tep,el}} = 1$; analogamente nel caso in cui l'intervento comporti solo risparmi di energia termica.

Esprimendo i risparmi di energia termica in termini di risparmi di combustibile, l'equ. (49) diventa:

$$ERC'_{\text{comb}} = ERC'_{\text{th}} \cdot \frac{R_{\text{th}}}{R_{\text{comb}}} = ERC_{\text{comb}} \beta_{\text{tep,th}} \quad (50)$$

Infine, riferendo il costo unitario dell'intervento di recupero all'unità di emissioni di CO₂ evitate:

$$ERC_{\text{CO}_2} = \frac{(I_0 - I_{\text{TBE}}FA_{n_{\text{TEE}},i}) \cdot f_{\text{amm}} + C_{\text{O\&M}}}{R_{\text{CO}_2}} = ERC_{\text{tep}} \cdot \frac{R_{\text{tep}}}{R_{\text{CO}_2}} \quad (51)$$

Tale indice riveste grande importanza qualora l'azienda sia tenuta ad adempiere agli obblighi del Sistema Europeo di Scambio di Quote di Emissione (EU ETS) [46], meccanismo che regola il "cap&trade" in Europa per gli impianti industriali, per il settore della produzione di energia elettrica e termica e per gli operatori aerei. In tal caso, infatti, mettendo a confronto l' ERC_{CO_2} con il costo delle quote di emissione della CO₂ (c_{CO_2}), è possibile stabilire se per l'azienda sia più conveniente realizzare l'intervento di recupero ($ERC_{\text{CO}_2} < c_{\text{CO}_2}$) o acquistare i diritti di emissione ($ERC_{\text{CO}_2} \geq c_{\text{CO}_2}$) attraverso aste realizzate su apposite piattaforme.

Rispetto agli indici di redditività dell'investimento più complessi (quali ad esempio il VAN, il PBT ed il TIR), l'ERC prescinde dall'esatta conoscenza dei flussi di cassa in ingresso lungo la vita tecnica dell'intervento, risultando quindi di più semplice valutazione; inoltre, l'ERC consente di mettere agevolmente a confronto interventi differenti in termini di entità del recupero di calore, costi di investimento e vita utile.

Viceversa, uno dei principali difetti risiede nel fatto che il suo utilizzo rende necessaria una preliminare ed accurata valutazione dei valori di benchmark. Infatti, la decisione di realizzare o meno l'intervento è legata ai costi dei vettori energetici, ovvero il costo dell'energia elettrica acquistata dalla rete elettrica nazionale ed il costo dei combustibili impiegati per la produzione locale dell'energia termica; questi ultimi possono essere soggetti a fluttuazioni più o meno significative nel corso del tempo, a causa dell'evoluzione del contesto energetico o di fattori di stagionalità della domanda e dell'offerta.

A questo proposito, è importante sottolineare che la scelta di valori appropriati dei costi dei vettori energetici riveste un ruolo altrettanto importante nella stima degli indici di redditività, influenzando direttamente la valutazione dei costi evitati per l'acquisto dell'energia elettrica e/o dei combustibili.

La Tabella 96 riassume i principali vantaggi e i limiti intrinseci a ciascuno degli indici di prestazione economica presi in considerazione nell'ambito della presente metodologia di valutazione delle opzioni di recupero di calore. Avendo gli indici caratteristiche complementari tra loro, si ritiene opportuno che la metodologia, oltre a consentire la scelta del criterio più opportuno in base a cui classificare le opzioni, offra anche la possibilità di confrontarle sulla base di una valutazione "combinata" dell'insieme degli indici. Quest'ultima sarà oggetto di sviluppo ed implementazione nella prossima annualità del progetto (LA 3.20. *Messa a punto della metodologia per la valutazione e il confronto delle soluzioni di recupero e validazione in casi di studio*).

Tabella 96. Vantaggi e limiti dei principali indici di prestazione economica degli interventi di recupero di calore

Indice di prestazione economica	VANTAGGI	LIMITI
<i>VAN</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene conto del fenomeno dell'attualizzazione • Tiene conto del fenomeno dell'inflazione e della deriva rispetto all'inflazione delle voci di costo che determinano il flusso di cassa • Gode della proprietà di sommabilità, per cui $VAN(A + B) = VAN(A) + VAN(B)$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Il confronto tra due alternative richiede che si faccia riferimento alla stessa vita utile • È influenzato dal valore del tasso di attualizzazione e dall'orizzonte temporale assunti in fase di calcolo
<i>PBT_s</i>	<ul style="list-style-type: none"> • È di facile valutazione ed interpretazione • Consente di avere delle indicazioni di massima circa la convenienza economica di un investimento, anche quando la vita utile dell'intervento è alquanto incerta 	<ul style="list-style-type: none"> • Focalizza l'attenzione solo sul tempo necessario a recuperare l'investimento, che solitamente viene sottostimato • Il confronto tra i flussi di cassa ed il costo di investimento è realizzato ad interesse pari a 0 • Non tiene conto dell'andamento dei flussi di cassa lungo l'intera vita utile dell'iniziativa • La decisione se realizzare o meno l'investimento è legata alla scelta del cut-off period
<i>PBT</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta gli stessi vantaggi del <i>PBT_s</i>, ma in più tiene conto del fenomeno dell'attualizzazione 	<ul style="list-style-type: none"> • Non tiene conto dell'andamento dei flussi di cassa lungo l'intera vita utile dell'iniziativa • La decisione se realizzare o meno l'investimento è legata alla scelta del cut-off period • Non fornisce un'indicazione del rendimento dell'investimento, ma solo del rischio (esposizione temporale)
<i>ROI</i>	<ul style="list-style-type: none"> • È di facile valutazione ed interpretazione 	<ul style="list-style-type: none"> • Non tiene conto del fattore "tempo" • Non tiene conto dei rischi connessi all'investimento • Non consente di valutare progetti che prevedano un investimento protratto nel tempo
<i>TIR</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene conto del fenomeno dell'attualizzazione • Fornisce una misura della sensibilità del <i>VAN</i> all'errore di stima del costo del capitale 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessita un calcolo iterativo • È sensibile alle variazioni di segno dei flussi di cassa • Sono possibili soluzioni multiple • È necessario ipotizzare che il tasso di sconto rimanga lo stesso per tutto il periodo di durata del progetto
<i>IP</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Consente di stabilire un ordine di priorità in presenza di un insieme di interventi con <i>VAN</i> positivo e limitata disponibilità di capitale 	<ul style="list-style-type: none"> • Essendo una variante del <i>VAN</i>, presenta i suoi stessi limiti

<i>ERC</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Consente di mettere a confronto interventi aventi diversa vita utile ed un differente “impatto” in termini di costi di investimento e di risparmi di energia conseguibili • Prescinde dall’esatta conoscenza dei flussi di cassa generati dall’investimento 	<ul style="list-style-type: none"> • È influenzato dal valore del tasso di attualizzazione e dall’orizzonte temporale assunti in fase di calcolo • L’accettazione dell’investimento è condizionata dai costi dei vettori energetici
------------	--	---

2.3.4 Metodo Monte Carlo per l’analisi dell’incertezza

La valutazione degli indici di prestazione economica è caratterizzata da un certo grado di incertezza, associata alle possibili variazioni temporali dei parametri economici, tra cui il tasso di interesse, il tasso di inflazione, il costo dei vettori energetici ed il costo di investimento delle tecnologie impiegate per l’implementazione dell’intervento di recupero di calore.

Allo scopo di tenere conto dell’incertezza nella stima dei principali parametri economici, è possibile fare ricorso a diverse tecniche, tra cui l’analisi di scenario [47] e l’analisi di sensitività [48]. La prima consiste nell’esaminare essenzialmente tre situazioni [49]:

- lo scenario “più probabile”, in cui i parametri coincidono con i valori ritenuti più probabili nell’intera vita dell’iniziativa;
- lo scenario “pessimistico” e quello “ottimistico”, in cui i parametri assumono rispettivamente valori che, seppur poco probabili, siano tali da sfavorire o favorire l’investimento.

Nell’analisi di sensitività, invece, i parametri economici vengono fatti variare singolarmente, entro opportuni intervalli. Ciò consente di individuare quale dei parametri oggetto di studio influenzi maggiormente gli indici di prestazione economica. Tale indagine, seppur più approfondita dell’analisi di scenario, non consente di esaminare il comportamento degli indici nel caso in cui l’incertezza investa contemporaneamente molti (se non tutti) i parametri economici. In tal caso si rende necessaria un’analisi multivariata su tutte le variabili, che per contro richiede un elevato sforzo computazionale, specie nel caso in cui alcuni dei parametri siano tra loro dipendenti e in presenza di ampi campi di variabilità [30].

Per ovviare a tale inconveniente, la metodologia di valutazione qui proposta prevede la possibilità di valutare l’incertezza nella stima degli indici di prestazione economica attraverso il metodo Monte Carlo [49,50]. In particolare, tale metodo probabilistico consente di valutare in quale misura le variazioni simultanee dei parametri economici vadano ad influenzare gli indici di prestazione oggetto di studio, fornendo in tal modo un’analisi completa circa la fattibilità economica di un progetto.

Gli elementi principali del metodo Monte Carlo sono i seguenti:

- i dati di input, ovvero i parametri specificati dal decisore/analista dell’investimento: p_1, p_2, p_3, \dots ecc;
- le variabili di output, ovvero i risultati della simulazione: i_1, i_2, i_3, \dots ;
- il modello, ovvero l’insieme delle equazioni che mettono in relazione le variabili di output ai dati di input: $i_k = f(p_1, p_2, p_3, \dots)$, con $k = 1, 2, 3, \dots$ ecc.

Il problema viene quindi risolto numericamente, producendo un numero N sufficientemente elevato di possibili combinazioni dei dati di input (con N abbastanza grande da permettere che i risultati siano statisticamente significativi). A tale scopo, si procede estraendo casualmente un valore per ciascuna variabile di input, in accordo alla distribuzione di probabilità specificata.

Sulla base delle N combinazioni e delle equazioni del modello, sarà possibile calcolare N valori indipendenti delle variabili di output, che rappresentano dunque un campione dei possibili valori assumibili dall’output; tale campione potrà quindi essere analizzato con tecniche statistiche, per stimarne i principali parametri descrittivi e riprodurre gli istogrammi delle frequenze.

Il metodo Monte Carlo offre quindi l’opportunità di:

- esaminare modelli lineari e non-lineari (semplici o complessi) senza grande difficoltà;
- apportare modifiche ai modelli o ai campi di variabilità dei dati di input ed effettuare nuovi test con grande rapidità;

- esaminare simultaneamente l'effetto di numerosi dati di input, generando per ciascuna variabile di output una funzione di distribuzione di probabilità, in grado di guidare nella valutazione del rischio associato ad una determinata iniziativa.

La

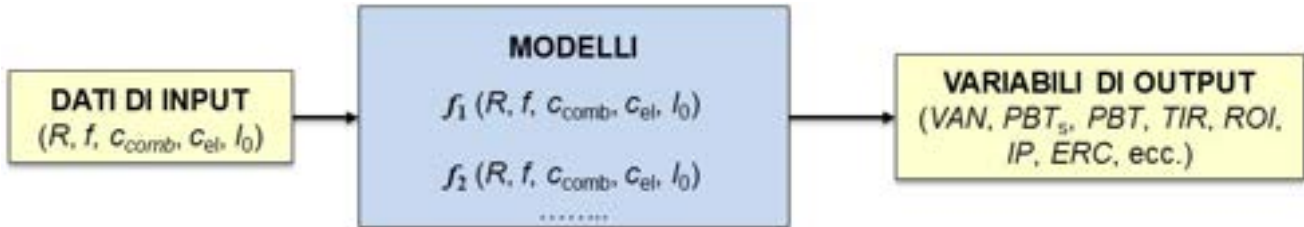


Figura 124 fornisce una caratterizzazione degli elementi precedentemente discussi, nel caso di applicazione del metodo Monte Carlo alla metodologia di valutazione degli interventi di recupero di calore: in questo caso i dati di input coincidono con i principali parametri economici, ovvero R, f, C_{comb}, C_{el} ed I_0 , mentre le variabili di output con l'insieme degli indici di prestazione economica, calcolati attraverso i modelli discussi nei par. 2.3.2 e 2.3.3.

Infine, la Figura 125 rappresenta in maniera schematica le principali fasi del metodo Monte Carlo, considerando a titolo di esempio il VAN come variabile di output per il calcolo dell'incertezza.

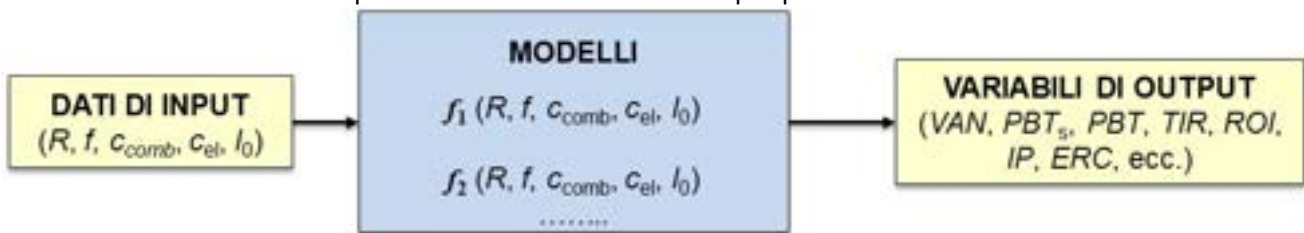


Figura 124. Rappresentazione schematica degli elementi principali del metodo Monte Carlo: applicazione alla metodologia di valutazione delle opzioni di recupero

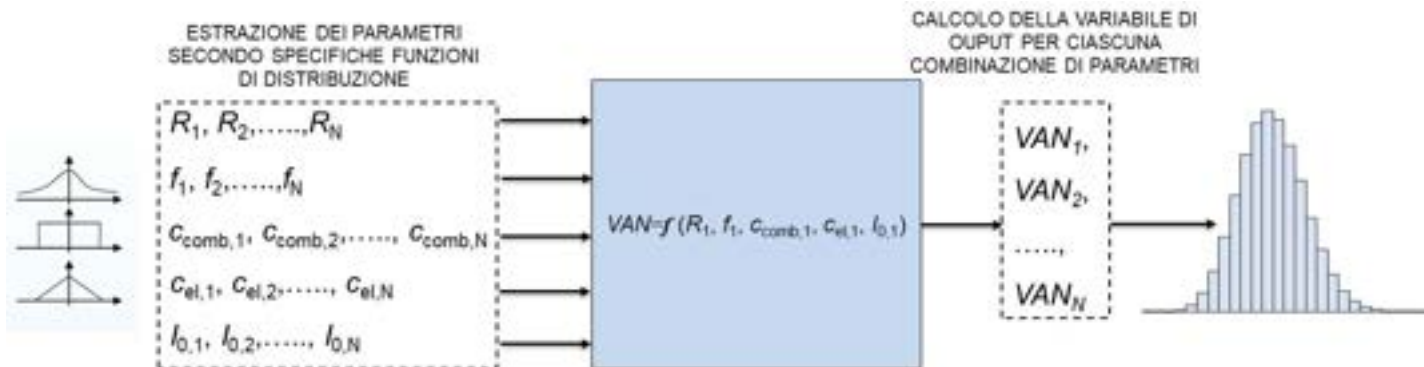


Figura 125. Rappresentazione schematica delle fasi principali del metodo Monte Carlo per la valutazione dell'incertezza associata al calcolo del VAN

2.4 Implementazione della metodologia in ambiente Excel/VBA

La Figura 126 mostra lo schema logico della metodologia di valutazione e confronto degli interventi di recupero di calore. Il modello richiede in input due tipologie di dati, ovvero i dati definiti dall'utente dello strumento software in fase di sviluppo (dati relativi allo stabilimento industriale, ai parametri economici e la possibilità di accesso a forme di incentivazione) e i dati derivanti dai moduli dello strumento software adibiti all'individuazione e caratterizzazione delle possibili soluzioni di recupero di calore, interne o esterne allo

stabilimento industriale (risparmi di energia elettrica e/o termica, costi di investimento e di esercizio e manutenzione, vita utile delle tecnologie).

