

Elaborazione di uno studio sullo sfruttamento del calore di scarto in Alto Adige

Istituto per le energie rinnovabili
Sistemi di riscaldamento e raffrescamento sostenibili

Committente:

Provincia Autonoma di Bolzano
Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima
Ufficio Amministrativo dell'Ambiente
Palazzo 9, via Amba Alagi 35, 39100 Bolzano
C.F./P.I.: 00390090215

Referente Eurac Research:

Marco Cozzini

Rapporto di ricerca n.

24/085

Emesso in data:

31/12/2024

Responsabile di Gruppo Eurac Research:

Roberto Fedrizzi

Firmato digitalmente

Eurac Research – Institute for Renewable Energy
A. Volta Straße/Via A. Volta 13/A, 39100 - Bozen/Bolzano, Italy
Tel +39 0471 055 600 Fax +39 0471 055 699 renewable.energy@eurac.edu
TIN 94032590211 VAT 01659400210 Registration at CCIA BZ 154590

Il presente rapporto può essere riprodotto solo integralmente; la riproduzione parziale deve essere autorizzata da Eurac Research.

Rapporto di ricerca n. 24/085
T011-Rapporto ricerca_r6, 23/06/2023

Indice

1	Introduzione.....	1
2	Inquadramento normativo	2
2.1	Direttiva Europea sull'efficienza energetica (EED)	2
2.2	Direttiva Europea sulle energie rinnovabili (RED)	4
3	Panoramica delle soluzioni tecnologiche, stime economiche ed esempi pratici	6
3.1	Recupero di calore ad alta temperatura.....	6
3.2	Recupero di calore a bassa temperatura	8
3.3	Esempi ed ulteriori considerazioni	10
4	Analisi dei meccanismi economici	12
4.1	Il contesto del calore di scarto in Europa.....	12
4.2	Fonti utilizzate.....	12
4.3	Aspetti contrattuali relativi al recupero di calore di scarto con particolare riferimento al teleriscaldamento	13
4.4	Ulteriori commenti	21
5	Analisi geospaziale del potenziale calore di scarto	23
5.1	Introduzione	23
5.2	Metodologia	23
5.3	Risultati.....	29
6	Best practices di recupero di calore	41
6.1	Settori interessanti	41
7	Potenziale energetico complessivo e riduzione emissioni	43
8	Conclusioni.....	46
9	Riferimenti bibliografici	48

1 Introduzione

La presente relazione affronta la tematica del recupero di calore di scarto in Alto Adige, valutandone il potenziale complessivo.

A tale scopo, è stato in primo luogo effettuato un inquadramento normativo della tematica, ripercorrendo i principali punti relativi all'interno delle principali normative europee in ambito energetico. In secondo luogo è stata sviluppata un'analisi tecnica ed economica delle principali soluzioni tecniche di recupero di calore (tramite scambio diretto o indiretto, ovvero tramite pompa di calore), con riferimento a progetti concreti in ambito europeo e italiano. Infine, a completamento dell'inquadramento generale, sono stati esplorati i meccanismi contrattuali disponibili in letteratura e le attività di pianificazione avviate nel settore a livello europeo.

Il cuore del lavoro ha poi riguardato la concreta mappatura del calore di scarto sul territorio provinciale. È stata utilizzata una metodologia sviluppata in precedenti progetti, distinguendo tra calore di scarto derivante da attività industriali e da attività urbane/commerciali. L'analisi del potenziale in ambito industriale ha sfruttato un approccio largamente basato su dati statistici e studi danesi, mentre l'analisi del potenziale in ambito urbano si è focalizzata su alcune attività specifiche (supermercati, centri commerciali, stadi del ghiaccio, ospedali) per le quali è possibile combinare dati di letteratura con mappatura automatizzata (per esempio tramite geotagging). Per le varie attività sono stati indicati alcuni livelli di temperatura, con lo scopo principale di distinguere tra sorgenti direttamente impiegabili a fini di riscaldamento e sorgenti recuperabili solo tramite pompe di calore. I risultati sono stati raccolti in un foglio di calcolo complessivo e in una serie di mappe GIS nei quali i dati raccolti sono stati adeguatamente georeferenziati. Tramite questa analisi è stato possibile individuare i principali settori industriali di interesse a livello provinciale così come il potenziale del settore urbano/commerciale, offrendo inoltre una sintesi statistica per i principali comuni del territorio.

I tre settori industriali più rappresentativi per la provincia altoatesina sono risultati essere l'industria del legno, il settore della lavorazione della carne e l'industria lattiero-casearia. Tali attività coinvolgono diversi processi energivori (ad esempio essiccazione e refrigerazione) per i quali sono stimate rilevanti quantità di cascami termici. Per quanto non determinanti a livello statistico complessivo, sono state inoltre individuate alcune attività di interesse nel settore siderurgico. A completamento di questa indagine settoriale è stata proposta una lista di una decina di esempi concreti, possibilmente da approfondire con singoli casi studio.