Sulla base di tali dati, il modello implementato è in grado di valutare l'insieme degli indici di prestazione, tra cui i risparmi di energia primaria e le emissioni di CO₂ evitate, i classici indici di redditività dell'investimento (*VAN, PBT, PBT_s, TIR*, ecc.) e i costi unitari degli interventi di recupero (*ERC_{tep}, ERC_{th}, ERC_{comb}, ERC_{el}, ERC_{CO2}*). Quindi il modello classifica le opzioni di recupero sulla base di un indice di prestazione definito dall'utente. In accordo con quanto previsto dal Piano triennale della Ricerca di Sistema Elettrico 2019-2021, il modulo sarà ulteriormente potenziato nel corso della terza annualità del progetto (*LA 3.20. Messa a punto della metodologia per la valutazione e il confronto delle soluzioni di recupero e validazione in casi di studio*), in modo da offrire all'utente la possibilità di:

- effettuare un'analisi di sensitività degli indici di prestazione rispetto alle variazioni simultanee di diversi parametri economici, quali il tasso di interesse, l'inflazione, i costi dei vettori energetici e il costo di investimento dell'intervento, attraverso l'impiego del metodo Monte Carlo;
- classificare le opzioni di recupero sulla base dell'insieme degli indici prestazionali, ovvero assegnando a ciascun indice di prestazione un punteggio (compreso tra 0 ed 1), sulla base del valore assunto rispetto ai valori minimo e massimo di tale parametro (calcolati sull'insieme delle opzioni indagate).

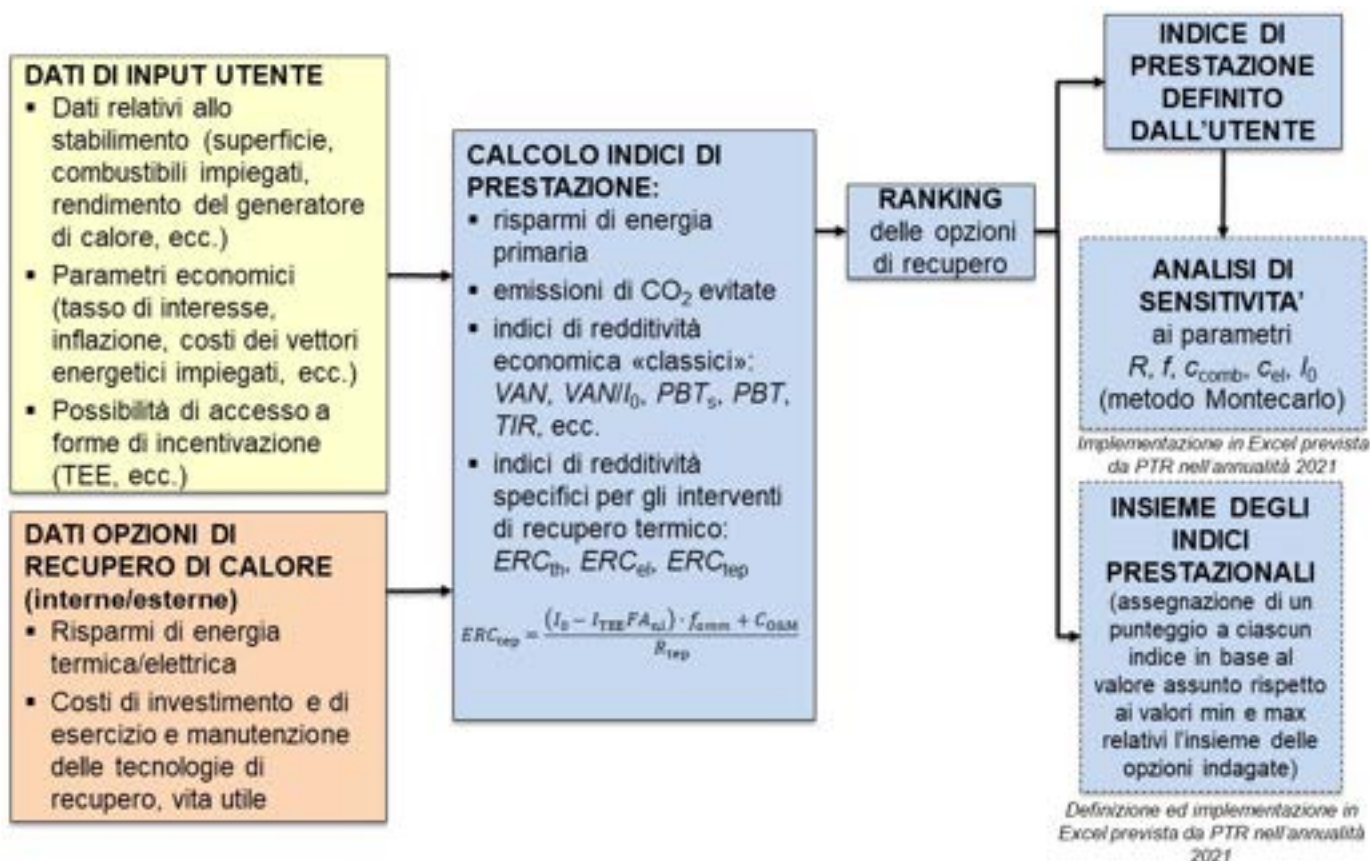


Figura 126. Schema logico della metodologia di valutazione degli interventi di recupero di calore

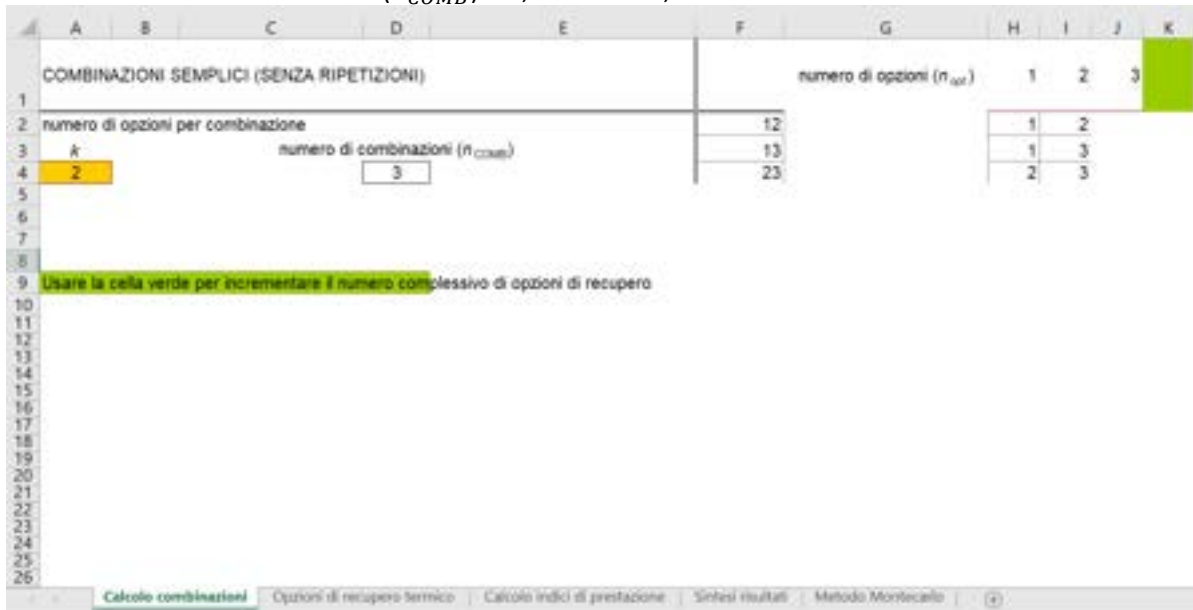
Il modello sin qui sviluppato è stato implementato in ambiente Excel/Visual Basic, utilizzando quattro distinti fogli di lavoro:

- *Calcolo combinazioni*
- *Opzioni di recupero termico*
- *Calcolo indici di prestazione*
- *Sintesi dei risultati*

Il foglio di lavoro *Calcolo combinazioni* è adibito alla definizione delle combinazioni delle opzioni di recupero possibili, sulla base del numero di opzioni per combinazione (k) e del numero complessivo di opzioni indagate (n_{opt}) (Figura 127). In particolare, il numero di combinazioni semplici senza ripetizioni è calcolato come segue:

$$n_{COMB} = \frac{n_{opt}!}{k!(n_{opt} - k)!} \quad (52)$$

Come mostrato a titolo di esempio in Figura 127, nel caso in cui n_{opt} e k siano rispettivamente 3 e 2, il numero di combinazioni ottenibili (n_{COMB}) è 3, ovvero 1-2, 1-3 e 2-3.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	COMBINAZIONI SEMPLICI (SENZA RIPETIZIONI)						numero di opzioni (n_{opt})	1	2	3	
2	numero di opzioni per combinazione					12			1	2	
3	a					2			1	3	
4	numero di combinazioni (n_{COMB})					3			2	3	
5											
6											
7											
8											
9	Usare la cella verde per incrementare il numero complessivo di opzioni di recupero										
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											

Figura 127. Screenshot del foglio di lavoro *Calcolo combinazioni*

Il foglio di lavoro *Opzioni di recupero termico* consente l’inserimento dei dati necessari al calcolo degli indici di prestazione delle opzioni di recupero. Come evidenziato in Figura 128, i dati di input sono divisi in due differenti sezioni: quella a sinistra è relativa ai dati definiti dall’utente dello strumento software, mentre la sezione a destra si riferisce ai dati provenienti dai moduli di calcolo esterni alla metodologia di valutazione, ovvero i risparmi di energia elettrica e/o termica conseguibili dalle opzioni di recupero, i corrispondenti costi di investimento, i costi di esercizio e manutenzione e la vita utile dell’intervento di recupero.

Sulla base dell’insieme dei dati di input e dei modelli di calcolo precedentemente discussi, il medesimo foglio di lavoro valuta gli indici di prestazione di tipo energetico ed ambientale, ovvero i risparmi di energia primaria e le emissioni di CO₂ evitate, ed un insieme di grandezze “intermedie”, ovvero preliminari al calcolo degli indici di prestazione economici (Figura 129), tra cui in particolare:

- il tasso di interesse reale;
- il costo dell’energy audit;
- la quota di ammortamento del costo di investimento;
- i costi evitati su base annuale;
- il flusso di cassa ed il flusso di cassa detassato;
- i ricavi derivanti dall’eventuale accesso ai TEE.

Scenario	Superficie utile produttiva (m ²)	rendimento medio del generatore di calore (%)	tipo di combustibile impiegato per la generazione di energia termica	tasso di interesse nominale (%)	inflazione (%)	costo del combustibile (€/MWh)	costo dell'energia elettrica (€/kWh _e)	Tassazione sul flusso di cassa (€/%)	Accesso ai Certificati Bianchi (€/MWh)	valore del TEE (€/%)	durata del TEE (anni)	risparmio di energia termica (€/MWh/anno)	risparmio di energia elettrica (€/MWh/anno)	valore tecnico dell'intervento (€)	Costo di movimento dell'intervento (€)	Costo di esercizio e manutenzione (€/anno)	numero di anni di ammortamento (anni)
1	1000	90	GAZ NATURALI (LPG/MS)	0,0%	0,0%	3,422	0,100	90	90	200	5	1	10000,0	10	10000	0	10
2	1000	90	GAZ NATURALI (LPG/MS)	0,0%	0,0%	4,31	0,100	90	90	200	5	2	10000,0	10	10000	0	10

Figura 128. Screenshot del foglio di lavoro *Opzioni di recupero*: area di inserimento dei dati di input

numero di anni di ammortamento (anni)	risparmio di combustibile (€/M)	risparmio di energia primaria da energia termica (€/M/anno)	risparmio di energia primaria da energia elettrica (€/M/anno)	risparmio di energia primaria totale (€/M/anno)	emissioni di CO ₂ evitate (Tonn/anno)	Perseone nete	Waste index	Costo energia lordo (€)	tasso di interesse reale (%)	Quota di ammortamento (€/anno)	risparmio netto evitato (€/anno)	Flusso di cassa (€/anno)	Tassazione sul flusso di cassa (€/anno)	Aliquota media (%)	Flusso di cassa deflazionato (€/anno)	risparmio fiscale sulla quota di ammortamento (€/anno)	Rischi dalla vendita del TEE (€/anno)
10	0,0	0,0	46,7	46,7	0,0			980,0	0,0%	1000	1000,0	1000	0,00	0,0	1000,00	0,00	0,00
10	0,0	0,0	36,7	36,7	66,8			1020,2	0,0%	1000	2000,0	2000	0,00	0,0	2000,00	0,00	0,00

Figura 129. Screenshot del foglio di lavoro *Opzioni di recupero*: area di calcolo delle grandezze propedeutiche alla valutazione degli indici di prestazione economica delle opzioni di recupero

Il foglio di lavoro *Calcolo indici di prestazione* consente di valutare gli indici di prestazione economica delle singole opzioni o delle combinazioni di opzioni di recupero. A questo proposito, la Figura 130 mostra lo screenshot dell'area di calcolo che realizza l'attualizzazione dei flussi di cassa, sulla base del tasso di interesse reale e della vita utile dell'intervento di recupero, permettendo così il calcolo del VAN, del PBT e del TIR, con o senza gli incentivi derivanti dalla vendita dei TEE.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
	(IPM)	k	(W/h)	(T/h)	RIBORIO CASO (W/SAZIO AFFRANCATO)	RIFARIORI FOCHE AFFRANCATO	RICAVO TO AFFRANCATO	RCI	VAN	(IPM)-PBT		FLUSSO DI CASH AFFRANCATO	RIPARAZIO FOCHE	RIPARAZIO	TACCOLTORE	
82	3	17094.4							-17094.4							-17094.4
83	1		0.990	1.00	2028.9176	0.00	0.00	2028.9176	14704.9675	0.00		2028.9176	0.000	0.000	0.000	2028.9176
84	2		0.990	0.99	2044.2702	0.00	0.00	2044.2702	14896.8912	0.00		2044.2702	0.000	0.000	0.000	2044.2702
85	3		0.980	0.98	2071.0012	0.00	0.00	2071.0012	15191.9188	0.00		2071.0012	0.000	0.000	0.000	2071.0012
86	4		0.960	0.96	2094.7088	0.00	0.00	2094.7088	15576.2411	0.00		2094.7088	0.000	0.000	0.000	2094.7088
87	5		0.930	0.93	2115.0033	0.00	0.00	2115.0033	16046.0187	0.00		2115.0033	0.000	0.000	0.000	2115.0033
88	6		0.900	0.90	2132.4088	0.00	0.00	2132.4088	16607.5111	0.00		2132.4088	0.000	0.000	0.000	2132.4088
89	7		0.860	0.87	2147.0001	0.00	0.00	2147.0001	17277.0299	0.00		2147.0001	0.000	0.000	0.000	2147.0001
90	8		0.810	0.86	2158.4764	0.00	0.00	2158.4764	18076.0764	0.00		2158.4764	0.000	0.000	0.000	2158.4764
91	9		0.750	0.86	2166.0001	0.00	0.00	2166.0001	19021.7084	0.00		2166.0001	0.000	0.000	0.000	2166.0001
92	10		0.680	0.87	2170.7077	0.00	0.00	2170.7077	19111.0481	0.00		2170.7077	0.000	0.000	0.000	2170.7077

Figura 130. Screenshot del foglio di lavoro *Calcolo indici di prestazione*: area di calcolo del VAN, del PBT e del TIR con e senza TEE

Infine, come mostrato in Figura 131, nel medesimo foglio di calcolo è presente un'ulteriore area, che riassume gli indici di prestazione energetici ed ambientali, gli indici di redditività e che permette il calcolo di ulteriori indici economici, tra cui anche i costi unitari degli interventi di recupero (ERC_{tep} , ERC_{th} , ERC_{comb} , ERC_{el} , ERC_{CO_2}).

	A	B	C	D	E
42	Calcolo indici di prestazione				
43	Tipo di opzione TO		SINGOLA OPZIONE		
44	Identificativo caso IC		2		
45	risparmio di energia termica (kWh/anno) R_{th}		0.0		
46	risparmio di energia elettrica (kWh/anno) R_{el}		185374.8		
47	risparmio di combustibile (MJ/anno) R_{cb}		0.0		
48	risparmio di energia primaria da energia termica (tep/anno) $R_{th,p}$		0.0		
49	risparmio di energia primaria da energia elettrica (tep/anno) $R_{el,p}$		34.7		
50	risparmio di energia primaria totale (tep/anno) R_{tp}		34.7		
51	emissioni di CO ₂ evitate (t _{CO2} /anno) R_{CO_2}		63.6		
52	Recovery index I-RI				
53	Waste index I-WI				
54	Costo di investimento iniziale totale I ₀		172504.4		
55	Costo di esercizio e manutenzione (€/anno) C _{oper}		0.0		
56	Risparmio/costo evitato (€/anno) I-SP		25396.3		
57	Ricavo totale (€/anno) R _{C, tot}		25396.3		
58	tasso di interesse reale (%) I		0.5%		
59	fattore di annualità I-FA ₀		9.73		
60	tempo di ritorno semplice (anni) PBT _s		6.79		
61	valore attuale netto (€) VAN		74612.6		
62	indice di profitto I-VAN/I ₀		0.43		
63	valore attuale netto annuale (€) VAN _a		7667.98		
64	return on investment I-ROI		0.05		
65	tasso interno di rendimento (%) TIR		7.7		
66	tempo di ritorno attualizzato (anni) PBT		6.93		
67	capital charge factor I-CCF		0.1028		
68	Energy recovery cost (€/tep) ERC_{tep}		511.4		
69	Energy recovery cost (€/Wh _{th}) ERC_{th}		6.79		
70	Energy recovery cost (€/Wh _{el}) ERC_{el}		9.6		
71	Energy recovery cost (€/Wh _{comb}) ERC_{comb}		278.8		
72	Energy recovery cost (€/ton CO ₂) ERC_{CO_2}		278.8		
73	indice di tempo residuo I-TR		0.33		

Figura 131. Screenshot del foglio di lavoro *Calcolo indici di prestazione*: area di sintesi degli indici di prestazione e di calcolo degli ulteriori indici economici

Infine il foglio di lavoro *Sintesi risultati* classifica le opzioni di recupero singole o le combinazioni di opzioni di recupero sulla base di un indice di prestazione scelto come criterio di classificazione dall'utente dello strumento software (Figura 132).

Tabella 97. Casi di studio di recupero di calore nel settore tessile

Casi di studio	1	2
<i>Descrizione dei casi di studio</i>		
sorgente di calore di scarto	Fumi uscenti da forno (T=200°C)	Fumi uscenti da forno (T≈170°C)
tecnologia di recupero di calore	ORC	ORC
superficie sito produttivo (m ²)	5300	20270
tasso di interesse nominale (%)	0.5	0.5
inflazione (%)	0	0
costo gas naturale (€/Sm ³)	0.4225	0.35
costo dell'energia elettrica (€/kWh _e)	0.14925	0.137
accesso ai Certificati Bianchi	SI	SI
valore dei TEE (€/tep)	250	250
durata dei TEE (anni)	5	10
risparmio di energia termica (kWh _t /anno)	0	0
risparmio di energia elettrica (kWh _e /anno)	239155.2	185374.8
risparmio di combustibile (Sm ³ di gas naturale/anno)	0	0
risparmi di energia primaria (tep/anno)	44.7	34.7
emissioni di CO ₂ evitate (t CO ₂ /anno)	95	73
<i>Indici di redditività considerati per la validazione della metodologia*</i>		
VAN (€)	196157.23	76606.9
PBT _s (anni)	4.2	6.69
VAN _{TEE} (€)	231271.76	143697.9
PBT _{s, TEE} (anni)	3.36	5.26

* Ai fini della validazione sono stati considerati ulteriori dati non riportati in tabella per motivi di sensibilità

Tabella 98. Casi di studio di recupero di calore nel settore caseario

Casi di studio	1	2
<i>Descrizione dei casi di studio</i>		
sorgente di calore di scarto	Latte nei maturatori	Sistema di produzione dell'aria compressa
tecnologia di recupero di calore	Scambiatore di calore	Scambiatore di calore
superficie sito produttivo (m ²)	N/A	N/A
tasso di interesse nominale (%)	4	4
inflazione (%)	0	0
costo gas naturale (€/Sm ³)	0.28	0.28
costo dell'energia elettrica (€/kWh _e)	0.125	0.125
accesso ai Certificati Bianchi	NO	NO
valore dei TEE (€/tep)	-	-
durata dei TEE (anni)	-	-
risparmio di energia termica (kWh _t /anno)	N/A	N/A
risparmio di energia elettrica (kWh _e /anno)	0	0
risparmio di combustibile (Sm ³ di gas naturale/anno)	60000	23400
risparmi di energia primaria (tep/anno)	50.6	19.7
emissioni di CO ₂ evitate (t CO ₂ /anno)	118.5	46.2

<i>Indici di redditività considerati per la validazione della metodologia</i>		
VAN (€)	119263	31776
PBT (anni)	1.1	3.9
TIR (%)	99	25
* Ai fini della validazione sono stati considerati ulteriori dati non riportati in tabella per motivi di sensibilità		

Tabella 99. Casi di studio di recupero di calore nel settore dei prodotti da forno

Caso di studio	1	2
<i>Descrizione dei casi di studio</i>		
sorgente di calore di scarto	Sistema di produzione dell'aria compressa	Condensatore evaporativo della centrale frigorifera
tecnologia di recupero di calore	Scambiatore di calore	N/A
Superficie sito produttivo (m ²)	15000	15000
tasso di interesse nominale (%)	3	3
inflazione (%)	0	0
costo gas naturale (€/Sm ³)	0.27	0.27
costo dell'energia elettrica (€/kWh _e)	0.13	0.13
accesso ai Certificati Bianchi	NO	NO
valore dei TEE (€/TEP)	-	-
durata dei TEE (anni)	-	-
risparmio di energia termica (kWh _t /anno)	N/A	318200
risparmio di energia elettrica (kWh _e /anno)	-	-
risparmio di combustibile (\$m ³ di gas naturale/anno)	26998	33180
risparmi di energia primaria (tep/anno)	22.27	27.37
emissioni di CO ₂ evitate (t CO ₂ /anno)	51.67	63.51
<i>Indici di redditività considerati per la validazione della metodologia</i>		
VAN (€)	42680	71420
PBT _s (anni)	2.68	0.56
PBT (anni)	2.83	0.57
TIR (%)	36	179
* Ai fini della validazione sono stati considerati ulteriori dati non riportati in tabella per motivi di sensibilità		

In tutti i casi di studio considerati, sono stati trascurati i costi relativi all'audit energetico ed alla progettazione dell'intervento. Al fine di garantire un buon accordo rispetto ai valori riportati nelle diagnosi, è stato quindi necessario omettere tale voce di costo (definita attraverso l'equ. (18)) nel modello di calcolo dell'investimento iniziale. Nel caso del settore tessile, in particolare, sono stati valutati i valori del VAN e del PBT_s, con e senza i ricavi netti derivanti dalla vendita dei TEE. Questi ultimi sono stati calcolati a meno dei costi di consulenza, corrispondenti a circa il 20% dei ricavi lordi. Nel caso dei settori caseario e dei prodotti da forno, invece, sono stati indagati il VAN, il PBT ed il TIR.

Le Figura 133-Figura 135 mettono a confronto gli indici di redditività riportati nelle diagnosi e quelli calcolati con la metodologia proposta nel presente progetto. Come evidenziato in Figura 133, gli scostamenti in termini di VAN risultano sempre piuttosto contenuti, tranne per l'intervento operato sul sistema dell'aria compressa nel settore caseario; tale scostamento è, tuttavia, da imputare al fatto che nella diagnosi i risparmi associati ai costi evitati per l'acquisto del gas naturale sono stati valutati considerando un costo unitario del

combustibile più elevato rispetto all'intervento di recupero termico sui maturatori. Effettuando nuovamente il calcolo sulla base dell'effettivo costo del gas naturale (0.30 €/Sm³ anziché 0.28 €/Sm³), il valore del VAN calcolato con la presente metodologia risulta praticamente coincidente con quello riportato nella diagnosi.

Il buon accordo tra i valori delle diagnosi e quelli calcolati è confermato anche per quanto riguarda il *PBT* (Figura 134) ed il *TIR* (Figura 135).

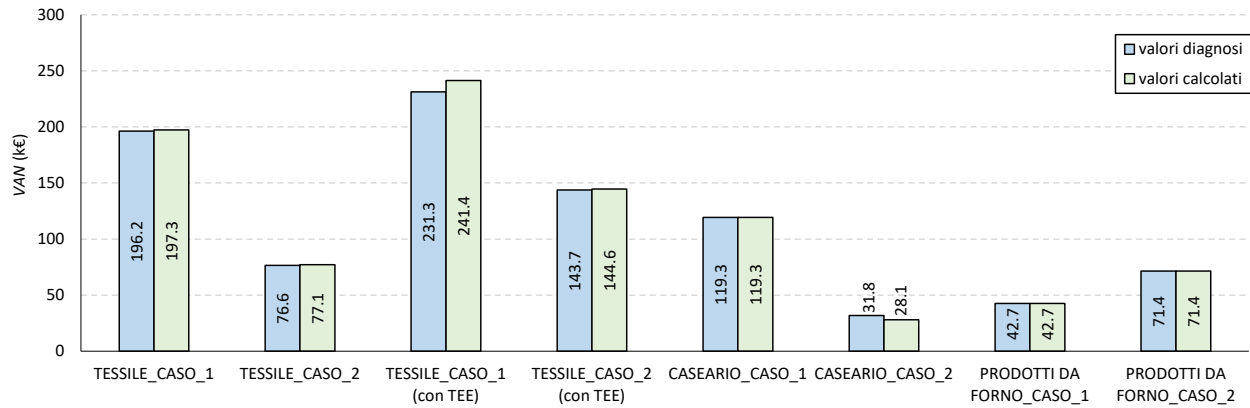


Figura 133. Confronto tra i valori del VAN riportati nelle diagnosi e i valori calcolati con la metodologia proposta

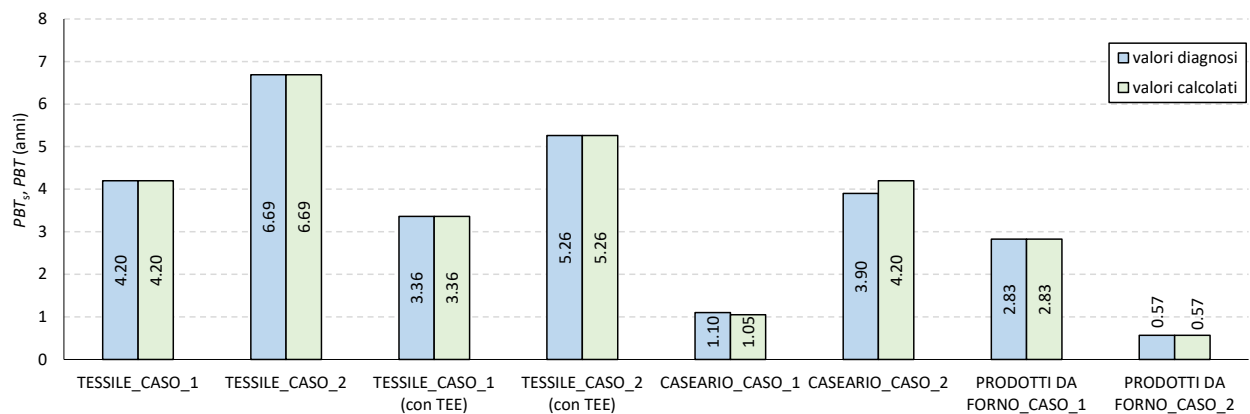


Figura 134. Confronto tra i valori di PBT e PBT_s riportati nelle diagnosi e i valori calcolati con la metodologia proposta

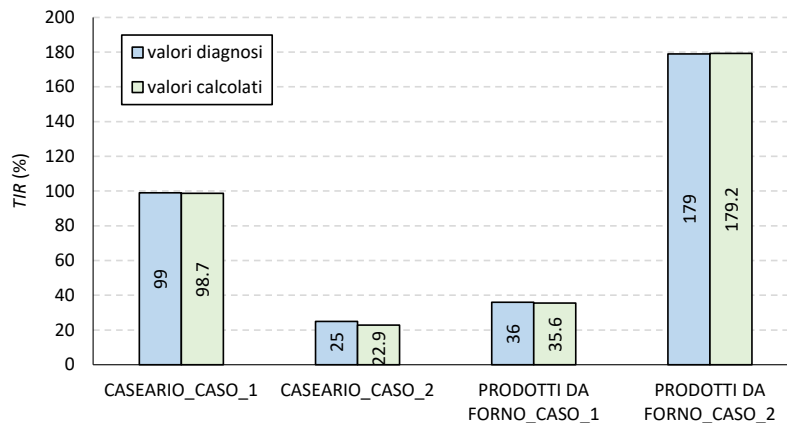


Figura 135. Confronto tra i valori del TIR riportati nelle diagnosi e i valori calcolati con la metodologia proposta

Questa indagine preliminare ha permesso di verificare la capacità del modello di riprendere i risultati delle diagnosi energetiche, in termini di *VAN*, *PBT*, *PBT_s* e *TIR*.

Infine è stato fatto un confronto tra i costi unitari degli interventi di recupero (*ERC*) ed i corrispondenti costi dei vettori energetici (energia elettrica e gas naturale), allo scopo di verificare che la fattibilità economica degli interventi fosse confermata anche sulla base di indici di prestazione diversi da quelli considerati nelle diagnosi energetiche. In particolare, per ciascun intervento è stato valutato il corrispondente valore del costo unitario dell'energia risparmiata, espressa in termini di kWh elettrici nei casi relativi al settore tessile e di Sm³ di gas naturale nei casi relativi al settore caseario e dei prodotti da forno. Rispetto agli indici di redditività economica, l'*ERC* fornisce una nuova prospettiva di valutazione degli interventi di recupero; in particolare, tale indice dà un'indicazione immediata dell'entità del divario (positivo o negativo) rispetto al corrispondente costo del vettore energetico, permettendo quindi di valutare i potenziali benefici associati ai costi evitati per l'acquisto dell'energia elettrica e/o dei combustibili impiegati per la produzione locale di energia termica.

Come evidenziato in Figura 136, in tutti i casi esaminati il valore dell'*ERC* risulta inferiore al costo del vettore energetico a cui è associata una corrispondente riduzione dei consumi, a seguito della realizzazione dell'intervento di recupero di calore. Per quanto riguarda il settore tessile, si nota come entrambi gli interventi, nonostante siano caratterizzati da valori relativamente elevati del *PBT_s*, determinino una consistente riduzione dei costi associati all'approvvigionamento dell'energia elettrica, corrispondente ad oltre il 50% (TESSILE_CASO_1) ed il 30% (TESSILE_CASO_2) con riferimento al singolo kWh_e. Con riferimento al settore caseario e dei prodotti da forno, l'entità del divario tra *ERC_{comb}* e *c_{comb}* conferma come il primo (CASEARIO_CASO_1) e l'ultimo intervento (PRODOTTI DA FORNO_CASO_2) siano da considerarsi i più redditizi, comportando una riduzione del costo di acquisto del singolo Sm³ di circa il 90%. È altresì interessante notare come i restanti interventi, seppur caratterizzati da valori decisamente più sfavorevoli degli indici di redditività, siano in grado di ridurre in maniera significativa (di circa il 50–70%) i costi associati alla produzione di energia termica.