La mappatura effettuata ha infine permesso di stimare i potenziali complessivi di calore di scarto presenti sul territorio provinciale, distinti tra industriali, urbano/commerciali e totali (somma dei due precedenti). Sulla base di tali valori è stato possibile stimare il relativo potenziale di riduzione delle emissioni di anidride carbonica (assumendo la sostituzione di un numero equivalente di generatori a gas naturale) e l'ordine di grandezza degli investimenti necessari per un simile obiettivo.

I risultati principali, sia a livello quantitativo che qualitativo, sono stati sintetizzati nelle conclusioni.

2 Inquadramento normativo

Si riportano di seguito i punti maggiormente rilevanti per quanto riguarda il calore di scarto relativamente alle direttive europee recentemente aggiornate.

2.1 Direttiva Europea sull'efficienza energetica (EED)

La direttiva Europea sull'efficienza energetica (EED – Energy Efficiency Directive) è stata aggiornata nel 2023, con la direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023. Tale direttiva sostituisce integralmente la precedente direttiva 2012/27/EU del 25 ottobre 2012.

La direttiva contiene numerose specifiche relative al teleriscaldamento e al settore del riscaldamento e raffrescamento in generale. Si segnalano di seguito alcuni estratti da articoli di interesse per lo studio in oggetto.

- Art. 25, paragrafo 6: “Gli Stati membri provvedono affinché le autorità regionali e locali elaborino piani locali di riscaldamento e raffrescamento, almeno nei comuni con popolazione complessiva superiore a 45.000 abitanti”. Tale articolo evidenzia l'importanza di coordinare lo sviluppo della rete di teleriscaldamento di Bolzano con le autorità locali, come già in essere.
- Art. 26, paragrafo 1 e 2. Tale articolo riepiloga i requisiti del teleriscaldamento efficiente dal punto di vista delle quote minime di sorgenti sostenibili e/o di emissioni massime ammissibili. Tali requisiti evolvono nel tempo secondo date specifiche (Tabella 1). Inoltre, in linea di principio, è consentito agli stati membri di optare tra due diverse formulazioni, una basata sulle quote delle sorgenti sostenibili, l'altra sui fattori di emissione. Al momento, secondo la definizione di teleriscaldamento efficiente riportata sul sito del GSE¹, per l'Italia vale la formulazione basata sulle quote delle sorgenti. Tale scelta potrà essere cambiata in futuro (entro 6 mesi dall'inizio di un nuovo periodo).
- Art. 26, paragrafo 7: “[...] gli Stati membri provvedono affinché sia effettuata un'analisi costi-benefici [...] laddove si progettino ex novo o si ammodernino in modo sostanziale i seguenti impianti: [...] (b) impianti industriali con potenza totale assorbita media annua superiore a 8 MW, al fine di valutare l'uso del calore di scarto in loco ed extra loco”. Tale articolo evidenzia la crescente attenzione verso l'utilizzo del calore di scarto generato dagli impianti industriali.
- Premesse, considerazione (107): “Ai fini del calcolo della quota di energia rinnovabile in una rete di teleriscaldamento, tutto il calore proveniente dalla pompa di calore e immesso nella rete dovrebbe essere contabilizzato come energia rinnovabile, a condizione che la pompa di calore soddisfi i criteri minimi di efficienza di cui all'allegato VII della direttiva (UE) 2018/2001 al momento dell'installazione”. Per pompe di calore sufficientemente efficienti connesse al teleriscaldamento, pertanto, tutto il calore generato può essere considerato rinnovabile a prescindere dalla natura dell'energia elettrica utilizzata (si veda la prossima sottosezione per le specifiche all'allegato VII).

¹ <https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/teleriscaldamento-efficiente> (consultato 02 dicembre 2024).

Tabella 1. Tabella riassuntiva delle quote minime di sorgenti sostenibili e/o delle emissioni massime ammissibili per la qualifica di teleriscaldamento efficiente (le due formulazioni sono alternative). Rinn. = sorgenti rinnovabili, CdS = calore di scarto, Cog = cogenerazione, CAR = cogenerazione ad alto rendimento.

Anno	Quote	gCO _{2eq} /kWh
In corso	50 % Rinn. + CdS o 75 % Cog o 50 % Rinn. + CdS + Cog	200
2026	"	150
2028	50 % Rinn. + CdS o 80 % CAR o 50 % Rinn. + CdS + CAR con 5 % Rinn.	"
2035	50 % Rinn. + CdS o 80 % Rinn. + CdS + CAR con 35 % Rinn. + CdS	100
2040	75 % Rinn. + CdS o 95 % Rinn. + CdS + CAR con 35 % Rinn. + CdS	"
2045	75 % Rinn. + CdS	50
2050	Solo Rinn. + CdS	0

Oltre agli articoli sopra citati, punti di interesse per quanto riguarda il calore di scarto sono i seguenti:

- Considerazioni (85-87), relative ai centri dati.
 - (85) “[...] Al fine di promuovere lo sviluppo sostenibile del settore delle TIC, in particolare dei centri dati, è opportuno che gli Stati membri impongano la raccolta e la pubblicazione dei dati pertinenti sulle prestazioni energetiche, l'impronta idrica e la flessibilità della domanda dei centri dati, sulla base di un modello comune dell'Unione. Gli Stati membri dovrebbero imporre la raccolta e la pubblicazione dei dati soltanto sui centri dati con un'impronta significativa, per i quali interventi adeguati di progettazione o efficientamento – nel caso, rispettivamente, degli impianti nuovi e di quelli esistenti – possono tradursi in una riduzione considerevole del consumo idrico ed energetico, in un aumento dell'efficienza dei sistemi che promuovono la decarbonizzazione della rete o nel riutilizzo del calore di scarto nelle strutture e nelle reti di riscaldamento circostanti. Gli indicatori di sostenibilità dei centri dati potrebbero essere stabiliti sulla base di tali dati raccolti, tenendo conto anche delle iniziative già esistenti nel settore.”
 - (86) “L’obbligo di comunicazione si applica ai centri dati che soddisfano la soglia di cui alla presente direttiva [...]”, soglia riportata all’art. 12 (sotto riportato).
 - (87) “I dati raccolti dovrebbero essere usati per misurare almeno alcune dimensioni fondamentali di un centro dati sostenibile”, tra cui “il riutilizzo del calore di scarto prodotto”.
- Art. 12, “Centri dati”.
 - “Entro il 15 maggio 2024 e successivamente con cadenza annuale, gli Stati membri impongono ai titolari e ai gestori di centri dati sul loro territorio con una domanda di potenza di tecnologia dell'informazione (IT) installata pari ad almeno 500 kW di rendere pubbliche le informazioni di cui all'allegato VII [...]”.
- Allegato VII, “Requisiti minimi in materia di monitoraggio e pubblicazione della prestazione energetica dei centri dati”.
- Allegato X, “Potenziale dell'efficienza per il riscaldamento e il raffrescamento”. Qui si specifica che gli stati membri devono fornire una “valutazione globale dei potenziali nazionali di riscaldamento e raffrescamento”, comprendente (parte I, paragrafo 2, lettera b) l’identificazione degli “impianti che producono calore o freddo di scarto e del loro potenziale

di fornitura di riscaldamento o raffrescamento, in GWh/anno”, tra cui gli “impianti industriali con potenza termica totale superiore a 20 MW”.

- Allegato XI, “Analisi costi-benefici” per valutare per esempio la fattibilità del recupero di calore.

2.2 Direttiva Europea sulle energie rinnovabili (RED)

La direttiva Europea sulle energie rinnovabili (RED – Renewable Energy Directive) è stata aggiornata nel 2023, con la direttiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 ottobre 2023.

Tale versione apporta alcune modifiche alla stesura del 2018 (direttiva 2018/2001 dell’11 dicembre 2018), che a sua volta sostituiva interamente la versione del 2009 (direttiva 2009/28/EC, 23 aprile 2009).

Si segnalano alcune considerazioni e alcuni articoli rilevanti ai fini del teleriscaldamento:

- Premesse, considerazione (10): “Esiste una crescente consapevolezza della necessità di allineare le politiche in materia di bioenergia al principio dell’uso a cascata della biomassa” (*cascading principle*). Tale considerazione evidenzia come sia auspicabile che l’uso della biomassa a fini energetici avvenga solo nell’impossibilità di altri utilizzi prioritari, quali “prodotti a base di legno, prolungamento del ciclo di vita dei prodotti a base di legno, riutilizzo, riciclaggio”.
- Art. 2, definizione (9): “«calore e freddo di scarto»: il calore o il freddo inevitabilmente ottenuti come sottoprodotti negli impianti industriali o di produzione di energia, o nel settore terziario, che si disperderebbero nell’aria o nell’acqua rimanendo inutilizzati e senza accesso a un sistema di teleriscaldamento o teleraffrescamento, nel caso in cui la cogenerazione sia stata o sarà utilizzata o non sia praticabile.”
- Allegato VII (connesso alla considerazione 107 della EED, menzionata nella sezione precedente): “solo le pompe di calore per le quali $SPF > 1,15/\eta$ saranno prese in considerazione, dove l’SPF (seasonal performance factor) è il “fattore di rendimento stagionale medio stimato” e η è il “rapporto tra la produzione totale lorda di energia elettrica e il consumo di energia primaria per la produzione di energia elettrica e deve essere calcolato come media a livello UE sulla base dei dati Eurostat”. Tale soglia per l’SPF è facilmente superabile per le pompe di calore accoppiate al calore di scarto a bassa temperatura.

L’articolo 2 sopra riportato risulta particolarmente rilevante ai fini della classificazione di teleriscaldamento efficiente. Vista la potenziale ambiguità di alcune parti della sua formulazione, la Commissione ha dettagliato questo punto in un’ulteriore guida (“Guidance on heating and cooling aspects in Articles 15a, 22a, 23 and 24 of Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources as amended by Directive (EU) 2023/2413”, Communication from the Commission, Brussels, 02.09.2024, C(2024) 5043 final).

Per quanto riguarda in particolare il teleriscaldamento di Bolzano è di interesse verificare la classificazione del calore prodotto da impianti basati sull’incenerimento di rifiuti. Nell’Annex A della guida sopra citata si specifica sotto quali condizioni tale calore possa essere considerato calore di scarto. Tale classificazione segue essenzialmente quanto descritto nel Technical Report del JRC “Defining and accounting for waste heat and cold” (L. Lyons, K., Kavvadias, J., Carlsson, JRC, 2021). Gli aspetti principali sono riepilogati in Figura 1. Come si vede, affinché tale calore possa essere considerato calore di scarto vanno verificate tre condizioni in sequenza:

Il calore deve essere un *sottoprodotto*, ovvero non deve trattarsi di calore prodotto da un impianto che abbia tra i suoi scopi primari la produzione di calore (come ad esempio in un impianto di cogenerazione).

L'emissione di tale calore deve essere *inevitabile*, ovvero devono essere già state applicate tutte le misure di efficientamento ragionevolmente convenienti secondo lo stato dell'arte.

Il calore deve essere recuperato in una rete di teleriscaldamento.

Technology		By-product		Unavoidable		Use
Thermal power generation, cogeneration, waste incineration	+	Heat leaving the condenser for closed-cycle plants and exhaust gases for open-cycle plants. Heat demonstrated not to be primary aim of process.	+	All reasonable EE measures implemented, e.g., the best available technology or convert a power plant to CHP	+	Delivery to a district heating and cooling system
		Primary aim, e.g. cogenerated heat.		Cost-efficient energy efficiency measures or cogeneration were feasible but not implemented		Used off-site but not in a district heating and cooling system

Figura 1. Estratto della tabella contenuta nell'Annex A del documento di guida alla RED.

Un'ulteriore indicazione riguardo al calore generato da termovalorizzatori è contenuta in una risposta dedicata fornita dal GSE²: “Per un termovalorizzatore alimentato a rifiuti con frazione rinnovabile, il calore recuperato a valle della produzione combinata di energia elettrica e termica viene contabilizzato come calore da fonti rinnovabili (per la percentuale coincidente con la frazione rinnovabile presente nel rifiuto) e, per la restante percentuale, come calore cogenerato”. Ai fini del soddisfacimento dei criteri di teleriscaldamento efficiente resta eventualmente da verificare caso per caso se tale cogenerazione sia ad alto rendimento o meno.

Per quanto non direttamente rilevante ai fini del calore di scarto, a proposito del tema cogenerazione si ritiene utile ricordare quanto riportato nell'allegato C della L.P. n.8/2000, “Norme per la tutela della qualità dell'aria” (punto 13, lettera a): “Gli impianti di combustione con potenza termica nominale $\geq 0,3$ MW destinati alla produzione di energia elettrica da immettere in rete devono essere dimensionati in modo tale che la potenza termica massima da essi sviluppata durante il periodo di massimo assorbimento di calore venga interamente utilizzata dai dispositivi di utilizzo” (fanno eccezione gli impianti alimentati a biogas, come riportato alla lettera b dello stesso punto).

² https://assistenza.clienti.gse.it/csm/it/contabilizzazione-calore-termovalorizzatori-con-frazione-rinnovabile?id=faq&sys_id=c94b32a0839d4a54429d1c426daad3b7&numCat=1 (visitato marzo 2025).

3 Panoramica delle soluzioni tecnologiche, stime economiche ed esempi pratici

Dal punto di vista tecnico, il recupero di calore si può distinguere in due categorie principali:

- Recupero di calore tramite scambio “diretto” o “passivo”, fattibile quando la temperatura della sorgente è maggiore della temperatura dell’utente da servire. In questo caso è sufficiente utilizzare normali scambiatori di calore (sia pur di diversa tipologia a seconda della temperatura) e non viene attivamente consumata energia elettrica per lo scambio (se non per la quota richiesta dai sistemi di circolazione termoidraulica, tipicamente dell’ordine dell’1-2 % dell’energia termica distribuita e quindi pressoché trascurabile).
- Recupero di calore tramite scambio “indiretto” o “attivo”, ovvero tramite pompa di calore, dove il sistema richiede il consumo attivo di una quota significativa di energia elettrica. Tale soluzione è necessaria quando la temperatura della sorgente è inferiore a quella dell’utente da servire. La quota di energia elettrica richiesta è determinata dal COP (coefficient of performance) della pompa di calore, a sua volta dipendente dal salto termico in gioco, e corrispondente al rapporto tra energia termica fornita ed energia elettrica consumata. Valori tipici del COP per applicazioni esistenti sono dell’ordine di 3 (ovvero l’energia elettrica consumata è pari al 33 % dell’energia termica fornita).