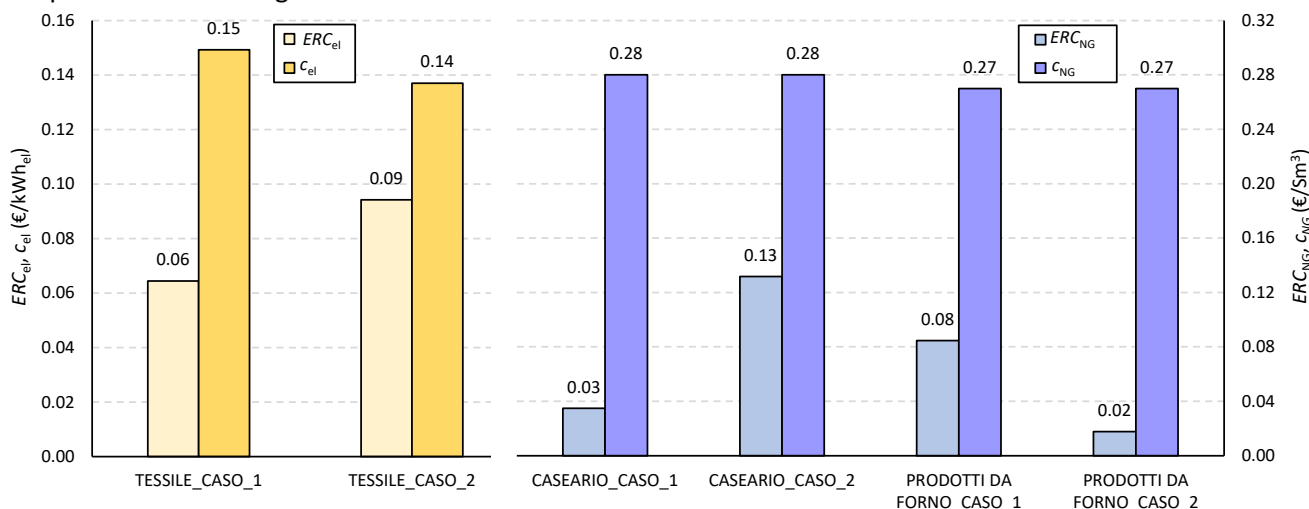


Figura 136. Confronto tra i costi unitari degli interventi di recupero di calore (*ERC_{comb}*, *ERC_{el}*) ed i costi dei vettori energetici (*c_{comb}*, *c_{el}*) per i 6 casi di studio di interventi di recupero di calore esaminati

2.6 Primo disegno di massima del software di supporto alle decisioni con l'integrazione dei diversi moduli del software

La metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero rappresenta uno dei moduli (MODULO 4) dello strumento software di supporto alle decisioni delle aziende. A questo proposito, lo schema di Figura 137 mette in evidenza l'integrazione del MODULO 4 con i moduli sviluppati dall'Università di Tor Vergata (MODULO 1), dall'Università dell'Aquila (MODULO 2) e dall'Università di Udine (MODULO 3).

Il ruolo sin qui svolto dall'ENEA non ha riguardato solamente lo sviluppo del MODULO 4, ma anche la supervisione delle fasi di implementazione dei moduli in capo agli altri co-beneficiari del progetto e la gestione delle diverse criticità emerse in corso d'opera per quanto riguarda le relative interazioni.

Nel corso della seconda annualità si è quindi proceduto ad una definizione concertata tra i diversi partner di progetto di una preliminare struttura complessiva del software, risultante dalle interazioni tra i singoli moduli. Tale struttura, che sarà perfezionata nella successiva annualità di progetto (durante la quale, come previsto dal Piano Triennale di Realizzazione, sarà effettivamente sviluppato il software sulla base di strumenti e metodologie sviluppate sin qui), verrà utilizzata come base per il perfezionamento dei singoli moduli (orientato ad una facilitazione delle interazioni previste) e dello sviluppo del software finale. Di seguito una breve descrizione dei singoli moduli, delle interazioni previste e riassunte in Figura 137.

Il MODULO 1 ha il compito di individuare in maniera preliminare le possibili sorgenti di calore di scarto dello stabilimento produttivo, sulla base dei dati di input definiti dall'utente (ad esempio l'energy manager), e di caratterizzare le possibili soluzioni di recupero delle sorgenti di calore, in termini di tecnologie e di costi di investimento. Tutto questo grazie a due banche dati, la prima inerente ai casi di studio di interventi di recupero in ambito industriale e la seconda relativa alle tecnologie di recupero termico, che sono state preliminarmente sviluppate nel corso della prima annualità ed ulteriormente perfezionate durante la seconda annualità del progetto.

Gli output derivanti dal MODULO 1 costituiscono l'input per i MODULI 2 e 3. In particolare, il MODULO 2 si propone di quantificare, attraverso degli studi di simulazione, l'entità dei recuperi di energia termica conseguibili attraverso interventi interni allo stabilimento, che prevedano l'impiego di diverse tecnologie, quali reti di scambiatori di calore, pompe di calore e cicli Rankine a fluido organico. Il MODULO 3, invece, consente di valutare le possibilità di recupero del calore di scarto all'esterno dello stabilimento, ovvero attraverso l'integrazione di reti di distribuzione che trasferiscono il calore ad altre utenze industriali o civili. Sulla base dei dati definiti dall'utente e degli output dei MODULI 2 e 3 (caratterizzanti le soluzioni di recupero termico interne e/o esterne allo stabilimento), il MODULO 4 è in grado di valutare e confrontare le prestazioni energetiche ed economiche delle soluzioni di recupero e identificare quelle più promettenti, in rapporto alle esigenze dello stabilimento industriale.

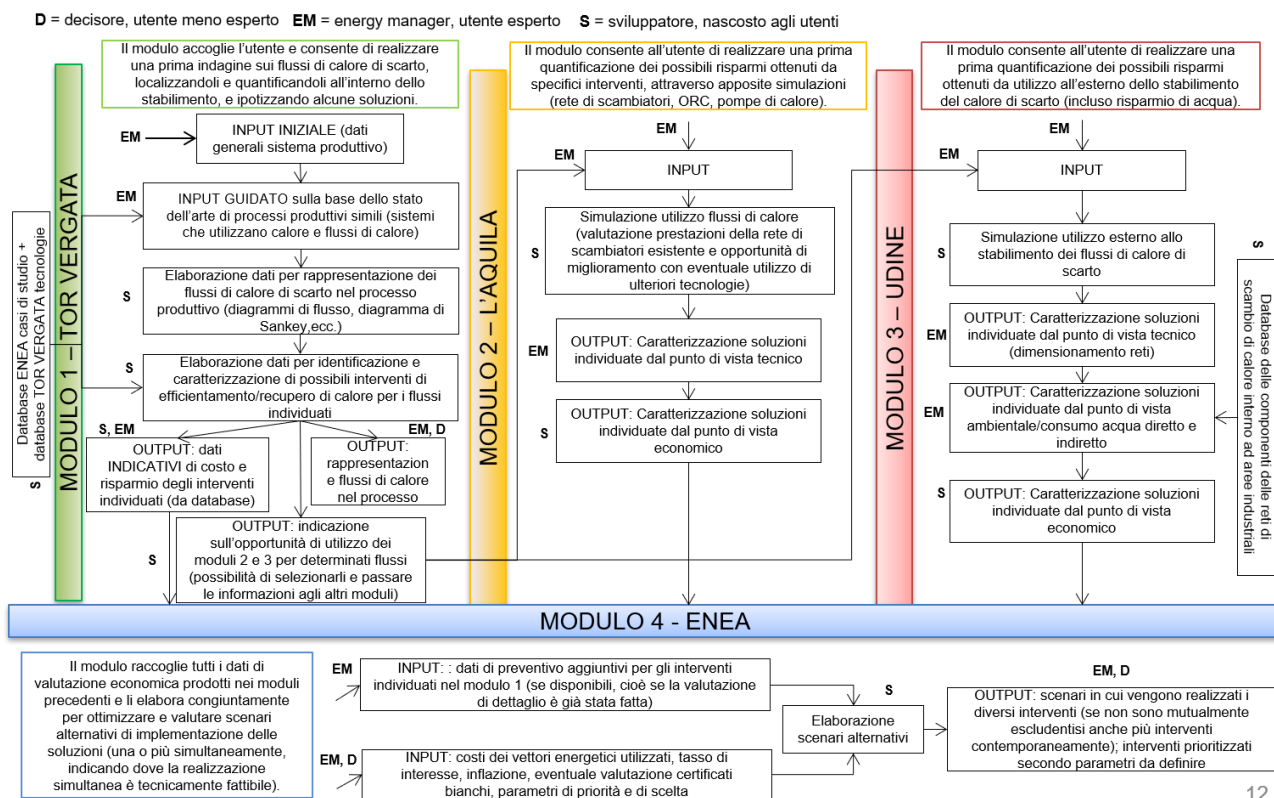


Figura 137. Rappresentazione schematica della struttura del software di supporto alle aziende nell'identificazione e valutazione delle migliori opportunità di recupero termico all'interno dello stabilimento

3 Organizzazione dei tavoli di lavoro con le aziende

Al fine di incrementare la robustezza degli strumenti realizzati già nella prima annualità e perfezionati sulla base dei dati contenuti nelle diagnosi energetiche nella presente annualità, si è proceduto a confrontare i risultati ottenuti con alcune aziende rappresentative del contesto italiano, sia per quanto riguarda il mercato delle tecnologie di recupero di calore sia per quanto riguarda il panorama dei potenziali utilizzatori. Le attività di confronto con le aziende hanno consentito di ottenere una prima validazione degli strumenti realizzati, di identificare gli sviluppi sul mercato italiano delle tecnologie innovative e sono state condotte anche allo scopo di individuare in via preliminare dei possibili test cases per il software (attività preliminare ai test da eseguire nel corso della terza annualità).

Per motivi legati all'emergenza sanitaria verificatasi per la quasi interezza dell'annualità 2020, gli incontri con le aziende, inizialmente pensati come tavoli di lavoro da tenersi in presenza nella sede ENEA di Roma, sono stati invece condotti perlopiù in modalità asincrona e online (interviste singole su piattaforme di videoconferenza). Questo da un lato ha comportato un lavoro più intenso del previsto in termini di tempo dedicato a questa parte di attività (sono stati realizzati tanti incontri singoli invece di pochi incontri collettivi), ma dall'altro ha consentito di ottenere informazioni molto più specifiche e dettagliate da parte dei partecipanti. Ovviamente, è venuta conseguente meno la possibilità per le aziende di conoscersi e confrontarsi tra di loro durante gli incontri collettivi, ma si è comunque giudicato poco fattibile e poco efficace organizzare incontri collettivi online, per cui si spera di riuscire a recuperare questo aspetto nella annualità successiva (2021), nel caso in cui le condizioni sanitarie nazionali lo consentano.

Si precisa inoltre che il lavoro di interfaccia con le aziende, sia fornitrici di tecnologie che di produzione, ha richiesto notevoli sforzi aggiuntivi per superare difficoltà importanti causate proprio dalla situazione di emergenza sanitaria. Quasi tutte le aziende contattate, infatti, nonostante abbiano mostrato un notevole interesse nelle attività del progetto, hanno fatto presente che nel corso di questa annualità sono state

fortemente impegnate nel fronteggiare la crisi in corso, per cui molte risorse sono state sottratte a progetti di ricerca e di efficientamento energetico (soprattutto per quanto riguarda le aziende di produzione). Nonostante questo il team di progetto è riuscito a reperire dati e informazioni necessarie allo svolgimento delle attività, seppur con qualche necessario adattamento nella metodologia di raccolta; per questo motivo si ringrazia doppiamente per la disponibilità in un momento storico molto complesso le aziende che hanno acconsentito a partecipare alle attività qui descritte.

Con l'intento di facilitare le attività di raccolta di informazioni su tecnologie disponibili sul mercato e su casi applicativi reali, e di incrementare il focus sulle tecnologie innovative (le risultanze di queste prime attività dimostrano come il mercato italiano sia piuttosto concentrato su tecnologie di recupero di calore allo stato dell'arte), si è deciso inoltre di operare una prima analisi a livello europeo relativa a progetti in corso di sviluppo tecnologico di tecnologie di recupero di calore a bassa temperatura. Nella Tabella 100 vengono riportati i risultati di questa prima analisi, che sarà approfondita nella seguente annualità, e che porterà, sempre nella annualità seguente, a contattare anche alcuni team di ricerca e aziende europee coinvolte con il fine di estendere la raccolta dati.

Tabella 100: Prima identificazione di progetti europei in corso di ricerca e sviluppo di tecnologie di recupero di calore innovative

Progetto	Durata del progetto	Breve descrizione
DryFiciency	01/09/2016-31/08/2021	<p>L'obiettivo generale del progetto DryFiciency è quello di condurre i settori ad alta intensità energetica dell'industria manifatturiera europea verso un'elevata efficienza energetica e una riduzione delle emissioni di carbonio fossile attraverso il recupero del calore residuo per favorire la competitività, migliorare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e garantire una produzione sostenibile in Europa. Il progetto si rivolge a tre settori, vale a dire il mattone, la gestione dei rifiuti e l'industria alimentare. I risultati sono comunque di grande rilevanza per un certo numero di altre industrie ad alta intensità energetica, come ad esempio l'industria della cellulosa e della carta.</p> <p>Il consorzio DryFiciency elaborerà soluzioni tecnicamente ed economicamente valide per migliorare i flussi di calore di scarto inattivi in flussi di calore di processo a livelli di temperatura più elevati fino a 160 °C. Gli elementi chiave della soluzione sono tre pompe di calore a compressione di vapore ad alta temperatura: due pompe di calore a circuito chiuso per processi di essiccazione ad aria e una pompa di calore a circuito aperto per processi di essiccazione a vapore. La soluzione DryFiciency sarà dimostrata in condizioni di produzione reali in processi di essiccazione industriali operativi in tre aziende manifatturiere europee leader nei settori alimentare, del mattone e della gestione dei rifiuti.</p> <p>Il potenziale della tecnologia dimostrata è quello di ridurre la domanda specifica di energia per l'essiccazione e la disidratazione da 700-800 kWh per tonnellata a 200 kWh per tonnellata di acqua evaporata. Il passaggio dai combustibili fossili alla tecnologia della pompa di calore riduce notevolmente l'impatto ambientale e offre allo stesso tempo un potenziale di risparmio energetico fino al 60-80%. Questo porterà a una sostanziale riduzione dei costi</p>

		energetici e di conseguenza a un abbassamento dei costi specifici del prodotto, con un conseguente miglioramento significativo della competitività.
ETEKINA	01/10/2017-30/09/2021	<p>Le industrie ad alta intensità energetica (EII) in Europa sono caratterizzate da costi di produzione dell'energia molto alti e da un livello importante di emissioni di CO2. I costi di produzione dell'energia rappresentano fino al 40% dei costi di produzione totali in alcune EII, mentre le emissioni EII rappresentano un quarto delle emissioni totali di CO2 dell'UE. Le IIE sono quindi direttamente interessate dal Pacchetto Energia/Clima del 2014 dell'UE, che fissa un obiettivo globale di riduzione del 40% delle emissioni di gas serra e di aumento del 27% dell'efficienza energetica entro il 2030.</p> <p>Il rapporto sui prezzi e i costi dell'energia per alcuni settori ad alta intensità energetica pubblicato dalla Commissione europea ha mostrato, ad esempio, che i prezzi del gas naturale per le aziende europee di ceramica sono aumentati di circa il 30% tra il 2010 e il 2012 e sono stati quattro volte più alti che in Russia e più di tre volte più alti che negli USA. Allo stesso modo, i costi dell'elettricità erano due volte più alti nell'UE che negli USA e in Russia. Queste cifre confermano chiaramente che l'energia è un elemento cruciale per la competitività della nostra industria.</p> <p>Pertanto, nell'ambito del progetto ETEKINA viene proposto un approccio integrato all'innovazione di processo che copre la progettazione, la simulazione, le condizioni operative e la gestione del processo insieme a una tecnologia innovativa per il recupero del calore residuo.</p> <p>L'obiettivo generale del progetto ETEKINA è quello di migliorare il rendimento energetico dei processi industriali. Affinché questo sia possibile, la valorizzazione del calore di scarto tramite una tecnologia modulare chiavi in mano basata sullo scambiatore di calore a tubi di calore (HPHE) adattabile a diversi settori industriali sarà affrontata nell'ambito del progetto e dimostrata in tre processi industriali dei settori non ferrosi, dell'acciaio e della ceramica al fine di dimostrare:</p> <p>(i) la fattibilità economica della soluzione, e quindi</p> <p>(ii) il suo potenziale di mercato.</p>
Smartrec	01/09/2016-31/08/2021	<p>Il calore di scarto è un problema comune alle industrie di lavorazione ad alta temperatura come risorsa significativamente sottoutilizzata, spesso a causa delle sfide nella valorizzazione economica del calore. Il riciclaggio dell'alluminio secondario e la lavorazione della ceramica sono stati identificati come esempi chiave con calore di scarto economicamente recuperabile. Diverse sfide sono inerenti; questi processi sono basati su batch piuttosto che continui con gas di scarico corrosivi carichi di</p>