Nelle sezioni seguenti vengono descritte le tipiche tecnologie per queste due applicazioni, includendo una stima di massima dei costi corrispondenti. A seguire vengono discussi alcuni esempi pratici / buone pratiche.

3.1 Recupero di calore ad alta temperatura

Nei casi in cui il calore di scarto è disponibile a una temperatura maggiore della temperatura richiesta “dall’utenza” (dove per utenza si intende qui sia un possibile processo interno all’azienda/attività – da servire in “autoconsumo” – sia una rete di teleriscaldamento esterna), il calore può essere recuperato tramite scambio diretto.

Nel caso di fumi di combustione o fusione, il calore residuo può avere ancora temperatura significative, anche oltre i 500 °C. In tale situazione, una tecnologia che può essere presa come riferimento è quella degli scambiatori “a tubi di calore” (in inglese heat pipe heat exchanger, HPHE), poiché particolarmente idonea all’inserimento lungo i canali di espulsione dei fumi. Anche nel caso di fumi particolarmente carichi di particelle residue, come nel caso dei forni fusori, questa tecnologia si presta ad un utilizzo piuttosto continuo e ad una manutenzione relativamente semplice (per esempio, tali scambiatori possono essere attrezzati con opportuni sistemi automatici che eliminano eventuali residui solidi dalle superfici esterne, ripristinando l’efficienza di scambio termico). I tubi di calore sono sistemi chiusi che includono un fluido vettore che trasferisce il calore tramite evaporazione e condensazione, senza necessità di parti mobili (pompe) per mantenere la circolazione. In questo modo lo scambiatore fornisce un’interfaccia stabile tra il flusso dei fumi (nei quali è immersa l’estremità dei tubi sulla quale avviene l’evaporazione del fluido vettore interno) e il circuito esterno di recupero (tipicamente un circuito ad acqua a contatto con l’estremità opposta dei tubi, sulla quale avviene la condensazione del fluido vettore interno).

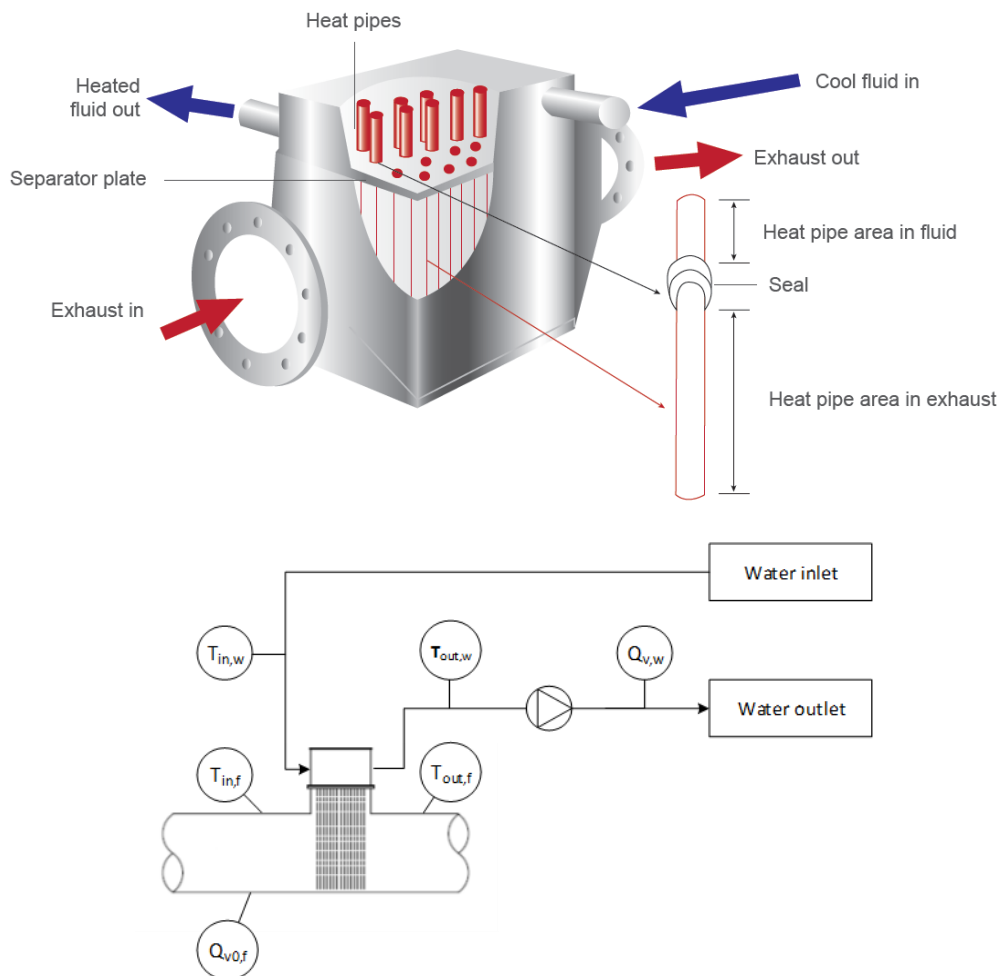


Figura 2. Rappresentazione schematica di uno scambiatore a tubi di calore e diagramma di una tipica collocazione all'interno di una condotta fumi (T : sensori di temperatura in ingresso e uscita fumi e circuito di recupero ad acqua; Q : sensori di portata su fumi e circuito di recupero). Fonte: progetto REEMAIN (Cucchetti & et al., 2015).