		<p>particolato in un'ampia gamma di temperature. Il sistema Smartrec risponde a queste sfide attraverso lo sviluppo di una soluzione standard e modulare per l'integrazione del recupero di calore con l'accumulo termico che valorizza il calore di scarto di grado medio-alto, adattabile a diverse temperature e industrie. Dopo l'analisi dell'utente finale e la caratterizzazione dei flussi di scarico e dei prodotti di scarto, saranno effettuati una valutazione e un calcolo dei costi del ciclo di vita completo con i sali fusi candidati selezionati per lo stoccaggio termico e il fluido di trasferimento del calore, convalidati da test di corrosione. Uno scambiatore di calore a tubi di calore personalizzato sarà modellato e progettato intorno ai requisiti della struttura dello stoppino della capacità di trasporto del calore e in grado di scambiare calore con un ciclo di pompaggio del sale fuso. Questo ciclo includerà un sistema di stoccaggio termico a doppio supporto con modellizzazione dei costi/sistema, convalida e strumentazione incorporata. Un sistema pilota Smartrec sarà costruito e implementato in un riciclatore di alluminio secondario e/o in un processore di ceramica, valorizzando il calore di alta qualità per il riciclaggio continuo di sale fuso ad alta intensità energetica. Smartrec sarà convalidato dall'integrazione con i sistemi esistenti con >6 mesi di funzionamento, compresa una struttura di strumentazione completamente sviluppata. Sarà sviluppato uno strumento basato sulla conoscenza che conterrà tutti i parametri e le informazioni rilevanti di Smartrec per modellare completamente il sistema e permettere agli utenti di determinare i loro requisiti, i potenziali benefici e integrare Smartrec nei loro sistemi attraverso un workshop ad accesso aperto ospitato dal consorzio.</p>
I-ThERM	01/10/2015-31/03/2021	<p>I sistemi di recupero del calore di scarto possono offrire significativi risparmi energetici e sostanziali riduzioni delle emissioni di gas serra. Si prevede che il mercato del recupero del calore residuo supererà i 45,0 miliardi di euro entro il 2018, ma perché questa proiezione si concretizzi e perché l'industria manifatturiera e utilizzatrice europea possa beneficiare di questi sviluppi, è necessario che avvengano miglioramenti tecnologici e innovazioni volte a migliorare l'efficienza energetica delle apparecchiature di recupero del calore e a ridurre i costi installati. L'obiettivo generale del progetto è quello di sviluppare e dimostrare tecnologie e processi per un recupero di calore efficiente ed economico dagli impianti industriali nell'intervallo di temperatura da 70°C a 1000°C e l'integrazione ottimale di queste tecnologie con il sistema energetico esistente o per l'esportazione sopra la recinzione del calore recuperato e dell'elettricità generata, se opportuno. Per raggiungere questo obiettivo impegnativo e garantire un'ampia applicazione delle tecnologie e degli approcci sviluppati, il progetto riunisce un consorzio molto forte che comprende fornitori di RST, fornitori di tecnologie e soprattutto utenti grandi e PMI che forniranno siti di dimostrazione per le tecnologie. Il progetto si concentrerà su</p>

		<p>tecnologie innovative di trasferimento del calore a due fasi (heat pipes-HP) per il recupero del calore da fonti a media e bassa temperatura e l'uso di questo calore per: a) all'interno della stessa struttura o per l'esportazione attraverso la recinzione; b) per la generazione di energia elettrica; o una combinazione di (a) e (b) a seconda delle esigenze. Per la generazione di energia elettrica il progetto svilupperà e dimostrerà in siti industriali il Trilateral Flash System (TFC) per fonti di calore di scarto a bassa temperatura, da 70°C a 200°C e il Supercritical Carbon Dioxide System (sCO2) per temperature superiori a 200°C. Si prevede che queste tecnologie usate da sole o in combinazione con le tecnologie HP porteranno a risparmi di energia e di emissioni di gas serra ben oltre il 15% e a prestazioni economiche interessanti con periodi di recupero inferiori a 3,0 anni.</p>
--	--	---

3.1 Incontri con le aziende fornitrici di tecnologie di recupero di calore

Al fine di organizzare incontri con le aziende fornitrici di tecnologie di recupero di calore, e quindi ottenere dei primi riscontri e informazioni aggiuntive principalmente in relazione ai due database sviluppati da ENEA e dall'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, si è proceduto ad una prima fase di reclutamento di potenziali aziende interessate.

Durante questa fase, di concerto con le Università de L'Aquila e di Udine, ENEA e l'Università di Roma Tor Vergata hanno collaborato per la creazione di un flyer di presentazione del progetto in generale e delle attività oggetto del presente capitolo in particolare (si veda a riguardo la Figura 138). Il flyer è stato quindi utilizzato per contattare aziende produttrici di tecnologie di recupero di calore per proporre loro brevi incontri/interviste con i partner di progetto.



Figura 138: Flyer di presentazione del progetto alle aziende fornitrici di tecnologie di recupero di calore

In questa fase preparatoria, ENEA ha inoltre coordinato i partner di progetto nella realizzazione di un questionario condiviso da utilizzare come traccia per la conduzione delle interviste alle aziende produttrici di tecnologie di recupero di calore. Il testo del questionario viene riportato nel paragrafo 3.1.1. Il questionario è da intendersi come traccia delle interviste realizzate e non come documento inoltrato alle aziende stesse; si è infatti preferito assistere direttamente le aziende nella compilazione delle risposte per incrementare la significatività e robustezza dei dati raccolti.

Sempre di concerto con le Università cobeneficiarie, è stata quindi stilata una prima lista condivisa delle aziende da contattare (circa trenta aziende), principalmente sulla base di ricerche online condotte per diverse categorie di aziende. Per questa tipologia di aziende, infatti, non esistono specifici elenchi già redatti e disponibili o associazioni di categoria, per cui si è dovuto procedere aggiornando la lista delle aziende progressivamente, sulla base di ricerche online. ENEA si è occupata in questa fase del primo contatto con tutte le aziende individuate, principalmente a mezzo e-mail. Si specifica che al momento della pubblicazione online dei risultati di progetto (software e database), prevista per la fine della terza ed ultima annualità, verrà data la possibilità ad altre aziende che fossero interessate a partecipare al progetto di trasmettere i propri dati ad ENEA, che provvederà ad organizzare una breve intervista e quindi ad aggiornare i prodotti del progetto.

Le singole interviste alle aziende che hanno aderito all'iniziativa si sono poi tenute secondo il calendario riportato in Tabella 101. Le interviste sono state tutte condotte dall'Università di Roma Tor Vergata con il supporto di ENEA, e sono pertanto descritte con maggiore dettaglio (soprattutto in riferimento alla tipologia di aziende intervistate e alle informazioni ottenute) nel report dell'Università di Roma Tor Vergata relativo alla LA3.22.

Tabella 101: Calendario delle interviste condotte con le aziende produttrici di tecnologie di recupero di calore

DATA	AZIENDA INTERVISTATA
20 novembre 2020	KAYMACOR
27 novembre 2020	DAV COIL SRL
9 dicembre 2020	EXERGY INTERNATIONAL SRL
9 dicembre 2020	ZUCCATO ENERGIA SRL
14 dicembre 2020	ROBUR SPA
11 marzo 2021	TURBODEN SPA
23 marzo 2021	STUDIO CARAMELLI SRL
23 marzo 2021	IBT GROUP
26 marzo 2021	TERMOLEADER SRL

3.1.1 Testo del questionario preparato per guidare le interviste alle aziende produttrici di tecnologie di recupero del calore

Recupero termico di calore a bassa e bassissima temperatura in campo industriale

Questionario per i fornitori di tecnologie

1. Nominativo fornitore:

2. Questionario compilato da (funzione aziendale):

3. Produttore Rivenditore Entrambi

4. I vostri prodotti sono descritti a catalogo? Sì No

5. Avete cataloghi o schede tecniche che descrivano le caratteristiche dei prodotti? Sì No

(Se sì, sarebbe possibile allegare il catalogo?)

6. Siete un fornitore attivo sul fronte del recupero termico di calore a bassa temperatura (<250°)? Sì

No

7. Quali sono le tecnologie che maggiormente implementate/producite per il recupero di calore di scarto?

8. Quali sono le tecnologie più innovative che state proponendo ai vostri clienti/fanno da poco parte del vostro catalogo?

9. Quali sono (prevalentemente) i settori produttivi di cui fanno parte i vostri clienti?

10. Per le tecnologie identificate al punto 7 e al punto 8, quali sono le principali barriere all'adozione manifestate dai vostri clienti? In presenza di più alternative, quali sono gli aspetti che orientano la scelta di una soluzione piuttosto che di un'altra?

11. Per le tecnologie con cui lavorate o per quelle di cui avete conoscenza compilare le seguenti tabelle (parametri tecnici ed economici) con le informazioni disponibili (se tali tecnologie non sono presenti in tabella aggiungere attraverso la voce altro):

Parametri Tecnici				
Tecnologie per il recupero termico	Range di temperatura del calore di scarto [es. 60°C-90°]	Range di potenza installate [es. 1kWe-1MWe]	Efficienza	Ingombro Specifico [m ² /kW _{rec}]
Organic Rankine Cycle			(es. η_{globale})	
Pompe di Calore			(Es. COP)	
Frigoriferi ad Assorbimento			(Es. COP)	
Scambiatori di Calore				

			(ε scambio termico)	
Conversione piezoelettrica				
Sistemi elettrochimici				
Generatori termoelettrici				
Pompe di calore termoacustiche				
Pompe di calore ad assorbimento				
Altro: _____ _____				
Altro: _____ _____				

Note per la compilazione della tabella: viste le diverse unità di misura utilizzabili (es. kW_e, kW_t, ...) riportare sempre l'unità di misura in tabella. Se si è in possesso di informazioni più dettagliate e possibile inserirle di seguito.

Parametri Economici

Tecnologie per il recupero termico	Costo specifico [es. €/kWt]	Costi di gestione e manutenzione [es. €/kWh]	Tempi di ritorno dell'investimento tipici (es.4 anni)	Vita utile
Organic Rankine Cycle				
Pompe di Calore				
Frigoriferi ad Assorbimento				
Scambiatori di Calore				
Conversione piezoelettrica				
Sistemi elettrochimici				
Generatori termoelettrici				
Pompe di calore termoacustiche				
Pompe di calore ad assorbimento				
Altro: _____ _____				
Altro: _____ _____				

Note per la compilazione della tabella: viste le diverse unità di misura utilizzabili (es. kW_e, kW_t, ...) riportare sempre l'unità di misura in tabella. Se si è in possesso di informazioni più dettagliate e possibile inserirle di seguito.

- Altre informazioni di dettaglio (es. costi specifici al variare della potenza, per quanto riguarda gli scambiatori il range delle superfici in rapporto al tipo di tecnologia ed i coefficienti di scambio termico, ecc...)

13. Avete dei casi di studio esemplificativi sui quali potete fornirci informazioni? Sì No

Se sì, compilare la seguente tabella:

Informazioni		Caso 1 (esempio)	Caso 1	Caso 2
Informazioni generali	Riferimento Geografico	Danimarca		
	Settore	Alimentare (Produzione di latte e derivati)		
	Anno Implementazione	2012		
Produzione del calore di scarto	Processo che genera calore	Raffreddamento Acqua		
	Vettore	Acqua		
	Quantità (potenza o energia prodotta)	-		
	Stagionalità produzione	-		
	Temperatura	45 °C		
	Portata	40 m ³ /h		
Processo di recupero	Disponibilità (ore)	-		
	Tecnologia di recupero impiegata	Pompa di calore ibrida a due stadi		
	Maturità tecnologia	Tecnologia consolidata		
	Vettore di scambio	NH ₃ -H ₂ O		
Utilizzo del calore di scarto	Quantità vettore di scambio	-		
	Processo che riceve calore	Preriscaldamento aria per produzione di latte in polvere		
	Interno/esterno	Interno		
	Impiego calore di scarto	Produzione Energia Termica		
	Quantità (potenza o energia prodotta)	1,25 MW		
Altro	Stagionalità utilizzo	-		
	Temperatura di utilizzo	80°C		
	Principali barriere	-		
	Soluzioni identificate	-		
	Investimento	-		
Altro	Risparmio energia primaria	7.2 GWh/anno		
	Tempo di ritorno dell'investimento	2.3 anni (1.5 con incentivi)		

	Altro (informazioni più dettagliate sulla tecnologia impiegata, altre informazioni economiche, ecc...)	<ul style="list-style-type: none"> • COP=4.6; • Emissioni di CO₂ evitate= 1400 t/anno 		
--	--	--	--	--

3.1.2 Utilizzo delle informazioni ottenute durante le interviste per la validazione/integrazione del database di casi di studio

Ai fini della validazione/integrazione dei risultati delle attività ENEA sono state utilizzate principalmente le informazioni fornite in risposta alle domande 10 e 13 del questionario riportato al paragrafo 3.1.1. L'analisi delle altre informazioni, così come la descrizione delle aziende intervistate e dei loro prodotti è demandata al report di Tor Vergata relativo alla LA3.22.

Le risposte alla domanda 10 sulle barriere all'adozione delle tecnologie da parte dei clienti delle aziende intervistate e sui principali parametri che influenzano la scelta di quale soluzione adottare hanno consentito di formulare le seguenti considerazioni di carattere generale:

1. Le barriere di carattere informativo/conoscitivo rimangono tra le più importanti per l'adozione di tecnologie per il recupero di calore da parte delle aziende di produzione: tecnologie come il fotovoltaico sono molto più conosciute e diffuse in ambito industriale, anche se la situazione è in leggero miglioramento grazie all'aumento di personale specializzato in materia energetica (energy team). Inoltre, permane in molti casi la percezione dell'efficienza energetica come un aspetto secondario e lontano dal core business aziendale;
2. Un'ulteriore, importante barriera è la frammentazione della filiera di produzione di queste tecnologie: i clienti sempre più cercano soluzioni "chiavi in mano", per le quali è necessario il coordinamento di produttori di vari componenti, installatori, etc. In questa ottica diventa fondamentale il ruolo di coordinamento che possono svolgere, ad esempio, le Energy Service Companies (ESCO);
3. Altro ruolo importante delle ESCO per facilitare l'adozione di tecnologie di recupero è quello di ridurre l'impatto dell'alto investimento iniziale richiesto in molti casi da tali tecnologie, attraverso ad esempio un più semplice accesso a incentivi o contratti EPC. Il frammentario framework europeo per quanto riguarda gli incentivi viene percepito come un'importante barriera dalle aziende che operano su scala internazionale, così come la mancata possibilità di rendere eleggibile il recupero di calore per la generazione di energia elettrica all'interno del meccanismo ETS (Emission Trading System), e l'assenza di una tariffa dedicata per l'energia elettrica necessaria ad alimentare le pompe di calore;
4. Altra barriera fondamentale è quella relativa alla complessa individuazione di flussi di calore di scarto con le giuste caratteristiche per l'implementazione di determinate tecnologie: temperatura, disponibilità (in termini di quantità ma anche in termini di tempo), possibile accoppiamento con potenziali utenze. Per le sorgenti ad alta temperatura di settori come vetro e cemento l'individuazione e caratterizzazione è più standardizzata e quindi più semplice. Le misure di efficientamento dei sistemi termici rimangono comunque di più difficile progettazione, gestione e monitoraggio rispetto a quelle di sistemi elettrici;
5. Infine, una barriera fondamentale da considerare è il potenziale impatto dell'installazione di queste tecnologie sullo stabilimento e sul processo produttivo, soprattutto relativamente agli ingombri, alla complicazione impiantistica e all'impiantistica di collegamento/ausiliaria.

Per quanto riguarda le considerazioni 1-4 esse sono sostanzialmente in linea con i presupposti sui quali sono state delineate le attività di progetto, per cui si prevede che gli output di progetto potranno contribuire

all'abbattimento di tali barriere (incrementando la conoscenza di queste soluzioni e anche, attraverso le attività di confronto con le aziende, agendo da facilitatore per incrementare i contatti tra le aziende della filiera). In particolare, la considerazione 4 è alla base della creazione del database dei casi di recupero e della pre-mappatura dei processi produttivi.

Per quanto riguarda la considerazione 5, invece, la barriera individuata attiene più all'area di sviluppo tecnologico che a quella gestionale, per cui esula in parte dagli obiettivi del progetto. Tuttavia, si terrà questa considerazione presente per andare ad indagare nella prossima annualità eventuali avanzamenti tecnologici in tal senso.

Inoltre, tutte le aziende intervistate hanno confermato l'interesse nei settori individuati per approfondire le analisi nell'ambito del progetto (caseario, prodotti da forno, tessile).

Infine, con l'aiuto delle aziende intervistate, sono state individuate alcune applicazioni sul campo delle tecnologie da loro prodotte e commercializzate, con l'obiettivo di analizzarle attraverso gli strumenti prodotti dal progetto. In particolare, in questo caso tre applicazioni sul campo delle diverse tecnologie trattate sono state analizzate attraverso i parametri definiti per la creazione del database dei casi di studio, come evidenziato in Tabella 102. Sono state discusse anche alcune tecnologie più di frontiera e maggiormente innovative, come approfondito nel report dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, per le quali nella successiva annualità si effettuerà il tentativo di andare a studiare alcune applicazioni, se disponibili; in questa fase è stato sottolineato da diverse aziende che ovviamente il grado di innovatività delle tecnologie considerate è inversamente proporzionale al numero di applicazioni disponibili.

Tabella 102: Applicazioni sul campo di tecnologie di recupero di calore descritte attraverso i parametri del database ENEA di casi di recupero di calore

Informazioni		Caso 1 (ROBUR SPA)	Caso 2 (ZUCCATO ENERGIA SRL)	Caso 3 (ZUCCATO ENERGIA SRL)	Caso 4 (TURBODEN)	Caso 5 (TURBODEN)
Informazioni generali	Riferimento Geografico	Germania	Italia	Italia	Italia	Slovacchia
	Settore	Panificazione	Vetreteria	Laminatoio	Acciaieria	Cementificio
	Anno Implementazione	2016/2018	2020	2020	2020	2015
Produzione del calore di scarto	Processo che genera calore	Forno di cottura del pane	Fumi di scarico forni	Fumi di scarico forni	Forno fusorio	Forno produzione e clinker cooler
	Vettore	Olio diatermico	Fumi	Fumi	Acqua	Olio diatermico
	Quantità (potenza o energia prodotta)	-	1500 kWt	3500 kWt	5 MWt	5MWe
	Stagionalità produzione	Tutto l'anno	-	-	-	-
	Temperatura	210°C	450°C	300°C	75°C	-
	Portata	-	14000 Nm ³ /h	70000 Nm ³ /h	1000 m ³ /h	-

	Disponibilità (ore)	24h	8000 ore/anno	6500 ore/anno	-	-
Processo di recupero	Tecnologia di recupero impiegata	Refrigeratore ad assorbimento a fiamma indiretta	Organic Rankine <u>Cycle</u>	Organic Rankine <u>Cycle</u>	Pompa di calore	Organic Rankine <u>Cycle</u>
	Maturità tecnologia	Tecnologia consolidata	Tecnologia consolidata	Tecnologia consolidata	Tecnologia non consolidata	Tecnologia consolidata
	Vettore di scambio	Olio diatermico	Acqua	Acqua	Fluido refrigerante	Ciclopentano
	Quantità vettore di scambio	17000 kg/h	23,17 kg/s	54,03 kg/s	-	-
Utilizzo del calore di scarto	Processo che riceve calore	Alimenti in lievitazione o usciti dal forno	Riscaldamento acqua per alimentare il modulo ORC	Riscaldamento acqua per alimentare il modulo ORC	Rete di teleriscaldamento	-
	Interno/esterno	Interno	Esterno	Esterno	Esterno	-
	Impiego calore di scarto	Produzione energia frigorifera per raffreddamento alimenti	Produzione energia elettrica	Produzione energia elettrica	Produzione energia termica	-
	Quantità (potenza o energia prodotta)	85 kW frigo	200 <u>kWe</u>	561 <u>kWe</u>	5,8 MW	-
	Stagionalità utilizzo	Annua	-	-	Invernale	-
	Temperatura di utilizzo	10°C	160°C	160°C	95-125°C	-
Altro	Principali barriere	-	-	-	-	-
	Soluzioni identificate	-	-	-	-	-
	Investimento	-	720000 Euro	1442961 Euro	-	-
	Risparmio energia primaria	-	1470 MWh/anno	3132 MWh/anno	14 GWh/anno	37,5 GWh/anno
	Tempo di ritorno dell'investimento	3 anni	4,6 anni (con incentivi 3,2 anni)	6,03 anni (con incentivi 3,74 anni)	7 anni (con incentivi 4-5)	5,5 anni
	Altro (informazioni più dettagliate sulla tecnologia impiegata, altre	<u>GUEc=0,7 (Gas Utilization Efficiency)</u>	CO2= 564 ton/anno lordo	CO2= 1582 ton/anno lordo	COP=8,5	

	informazioni economiche, ecc...)					
--	----------------------------------	--	--	--	--	--

3.2 Incontri con le aziende di produzione e individuazione possibili casi di studio

Al fine di organizzare incontri con le aziende di produzione potenziali utilizzatori finali degli output di progetto, e quindi ottenere dei primi riscontri e informazioni aggiuntive principalmente in relazione agli strumenti sviluppati da ENEA, si è proceduto ad una prima fase di reclutamento di potenziali aziende interessate.

Durante questa fase, di concerto con le Università de L'Aquila e di Udine, ENEA e l'Università di Roma Tor Vergata hanno collaborato per la creazione di un flyer di presentazione del progetto in generale e delle attività oggetto del presente capitolo in particolare (si veda a riguardo la Figura 139). Il flyer è stato quindi utilizzato per contattare aziende di diversi settori produttivi (per lo più dei settori identificati come rilevanti nelle precedenti attività di progetto) per proporre loro brevi incontri/interviste con i partner di progetto.

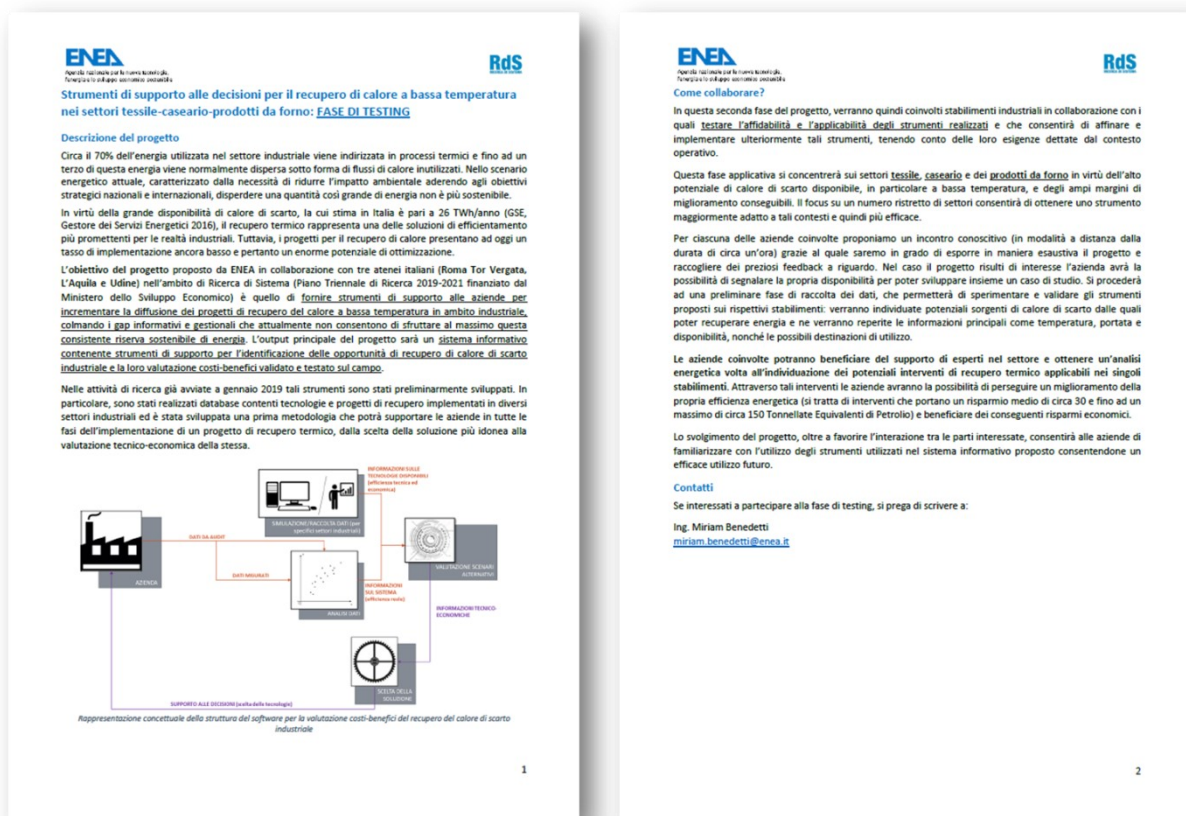


Figura 139: Flyer di presentazione del progetto alle aziende di produzione

Sempre di concerto con le Università cobeneficiarie, è stata quindi stilata una prima lista condivisa delle aziende da contattare (circa venti aziende in tutto), principalmente sulla base di contatti esistenti con i diversi partner di progetto. ENEA si è occupata in questa fase del primo contatto con tutte le aziende individuate, principalmente a mezzo e-mail.

Le interazioni con ciascuna delle aziende che hanno risposto positivamente al primo contatto si sono svolte in diverse modalità (da remoto, in presenza, in un solo evento o in più eventi) a seconda delle specifiche esigenze del caso. Pertanto, in questo paragrafo non si riporta un calendario degli incontri come quello di Tabella 101, ma una più descrittiva relazione delle singole interazioni.

Si specifica che, per quanto riguarda le aziende di produzione, e in relazione alle informazioni raccolte durante gli incontri, si riscontra una maggiore rilevanza delle questioni legate alla sensibilità e riservatezza di dati e informazioni ricevuti. Per questo motivo tali dati e informazioni sono qui riportati solo parzialmente e sempre in forma anonima.

3.2.1 Grande azienda del settore caseario (1)

L'interazione con l'azienda in questo caso è avvenuta principalmente tramite due diversi incontri a seguito del primo contatto: un incontro online (18 dicembre 2020) e un sopralluogo in presenza (21 gennaio 2021, presso lo stabilimento di Roma dell'azienda).

Nel corso del primo incontro online, a cui hanno partecipato due ricercatrici ENEA, un'assegnista di ricerca e un professore associato dell'Università di Roma Tor Vergata, il direttore di stabilimento e il responsabile dell'area tecnica dell'azienda contattata, è stato presentato il progetto di ricerca e specificato lo scopo del contatto e della richiesta di informazioni. I rappresentanti dell'azienda contattata hanno invece provveduto a presentare l'azienda e lo stabilimento di riferimento in termini di grandezza, principali prodotti e processi produttivi, principali sistemi ausiliari, struttura energetica di stabilimento, principali fasi di processo che presentano richieste di energia termica.

Al termine del primo incontro si è concordato un successivo incontro in presenza, con sopralluogo nello stabilimento considerato.

Durante questo secondo incontro, a cui hanno partecipato due ricercatrici ENEA, un dottorando, un'assegnista di ricerca e un professore associato dell'Università di Roma Tor Vergata, il responsabile dell'area tecnica e due collaboratori dell'area tecnica dell'azienda contattata, si è invece proceduto ad una dettagliata analisi delle mappe preparate da ENEA dei due processi produttivi presenti all'interno dello stabilimento (latte fresco pastorizzato e panna fresca pastorizzata). I rappresentanti dell'azienda sono stati guidati dal team di progetto nella verifica della corrispondenza delle informazioni riportate sulle mappe alla realtà dello stabilimento. Inoltre, sono stati presentati i casi di studio inseriti nel database inerenti agli stessi processi produttivi: 3 casi da letteratura (ID casi: 30, 45, 53) e 9 casi da diagnosi (ID casi: 177, 180, 181, 184, 187, 195, 199, 200, 204). In entrambi i casi, il feedback dell'azienda è stato positivo, registrando una notevole corrispondenza con i propri processi, flussi di calore e relativi parametri, interventi di recupero effettuati o comunque considerati o ancora ritenuti possibili.

Sempre durante questo secondo incontro, è stata proposta all'azienda la possibilità di fornire i dati per uno dei test cases della terza annualità di progetto. In ogni caso, sono state raccolte alcune informazioni preliminari relative ai processi produttivi, ai consumi energetici, ai flussi di calore e agli interventi di recupero realizzati, di seguito riportate in maniera sintetica sempre nel rispetto della riservatezza dei dati aziendali.

Lo stabilimento lavora su 3 turni al giorno per 7 giorni a settimana, per un totale di 8760 ore all'anno. I prodotti principali che vengono realizzati sono latte fresco, latte fresco microfiltrato e panna fresca.

Il processo produttivo si svolge attraverso le seguenti fasi principali:

- Accettazione e stoccaggio materie prime ed ingredienti;
- Preparazione;
- Trattamento termico di pastorizzazione e microfiltrazione;
- Confezionamento primario (riempimento bottiglie PET e contenitori in cartone-poliaccoppiato);

- Confezionamento secondario e pallettizzazione;
- Stoccaggio prodotto finito nell'area dedicata del magazzino.

Le diverse fasi hanno bisogno dei seguenti vettori energetici:

- Accettazione e stoccaggio materie prime ed ingredienti: energia elettrica, vapore, aria compressa
- Preparazione: energia elettrica, vapore, aria compressa
- Trattamento termico di pastorizzazione e microfiltrazione: energia elettrica, vapore, aria compressa
- Confezionamento: energia elettrica, aria compressa
- Confezionamento secondario e pallettizzazione: energia elettrica, aria compressa
- Stoccaggio prodotto finito nell'area dedicata del magazzino: energia elettrica, aria compressa.

Il latte crudo viene sottoposto a trattamenti termici di pastorizzazione (75°C per 15 secondi) o di alto-pastorizzazione (120 °C per 3 secondi) e, nel caso del microfiltrato, a microfiltrazione (trattamento meccanico di filtrazione dei batteri che precede la pastorizzazione).