Per l'installazione di un sistema di questo tipo i costi di investimento derivano principalmente dall'acquisto dello scambiatore stesso e dalle componenti termo-idrauliche ed elettriche. In particolare, il costo unitario dell'HPHE, sulla base di studi condotti in precedenza da Eurac, è pari a 200 €/kW installato. I costi degli impianti termotecnici ed elettrici sono stati valutati in altri 200 €/kW. Aggiungendo un 20 % di costi di progettazione, direzione lavori e sicurezza, nonché un 30 % di voci varie e imprevisti, il costo di investimento totale per l'installazione è qui stimato in 624 €/kW. Per il collegamento con una rete di teleriscaldamento è poi da valutare a parte la distanza e il relativo costo di una linea di connessione. I costi annuali di manutenzione (esclusi costi di pompaggio) nel caso più oneroso (fumi di fonderia) sono stimati in 40 €/kW (circa il doppio del tipico costo di manutenzione per generici impianti industriali – dell'ordine del 3 % dell'investimento – a causa dei cicli di pulizia necessari).

A titolo puramente indicativo si considera il caso di un'installazione da 1 MW, a una distanza di 100 m da una tratta di teleriscaldamento esistente, con un costo di connessione di 1000 €/m. Ai fini di un calcolo economico complessivo, si assume una disponibilità di calore per 4000 h/a (un esercizio continuo su 2 turni da 8 h per 5 giorni a settimana con 4 settimane di fermo all'anno corrisponde a circa 3840 h/a) e una durata dell'investimento di 10 anni. Dal punto di vista finanziario si assume un tasso di interesse (costo medio del capitale) pari all'8 %. Con tali parametri, il costo livellato del calore (levelized cost of heat, LCoH) risulta pari a circa 37 €/MWh (Tabella 2). Tale valore si riferisce al caso più oneroso (fumi di fonderia ad alta temperatura senza possibilità di cogenerazione elettrica, con alti costi di manutenzione e quota varie/imprevisti del 30 %). Per un'installazione su sistemi più semplici

(per es. comuni forni a gas) con normali costi di manutenzione del 3 % dell'investimento e una voce varie/imprevisti del 10 %, l'LCoH scenderebbe a circa 27 €/MWh. Infine, nel caso di maggiori durate dell'investimento (15 anni) e ore/anno di esercizio (6000 h/a), l'LCoH può scendere sotto i 15 €/MWh.

Tabella 2. Esempio di costi per l'installazione di un sistema di recupero con scambiatore a tubi di calore da 1 MW, in condizioni di esercizio onerose quali quelle di una fonderia. I costi di investimento in tabella includono una quota di 100 k€ per una connessione esterna verso teleriscaldamento. Dettagli riportati nel testo.

Quantità	Unità	Valore
Potenza	MW	1
Energia	MWh/a	4000
Costi di investimento	€	724.000
Costi di manutenzione	€/a	40.000
LCoH	€/MWh	37

3.2 Recupero di calore a bassa temperatura

Nei casi in cui il calore di scarto è disponibile a una temperatura inferiore alla temperatura richiesta "dall'utenza", il sistema di recupero richiede l'installazione di una pompa di calore.

Le pompe di calore si possono in generale considerare una soluzione tecnica consolidata, anche se la maturità della tecnologia dipende ancora in parte dagli intervalli di temperatura considerati. Esiste ormai una buona disponibilità sul mercato di macchine in grado di fornire calore a una temperatura dell'ordine di 70 °C e temperatura alla sorgente anche piuttosto elevata, per esempio dell'ordine di 30 °C. Tali intervalli possono essere rappresentativi per applicazioni di recupero di calore interno (autoconsumo presso l'azienda/attività) su diverse taglie. Per il recupero su teleriscaldamento, per poter immettere direttamente sul tubo di mandata delle tipiche reti esistenti nel territorio della Provincia di Bolzano è necessario considerare temperature di produzione dell'ordine di 90 °C. Nel caso di taglie particolarmente grandi (dell'ordine di diversi MW) sono disponibili sul mercato macchine particolarmente efficienti ed affidabili in grado di soddisfare queste temperature (tipicamente utilizzando CO₂ come refrigerante, con un ciclo termodinamico particolarmente adatto a coprire l'elevato salto di calore tra ritorno e mandata del teleriscaldamento, dell'ordine di 30-40 °C). Nel caso del recupero di calore di scarto, tuttavia, è difficile trovare applicazioni oltre i 4-5 MW. Uno studio piuttosto ampio sulla disponibilità di pompe di calore di taglia medio-grande (da circa 100 kW a oltre 10 MW) è stato recentemente pubblicato da Fraunhofer IEG (Ahrendts & et al., 2023).