In ogni impianto di trattamento termico è presente una scrematrice centrifuga che, insieme ad un sistema di titolazione automatico, consente di separare la panna in eccesso e quindi di standardizzare il prodotto finito. Attraverso un impianto di osmosi inversa vengono trattate le miscele di latte ed acqua che si generano durante le fasi di "priming" degli impianti e quelle di "flushing": l'acqua viene separata dal latte e il semilavorato così ottenuto viene ceduto ad altri stabilimenti del Gruppo (o ad altri clienti) per produzioni casearie o di yogurt.

Giornalmente vengono eseguiti circa 102 CIP (Clean In Place) più 45-50 sanificazioni termiche con acqua calda.

I prodotti finiti Freschissimi (latte pastorizzato e microfiltrato) e Freschi (yogurt, dessert, etc.) vengono poi, una volta confezionati, stoccati nelle celle refrigerate a temperatura minore o uguale a 4°C. Le zone di spedizione sono mantenute a temperatura minore di 8°.

Durante il 2019 è stata avviata (ed è ora conclusa) la costruzione di un trigeneratore con motore a combustione interna di potenza utile pari a 1,2 MWe. Il vapore prodotto dalla caldaia a recupero è collegato al collettore esistente e poi distribuito alle utenze di stabilimento. Il calore delle camicie è distribuito all'interno dello stabilimento a CIP e pastorizzatori. L'eccesso di calore (sotto forma di acqua calda) è valorizzato attraverso l'assorbitore monostadio e inviato a utenze di processo e raffreddamento ambientale. Maggiori informazioni sull'impianto di trigenerazione e sull'utilizzo del vettore caldo e freddo prodotti si trovano nel report di Tor Vergata relativo alla LA3.22.

L'azienda ha implementato nel corso degli ultimi anni molti interventi sul recupero di calore dei flussi di scarto coinvolti nel processo produttivo. In particolare:

- Recupero e reintegro in alimento alle caldaie di circa l'80% delle condense di vapore. Il recupero dalle condense viene effettuato praticamente ovunque sempre con scambiatori per evitare il contatto tra i fluidi (il restante 20% si perde per flussaggi, per garantire la sterilizzazione e per spurghi: dagli spurghi si potrebbe recuperare acqua calda ma va considerato il problema della legionella). Oltre che attraverso le condense l'acqua di alimento delle caldaie viene preriscaldata, sempre tramite scambiatori, anche riutilizzando il calore proveniente dallo spurgo continuo e dallo scarico di fondo temporizzato dei generatori;
- Dal recupero delle condense viene anche prodotta acqua calda sanitaria per i servizi di stabilimento;
- Dotazione di tutti i pastorizzatori a recupero termico (per la panna con acqua, altrimenti latte su latte) per il CIP;
- Recupero di calore dalle soluzioni di lavaggio (a cui viene aggiunta soda in rapporto al livello di conducibilità misurato), che essendo ancora calde, cedono calore alla soluzione "fresca". L'acqua di

lavaggio veniva tutta recuperata con scambiatori a piastre sui ritorni prima del cogeneratore. Adesso accade solo per linee con serbatoi troppo sensibili che rischiano danni strutturali (bassi e larghi). Per la rigenerazione dell'acqua di lavaggio viene verificata anche la conducibilità;

- Per lo sbrinamento delle celle frigo si è riusciti a recuperare 9 mc/h di acqua rendendo il circuito chiuso. Per evitare che si abbassasse troppo la temperatura dell'acqua di sbrinamento, si è realizzato uno scambio con acqua di torre dal raffreddamento dei compressori frigoriferi;
- Per quanto riguarda l'impianto di osmosi inversa, il recupero avviene dal latte (il latte nell'osmosi inversa è quello che rimane in macchina nella fase di cambio tipologia di latte e lavaggio).

Per ciascuno degli interventi sopra descritti l'azienda ha fornito dettagli tecnici ed economici (inclusi schemi d'impianto e stime dei risparmi energetici) che non sono qui riportati per motivi di riservatezza, ma che potranno essere utilizzati nella successiva annualità (come previsto da capitolato) per testare gli strumenti di valutazione delle opportunità di recupero di calore realizzati da ENEA.

Nel corso del sopralluogo sono stati anche individuati alcuni flussi di calore di scarto attualmente non recuperati dall'azienda, dettagliati nel report di Tor Vergata relativo alla LA3.22.

3.2.2 Grande azienda del settore telecomunicazioni

L'interazione con l'azienda in questo caso è avvenuta tramite un sopralluogo presso uno degli stabilimenti di Roma (8 settembre 2020). L'azienda non appartiene ad uno dei settori oggetto di studio della presente annualità, ma proprio per questo motivo il suo contributo è stato considerato fondamentale per provare a testare i database sviluppati e la loro efficacia nel caso di utenti fuori dal contesto dei settori maggiormente approfonditi nel corso delle attività di progetto.

Nel corso del sopralluogo, al quale hanno partecipato due ricercatori ENEA, l'energy manager, un ingegnere e un tecnico dell'azienda, è stato presentato il progetto di ricerca e specificato lo scopo del contatto e della richiesta di informazioni. I rappresentanti dell'azienda contattata hanno invece provveduto a presentare l'azienda e lo stabilimento di riferimento in termini di grandezza, principali processi produttivi, principali sistemi ausiliari, struttura energetica di stabilimento, principali fasi di processo che presentano scarichi significativi di energia termica; sono stati inoltre presentati interventi di recupero di calore già realizzati o investigati e le principali criticità dei flussi di calore di scarto presenti ma non ancora recuperati (e le relative barriere all'implementazione degli interventi di recupero). I ricercatori ENEA hanno presentato i casi di studio inseriti nel database inerenti a flussi di calore di scarto caratterizzati da vettori, temperature e parametri fisici simili a quelli a disposizione dell'azienda: 3 casi con vettore "aria" e processo di produzione del calore legato alla climatizzazione (ID casi: 34, 40, 108) e 3 casi con vettore "aria" e temperatura inferiore ai 50 °C (ID casi: 43, 80, 111). Il feedback dell'azienda su queste prime informazioni ricevute è stato positivo, ed hanno chiesto di proseguire in uno studio che potesse portare ad individuare e valutare ulteriori possibilità di recupero di calore (anche per rendere gli strumenti sviluppati maggiormente utili al loro settore produttivo).

Sempre durante questo incontro, è stata proposta all'azienda la possibilità di fornire i dati per uno dei test cases della terza annualità di progetto. La proposta è stata accolta positivamente ma ad oggi in attesa di approvazione da parte della direzione. In ogni caso, sono state raccolte alcune informazioni preliminari relative ai processi produttivi, ai consumi energetici, ai flussi di calore e agli interventi di recupero realizzati. Visto lo stato pendente della richiesta non si riportano, per motivi di riservatezza, ulteriori dettagli relativamente ai dati preliminarmente raccolti.

3.2.3 Grande azienda del settore caseario (2)

Per quanto riguarda questa azienda l'interazione, date anche le complicazioni introdotte dall'emergenza sanitaria, è stata ridotta al minimo, ma grazie al notevole dettaglio descrittivo della diagnosi energetica

realizzata nel 2019 è stato possibile reperire informazioni preziose relative principalmente ad una rete di scambiatori (di cui raramente si riescono a reperire dati di dettaglio di applicazioni reali).

Il prodotto principale realizzato nello stabilimento oggetto della diagnosi è un formaggio stagionato, a cui si aggiungono panna di affioramento e siero come derivati e sottoprodotti.

Il sito acquista dalla rete gas naturale ed energia elettrica, con un consumo medio mensile di circa 100.000 kWh elettrici e un prelievo medio mensile di gas di circa 30.000 Sm³ nei mesi invernali e 15.000 Sm³ nei mesi estivi.

Le fasi principali del processo produttivo sono le seguenti:

- Ricevimento del latte;
- Riattivazione;
- Affioramento della panna e relativa pastorizzazione;
- Pre-riscaldamento e cottura del latte;
- Formatura;
- Salatura, asciugatura e stagionatura.

Gli impianti principali di stabilimento sono un impianto termico composto da due caldaie da 2 MW (una in riserva dell'altra), per la produzione di vapore saturo, e una centrale frigorifera composta da un unico gruppo frigo, per la produzione di acqua glicolata.

Nella diagnosi vengono riportate secondo lo schema seguente (Figura 140) le informazioni di dettaglio relativamente ai flussi di prodotto e ai vettori energetici in entrata e uscita da 3 scambiatori per la fase di attivazione nel processo di produzione del formaggio, 1 scambiatore che rappresenta il preriscaldamento del fluido in ingresso in caldaia, 3 scambiatori relativi alla fase di trattamento del siero, 6 scambiatori impiegati nel processo produttivo della panna, a formare una rete composta complessivamente da 13 scambiatori. Tali informazioni non sono qui dettagliate per motivi legati alla riservatezza dei dati, ma potranno essere opportunamente trattate ed utilizzate nella seguente annualità di progetto per testare il modulo di software relativo all'ottimizzazione della rete di scambiatori prodotto dall'Università de L'Aquila.

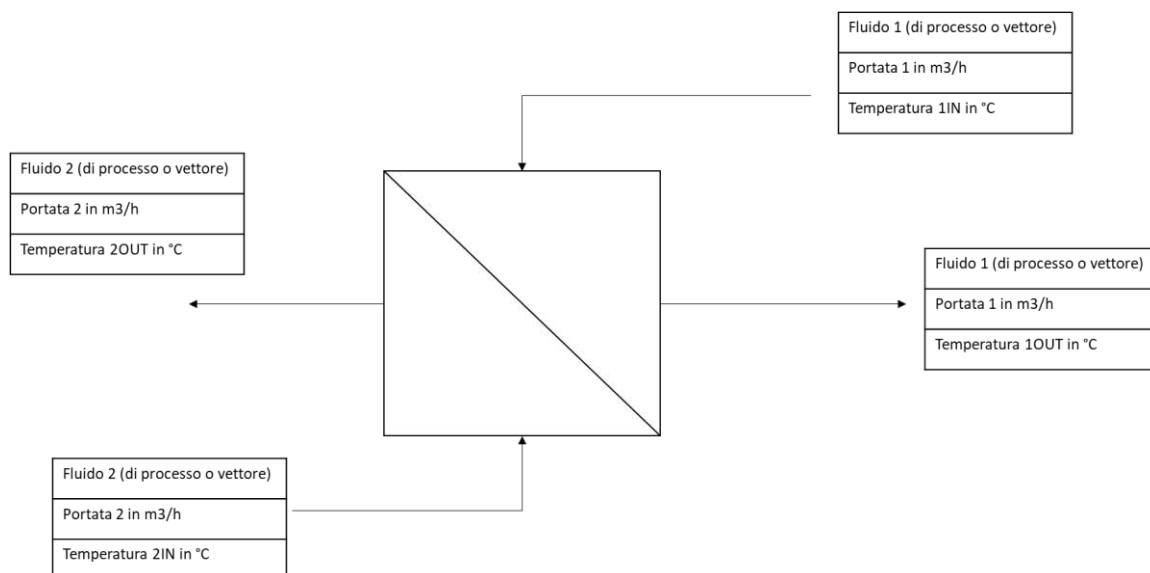


Figura 140: Schema di raccolta dati relativi agli scambiatori di calore

4 Attività di disseminazione dei risultati parziali di progetto

Nel corso dell'annualità 2020 il gruppo di ricerca in collaborazione con gli altri cobeneficiari del progetto è stato impegnato in attività di disseminazione scientifica. Di seguito vengono riassunte brevemente le principali attività condotte:

- Predisposizione dell'articolo per conferenza: Daniele Dadi (TOR VERGATA), Vito Introna (TOR VERGATA), Vittorio Cesarotti (TOR VERGATA), Miriam Benedetti (ENEA), "Design and development of a database to identify and evaluate waste heat recovery opportunities", Proceedings of the XXV Summer School "Francesco Turco" - Industrial Systems Engineering;
- Predisposizione dell'articolo per conferenza: Miriam Benedetti (ENEA), Daniele Dadi (TOR VERGATA), Vito Introna (TOR VERGATA), Annalisa Santolamazza (TOR VERGATA), "Proposal of a methodology for the preliminary assessment of low temperature heat recovery opportunities for industrial applications", Proceedings of the 12th International Conference on Applied Energy, December 1-10 2020, Bangkok/virtual;
- Predisposizione dell'articolo per newsletter: Miriam Benedetti (ENEA), Lorena Giordano (ENEA), "Valore dal calore | Efficienza energetica negli impianti industriali", <https://safeonline.it/news/valore-dal-calore-efficienza-energetica-negli-impianti-industriali/>;
- Predisposizione dell'articolo per rivista: Miriam Benedetti (ENEA), Lorena Giordano (ENEA), Alessandra Gugliandolo (ENEA), "Soluzioni per il recupero del calore a bassa temperatura nell'industria", <https://www.eai.enea.it/la-rivista/efficienza-energetica-avanti-tutta/soluzioni-per-il-recupero-del-calore-a-bassa-temperatura-nell-industria.html>;
- Presentazione del progetto nell'ambito del corso di aggiornamento in efficienza energetica in ambito industriale organizzato da SAFE per operatori e professionisti del settore energia in data 12/06/2020 e 03/07/2020 (relatrice Miriam Benedetti (ENEA), intervento dal titolo "Tecnologie e gestione efficiente degli impianti, la ricerca e l'innovazione: soluzioni per migliorare l'efficienza energetica in ambito industriale").

5 Conclusioni

Per quanto riguarda la presente linea di attività, l'obiettivo principale è stato quello di ottenere una panoramica sull'uso del calore di scarto e sugli interventi di recupero effettuati o comunque individuati dalle aziende italiane, e in particolare dalle aziende appartenenti ai tre settori individuati come maggiormente interessanti ai fini del presente progetto: caseario, tessile e prodotti da forno. Questo ha permesso da un lato di arricchire il software (prodotto finale del progetto) con informazioni di maggiore dettaglio per questi tre settori e dall'altro di perfezionare gli strumenti già realizzati nella prima annualità di progetto sulla base di dati di letteratura (database di casi di recupero di calore e mappe di processo). Inoltre, l'attività ha consentito anche di sviluppare, in via preliminare, la metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero di calore che, come previsto dal capitolato, verrà perfezionata nel corso dell'ultima annualità.

L'attività condotta nel corso della prima annualità ha quindi più in concreto riguardato:

- la definizione e applicazione ai tre settori selezionati di una metodologia di analisi dei dati delle diagnosi di grandi aziende e aziende energivore pervenute a ENEA ai sensi del D.Lgs. 102/2014;
- l'utilizzo dei dati delle diagnosi per l'arricchimento del database di casi di recupero di calore;
- l'utilizzo dei dati delle diagnosi per il perfezionamento delle mappe di processo;
- lo sviluppo della metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero di calore;
- organizzazione di incontri con le aziende fornitrici di tecnologie di recupero di calore operanti nel mercato italiano;
- l'organizzazione di incontri con le aziende di produzione potenzialmente interessate ai risultati di progetto operanti nel mercato italiano;
- l'attività di diffusione dei risultati parziali di progetto.

L'analisi dei dati delle diagnosi energetiche ha consentito di arricchire notevolmente il database dei casi di studio sviluppato da ENEA, grazie all'integrazione dei dati relativi a 120 interventi di recupero di calore

individuati nell'ambito delle diagnosi energetiche e di acquisire preziose informazioni relativamente alla capacità delle aziende appartenenti ai tre settori considerati di identificare ed implementare interventi di recupero di calore a bassa e bassissima temperatura. Inoltre, è stato possibile perfezionare la mappatura dei processi produttivi dei settori indagati, per quanto riguarda la definizione delle fasi di processo e l'identificazione e caratterizzazione di sorgenti e pozzi di calore. Tale fase di lavoro ha richiesto un notevole effort data la caoticità del set di dati iniziale.