Per le pompe di calore un parametro cruciale è il COP, dato dal rapporto tra energia termica prodotta ed energia elettrica consumata. Tale parametro dipende dalle temperature considerate (alla sorgente/evaporatore e all'utenza/condensatore) e dal modello di macchina.

Indicativamente, il calore di scarto a bassa temperatura è disponibile in applicazioni di raffreddamento/refrigerazione, per esempio in torri evaporative o dry cooler. In tal caso la temperatura è tipicamente dell'ordine di 25-35 °C, con una certa dipendenza stagionale (più alta in estate, più fredda in inverno). Nel caso più sfavorevole in cui il calore di scarto venga intercettato in acque di scarico (caso in cui il calore di fatto è classificabile come calore ambiente e quindi rinnovabile), la temperatura è tipicamente dell'ordine di 15 °C, con trascurabile dipendenza stagionale. Per quanto riguarda la temperatura alla sorgente/evaporatore della pompa di calore, pertanto, si può considerare un intervallo di ingresso dell'ordine di 15-35 °C e temperature di uscita di 10-30 °C (con un salto di temperatura di 5 K sull'evaporatore).

Le temperature tipiche delle utenze possono essere quelle dei circuiti di riscaldamento interni dell'attività presso cui il calore di scarto è disponibile (uffici e altri ambienti), quelle di produzione dell'acqua calda sanitaria presso le stesse attività, o infine quelle del teleriscaldamento stesso. I circuiti

di riscaldamento nei casi più favorevoli possono essere collegati a terminali radianti, con temperature anche molto basse (dell'ordine di 25-40 °C in mandata). L'acqua calda sanitaria ha tipicamente temperature di produzione di 50-60 °C (anche a seconda della presenza e della modalità di gestione di sistemi di accumulo). Infine, come anticipato, il teleriscaldamento ha temperature di mandata dell'ordine di 80-90 °C (con una certa variabilità stagionale), mentre le temperature di ritorno sono tipicamente dell'ordine di 50-60 °C. Dal punto di vista delle temperature di ingresso-uscita al condensatore della pompa di calore si può quindi avere una casistica piuttosto ampia. Due casi di riferimento significativi possono essere considerate le temperature menzionate all'inizio di questa sezione: una temperatura di uscita di 70 °C (riferita ad un sistema di riscaldamento locale) e una temperatura di uscita di 90 °C (riferita alla mandata di un teleriscaldamento), in entrambi i casi con temperature di ingresso al condensatore dell'ordine di 50 °C.

Prendendo come esempi principali i casi sopra considerati, il COP atteso può essere stimato per due casi significativi:

- Calore di scarto disponibile a 35 °C e utenza da servire a 70 °C (caso più favorevole). In questo caso, a seconda della tipologia di macchina, si stima un COP di sistema (inclusivo delle perdite termiche della sottostazione di collegamento) pari a circa 4,3-5,3.
- Calore di scarto disponibile a 15 °C e utenza da servire a 90 °C (caso più sfavorevole). In questo caso il COP di sistema scende a circa 2,6-3,2.

I valori superiori di questi intervalli sono riferiti alle macchine più performanti (per es. macchine a CO₂ per il caso con uscita a 90 °C), mentre i valori inferiori sono riferiti a macchine più standard. Come intuibile dalla discussione precedente, in casi particolarmente favorevoli (per es. sistemi di riscaldamento radiante) è possibile ottenere valori di COP anche migliori.

I costi relativi a un sistema a pompa di calore comprendono diverse voci. Pur essendo particolarmente significativo il costo di investimento, nel caso delle pompe di calore rappresenta una voce importante anche il costo di esercizio, a causa dei consumi di elettricità.

A livello di costi di investimento, le voci principali riguardano la macchina stessa, gli impianti termoidraulici e l'impianto elettrico. Una ripartizione di massima dei costi di investimento per sistemi a pompa di calore di grossa taglia è reperibile in (Pieper & et al., 2018)³: per il caso del calore di scarto i costi sono dell'ordine del 40 % per la macchina, del 15 % per la connessione alla sorgente, del 19 % per l'impianto elettrico, del 13 % per eventuali opere edili e del 13 % per consulenza/progettazione. Le opere edili possono essere intese come un'eventuale struttura aggiuntiva, talvolta necessaria per gli impianti più grandi o isolati (nel qual caso può essere anche necessario l'acquisto di un terreno esterno). Tali aspetti vanno valutati caso per caso. Si assume nel seguito che, per il recupero del calore di scarto a bassa temperatura, siano tipicamente disponibili degli spazi tecnici adeguati o eventualmente sia praticabile una soluzione containerizzata a basso costo. In questo caso, il costo di investimento complessivo per l'installazione è dell'ordine di 1000 €/kW (kW termico al condensatore). In caso di necessità di strutture esterne, il costo è stimabile in circa 1300 €/kW o addirittura maggiore nel caso di necessità particolari (installazione interrata o a tetto con la necessità di strutture di rinforzo, nei casi di mancanza di spazi). Tali valori sono anche in linea con i valori di altre fonti (si veda anche la prossima sezione).