Lo sviluppo della metodologia di valutazione e confronto delle opzioni di recupero di calore ha portato alla definizione di un insieme di indicatori delle prestazioni energetiche, economiche ed ambientali, da utilizzare per la valutazione e la classificazione delle soluzioni di recupero individuate sulla base delle sorgenti di calore disponibili. La metodologia è stata inoltre implementata in uno strumento basato su fogli di calcolo che, opportunamente sviluppato e integrato con gli altri moduli preparati dai cobeneficiari, fornirà alle aziende uno strumento semplice ed efficace per poter identificare le opzioni di recupero di calore più opportune in rapporto ai loro fabbisogni.

Infine, il confronto con le aziende, che ha comportato qualche difficoltà organizzativa legata alla pandemia in corso, ha consentito tuttavia di confermare preliminarmente l'efficacia e l'usabilità degli strumenti già sviluppati da ENEA (database e mappe) e di raccogliere informazioni e dati che potranno essere utilizzati per la validazione finale dei prodotti del progetto.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri della presente annualità, si rimanda all'annualità seguente, in cui tutti gli strumenti qui sviluppati verranno perfezionati in modo da aumentarne l'usabilità da parte dell'utente finale e integrati in un unico software, e testati in un caso reale; continuerà inoltre l'attività di confronto con le aziende facenti parte del mercato italiano e tale attività sarà inoltre allargata al contesto europeo e ai gruppi di ricerca e sviluppo per approfondire gli aspetti legati alle tecnologie più innovative.

Nella seguente annualità si prevede inoltre un notevole impegno nel raccordo delle attività di ENEA e dei cobeneficiari volto alla realizzazione di un unico strumento software che raccolga tutti i moduli sviluppati nell'ambito del progetto.

6 Riferimenti bibliografici

- [1] M. Benedetti, I. Bertini, L. Giordano, P.E. Lapenna, Creazione di una base di conoscenze relativa alla generazione, distribuzione e utilizzo del calore a bassa temperatura negli stabilimenti industriali, Report RdS/PTR2019/070, (2019).
- [2] EU-MERCI, (n.d.). <http://www.eumerci-portal.eu/web/guest/home> (accessed May 28, 2021).
- [3] IAC: Industrial Assessment Centers, (n.d.). <https://iac.university/> (accessed May 28, 2021).
- [4] Gestore dei Servizi Energetici (GSE), Valutazione del potenziale nazionale e regionale di applicazione della cogenerazione ad alto rendimento e del teleriscaldamento efficiente, (2016). https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/it_potenziale_car_tlr_nazionale_e_regionale_dic_2016.pdf.
- [5] U.S. Department of Energy, Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry, (2008). https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf.
- [6] J. Ling-Chin, H. Bao, Z. Ma, W.T. and A.P. Roskilly, State-of-the-Art Technologies on Low-Grade Heat Recovery and Utilization in Industry, IntechOpen, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78701>.
- [7] US Department of Energy (DOE), Quadrennial Technology Review 2015 - Waste Heat Recovery Systems. Chapter 6: Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing, (2015). <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/02/f30/QTR2015-6M-Waste-Heat-Recovery.pdf>.
- [8] M. Benedetti, V. Introna, A. Facci, S. Ubertini, Efficienza energetica dei Sistemi Aria Compressa: metodologia di benchmarking delle prestazioni e strumento di supporto alle decisioni per l'efficientamento energetico, Report RdS/PAR2015/061, (2016). https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/processi-e-macchinari-industriali/rds_par2015-061.pdf.

- [9] Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) - Dipartimento Unità Efficienza Energetica, Diagnosi Energetiche art 8 del D.Lgs. 102/2014 Linee Guida e Manuale Operativo Clusterizzazione, il rapporto di diagnosi ed il piano di monitoraggio, (2019). <https://www.energiaenergetica.enea.it/component/jdownloads/send/41-diagnosi-energetiche/%20170-diagnosi-energetiche-art-8-del-d-lgs-102-2014-linee-guida-e-manuale-operativo-clusterizzazione-il-rapporto-di-diagnosi-ed-il-piano-di-monitoraggio.html>.
- [10] Autorità per l'energia elettrica e il gas, Delibera EEN 3/08 - Aggiornamento del fattore di conversione dei kWh in tonnellate equivalenti di petrolio connesso al meccanismo dei titoli di efficienza energetica, (2008). <https://www.arera.it/it/docs/08/003-08een.htm> (accessed February 3, 2021).
- [11] Classificazione delle attività economiche ATECO, (2020). <http://www.codiciateco.it>.
- [12] Decreto legislativo 4 luglio 2014, n°102 "Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE," (2014). <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/07/18/14G00113/sg>.
- [13] F. Bühler, S. Petrović, T. Ommen, F. Holm, H. Pieper, B. Elmegaard, Identification and Evaluation of Cases for Excess Heat Utilisation Using GIS, *Energies*. 11 (2018) 762. <https://doi.org/10.3390/en11040762>.
- [14] F. Bühler, S. Petrović, F.M. Holm, K. Karlsson, B. Elmegaard, Spatiotemporal and economic analysis of industrial excess heat as a resource for district heating, *Energy*. 151 (2018) 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.059>.
- [15] H. Li, Q. Chen, X. Zhang, K.N. Finney, V.N. Sharifi, J. Swithenbank, Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study, *Appl. Therm. Eng.* 35 (2012) 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.10.009>.
- [16] G. Kosmadakis, C. Arpagaus, P. Neofytou, S. Bertsch, Techno-economic analysis of high-temperature heat pumps with low-global warming potential refrigerants for upgrading waste heat up to 150 °C, *Energy Convers. Manag.* 226 (2020) 113488. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113488>.
- [17] S. Brückner, S. Liu, L. Miró, M. Radspieler, L.F. Cabeza, E. Lävemann, Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies, *Appl. Energy*. 151 (2015) 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.147>.
- [18] C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, P. Dolado, A. Lazaro, J. Gasia, A. de Gracia, L. Miró, L.F. Cabeza, A. König-Haagen, D. Brüggemann, Á. Campos-Celador, E. Franquet, B. Fumey, M. Dannemand, T. Badenhop, J. Diriken, J.E. Nielsen, A. Hauer, IEA SHC Task 42 / ECES Annex 29 – A Simple Tool for the Economic Evaluation of Thermal Energy Storages, *Energy Procedia*. 91 (2016) 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.203>.
- [19] M. Araiz, Á. Casi, L. Catalán, Á. Martínez, D. Astrain, Prospects of waste-heat recovery from a real industry using thermoelectric generators: Economic and power output analysis, *Energy Convers. Manag.* 205 (2020) 112376. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112376>.
- [20] M. Wang, C. Deng, Y. Wang, X. Feng, Exergoeconomic performance comparison, selection and integration of industrial heat pumps for low grade waste heat recovery, *Energy Convers. Manag.* 207 (2020) 112532. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112532>.
- [21] G. Oluleye, M. Jobson, R. Smith, A hierarchical approach for evaluating and selecting waste heat utilization opportunities, *Energy*. 90 (2015) 5–23. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.086>.
- [22] P. Simeoni, G. Ciotti, M. Cottes, A. Meneghetti, Integrating industrial waste heat recovery into sustainable smart energy systems, *Energy*. 175 (2019) 941–951. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.104>.
- [23] P. Simeoni, G. Nardin, G. Ciotti, Planning and design of sustainable smart multi energy systems. The case of a food industrial district in Italy, *Energy*. 163 (2018) 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.125>.
- [24] CE-HEAT Project, Interreg Cent. Eur. (n.d.). <http://www.interreg-central.eu/Content.Node/CE-HEAT.html> (accessed August 31, 2020).
- [25] A. Simeone, Y. Luo, E. Woolley, S. Rahimifard, C. Boër, A decision support system for waste heat recovery in manufacturing, *CIRP Ann.* 65 (2016) 21–24. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.034>.

- [26] Y. Luo, E. Woolley, S. Rahimifard, A. Simeone, Improving energy efficiency within manufacturing by recovering waste heat energy, *J. Therm. Eng.* 1 (2015) 337. <https://doi.org/10.18186/jte.49943>.
- [27] Y. Luo, J. Andresen, H. Clarke, M. Rajendra, M. Maroto-Valer, A decision support system for waste heat recovery and energy efficiency improvement in data centres, *Appl. Energy.* 250 (2019) 1217–1224. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.029>.
- [28] IHS Markit, ESDU 92013 - Selection and costing of heat exchangers, (1994). https://www.esdu.com/cgi-bin/ps.pl?sess=unlicensed_1200831134832hmm&t=doc&p=esdu_92013b.
- [29] G.F. Hewitt, S.J. Pugh, Approximate Design and Costing Methods for Heat Exchangers, *Heat Transf. Eng.* 28 (2007) 76–86. <https://doi.org/10.1080/01457630601023229>.
- [30] N. Di Franco, Energy management. Fondamenti per la valutazione, la pianificazione e il controllo dell'efficienza energetica. Con esempi ed esercizi, Franco Angeli, 2019.
- [31] S. Qin, S. Chang, Modeling, thermodynamic and techno-economic analysis of coke production process with waste heat recovery, *Energy.* 141 (2017) 435–450. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.105>.
- [32] E. Ozturk, N.C. Cinperi, M. Kitis, Improving energy efficiency using the most appropriate techniques in an integrated woolen textile facility, *J. Clean. Prod.* 254 (2020) 120145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120145>.
- [33] Hasanbeigi, Ali, Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry, China Energy Group Energy Analysis Department Environmental Energy Technologies Division, 2010. <https://doi.org/10.2172/991751>.
- [34] E. Ozturk, H. Koseoglu, M. Karaboyaci, N.O. Yigit, U. Yetis, M. Kitis, Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill, *J. Clean. Prod.* 138 (2016) 248–263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.071>.
- [35] L. Eriksson, M. Morandin, S. Harvey, A feasibility study of improved heat recovery and excess heat export at a Swedish chemical complex site, *Int. J. Energy Res.* 42 (2018) 1580–1593. <https://doi.org/10.1002/er.3950>.
- [36] E. Woolley, Y. Luo, A. Simeone, Industrial waste heat recovery: A systematic approach, *Sustain. Energy Technol. Assess.* 29 (2018) 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.07.001>.
- [37] S. Goodarzi, E. Jahanshahi Javaran, M. Rahnama, M. Ahmadi, Techno-economic evaluation of a multi effect distillation system driven by low-temperature waste heat from exhaust flue gases, *Desalination.* 460 (2019) 64–80. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.03.005>.
- [38] D. Fiaschi, L. Talluri, Assessment of the thermoelectric conversion potential of low-temperature waste heat from textile dry-cleaning processes, *E3S Web Conf.* 113 (2019) 03019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911303019>.
- [39] Z. Varga, T. Csaba, Techno-economic evaluation of waste heat recovery by organic Rankine cycle using pure light hydrocarbons and their mixtures as working fluid in a crude oil refinery, *Energy Convers. Manag.* 174 (2018) 793–801. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.031>.
- [40] Y. Jin, N. Gao, T. Zhu, Techno-economic analysis on a new conceptual design of waste heat recovery for boiler exhaust flue gas of coal-fired power plants, *Energy Convers. Manag.* 200 (2019) 112097. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112097>.
- [41] J. Ziemele, R. Kalnins, G. Vigants, E. Vigants, I. Veidenbergs, Evaluation of the industrial waste heat potential for its recovery and integration into a fourth generation district heating system, *Energy Procedia.* 147 (2018) 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.098>.
- [42] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Tabella dei parametri standard nazionali 2020, (2020). <https://www.ets.minambiente.it/News#201-pubblicazione-parametri-standard-nazionali-anno-2020>.
- [43] Istituto Superiore per la Promozione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Fattori di emissione per la produzione e il consumo di energia elettrica in Italia (aggiornamento al 2019 e stime preliminari per il 2020), (2020). <http://www.sinanet.isprambiente.it/it>.
- [44] European Commission, A Study on Energy Efficiency in Enterprises: Energy Audits and Energy Management Systems, (2016). https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EED-Art8-Implementation-Study_Task12_Report_FINAL-approved.pdf.

- [45] D. Chiaroni, M. Chiesa, V. Chiesa, S. Franzò, F. Frattini, G. Toletti, Introducing a new perspective for the economic evaluation of industrial energy efficiency technologies: An empirical analysis in Italy, *Sustain. Energy Technol. Assess.* 15 (2016) 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.02.004>.
- [46] Direttiva 2003/87/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 ottobre 2003, che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio., (2003). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128012#:~:text=Direttiva%202003%2F87%2FCE%20del,32%2D46>).
- [47] Rosenfeld et al. - 2020 - Scenario analysis of implementing a power-to-gas a.pdf, (n.d.).
- [48] S. Abdelhady, Performance and cost evaluation of solar dish power plant: sensitivity analysis of levelized cost of electricity (LCOE) and net present value (NPV), *Renew. Energy.* 168 (2021) 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.074>.
- [49] E.J. da S. Pereira, J.T. Pinho, M.A.B. Galhardo, W.N. Macêdo, Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy, *Renew. Energy.* 69 (2014) 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.054>.
- [50] M. Momen, M. Shirinbakhsh, A. Baniassadi, A. Behbahani-nia, Application of Monte Carlo method in economic optimization of cogeneration systems – Case study of the CGAM system, *Appl. Therm. Eng.* 104 (2016) 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.149>.

7 Nomenclatura

Simboli

c_c	Costo unitario del calore generato attraverso una tecnologia convenzionale, €/kWh _t
c_{comb}	Costo unitario del combustibile, €/Sm ³ o €/t
c_{el}	Costo unitario dell'energia elettrica, €/MWh _{el}
$C_{O\&M}$	Costo annuali di esercizio e manutenzione, €/anno
c_{rec}	Costo unitario del calore generato attraverso una tecnologia di recupero, €/kWh _t
COP_{el}	Coefficient of performance della pompa di calore
CP	Cut-off period, anni
$DSCR$	Debt Service Coverage Ratio
EPC	Perdita exergetica per unità di costo di investimento, kW/M€
ERC	Energy recovery cost, €/unità di misura del vettore energetico risparmiato o delle emissioni di CO ₂ evitate
f	Tasso di inflazione, %
f'	Deriva rispetto all'inflazione, %
f_{amm}	Fattore di ammortamento, %
f_{CO2}	Fattore di emissione di CO ₂ , t CO ₂ /unità di misura del vettore energetico
f_{tep}	Fattore di conversione in tep, tep/unità di misura del vettore energetico
FA	Fattore di annualità, %
FC	Flusso di cassa netto, €/anno
h_{op}	Numero di ore operative all'anno, ore/anno
i	Tasso di interesse reale, %
I_0	Costo di investimento iniziale, €
I_{max}	Massimo costo di investimento accettabile, €
I_{TEE}	Incentivo associato alla vendita dei titoli di efficienza energetica, €/anno
IP	Indice di profitto
n	Durata dell'iniziativa finanziaria, anni
n_a	Numero di anni di ammortamento fiscale, anni
PBT	Pay-back time, anni
PBT_s	Pay-back time semplice, anni
PE	Potenziale economico, €/t CO ₂
R	Tasso di interesse nominale, %

R_{CO_2}	Emissioni di CO ₂ evitate annue, t CO ₂ /anno
R_{comb}	Risparmi annui di combustibile, Sm ³ /anno o t/anno
R_{el}	Risparmi annui di energia elettrica, kWh _{el} /anno
R_{tep}	Risparmi annui di energia primaria, tep/anno
R_{th}	Risparmi annui di energia termica, kWh _t /anno
ROI	Return on investment
T	Coefficiente di tassazione, %
TIR	Tasso interno di rendimento, %
VAN	Valore attuale netto, €
VAN_a	Valore attuale netto annuale, €/anno

Acronimi

TEE	Titoli di efficienza energetica
-----	---------------------------------