Per quanto riguarda i costi di esercizio, la manutenzione può essere stimata nell'ordine del 3 % dei costi di investimento. Il costo dei consumi elettrici dipende naturalmente dal COP sopra discusso e dal prezzo dell'elettricità stessa. Da questo punto di vista, anche nell'ottica di una maggiore rinnovabilità del sistema, la stipulazione di contratti di tipo PPA (power purchase agreement), qualora la taglia lo consenta⁴, può essere favorevole per garantire un prezzo stabile e conveniente. Costi dell'ordine di

³ I costi specifici riportati nell'articolo risalgono al 2018 e da questo punto di vista possono considerarsi datati. Si ritiene che una rivalutazione dell'ordine del 30 % possa tenere conto degli effetti dell'inflazione ad oggi.

⁴ In quest'ottica, la dimensione dell'azienda fornitrice del calore di scarto può costituire un fattore importante, offrendo eventualmente la possibilità di includere in un possibile contratto anche la quota elettrica.

150-170 €/MWh sono ottenibili a mercato (il prezzo medio europeo a mercato calcolato da operatori come Pexapark a inizio e fine 2024 è stato rispettivamente di 49 e 52 €/MWh; a tali valori vanno aggiunti ulteriori oneri e tasse).

In modo analogo a quanto fatto per lo scambiatore a tubi di calore, si riporta la stima economica per una pompa di calore da 1 MW termico al condensatore. Anche in questo caso si assumono 4000 h/a di esercizio. Si considera il caso più favorevole di temperature tra quelli sopra descritti, ovvero calore di scarto a 35 °C e utenza a 70 °C, con un COP di 4,3 (cautelativamente il valore inferiore dell'intervallo stimato). Si assume un costo specifico per l'intera sottostazione di recupero pari a 1000 €/kW (senza necessità di strutture di alloggiamento aggiuntive o di terreni) e una linea di connessione di 100 m. Per l'elettricità si assume un prezzo di 160 €/MWh. Dal punto di vista finanziario si assume ancora un tasso di interesse (costo medio del capitale) pari all'8 %, mentre per la durata dell'investimento si assumono in questo caso 15 anni (sia considerata la vita utile delle pompe di calore, tipicamente stimata a 25 anni, e la maggior stabilità delle fonti a bassa temperatura, per le quali possono essere considerate più alternative anche in caso di modifiche dei processi industriali coinvolti). Il costo livellato del calore (LCoH) risulta allora pari a circa 77 €/MWh. La sintesi dei parametri economici principali è riportata nella tabella sottostante.

Tabella 3. Esempio di costi per l'installazione di un sistema di recupero con pompa di calore da 1 MW al condensatore. I costi di investimento in tabella includono una quota di 100 k€ per una connessione esterna verso teleriscaldamento. Dettagli riportati nel testo.

Quantità	Unità	Valore
Potenza	MW	1
Energia	MWh/a	4000
Costi di investimento	€	1.100.000
Costi di manutenzione	€/a	30.000
Costi di elettricità	€/a	149.000
LCoH	€/MWh	77

Applicando lo stesso tipo di calcolo al secondo caso di temperature considerate sopra, ovvero recupero verso teleriscaldamento a 90 °C e sorgente a 15 °C (caso più sfavorevole), i consumi elettrici aumentano a causa del COP meno performante (pari a circa 2,6 nel caso più conservativo). A parità di altre condizioni si ha allora un LCoH di circa 97 €/MWh.

Come si vede, i parametri economici sono meno favorevoli che nel caso del calore di scarto ad alta temperatura, a causa dei maggiori costi del sistema di recupero e dei consumi elettrici. Inevitabilmente, il recupero del calore di scarto a bassa temperatura è meno appetibile e meno efficiente di quello ad alta temperatura. Tuttavia, i valori risultanti possono risultare ancora interessanti (si consideri che l'ordine di grandezza della tariffa del calore fornita dal teleriscaldamento è dell'ordine di 100 €/MWh o superiore).

3.3 Esempi ed ulteriori considerazioni

Le due soluzioni tecnologiche descritte precedentemente sono state applicate in numerosi casi industriali. Nelle loro versioni più innovative (per esempio inclusive di sistemi ibridi, per massimizzare l'efficienza di recupero) sono state recentemente dimostrate in diversi progetti europei.

Per quanto riguarda il recupero del calore industriale ad alta e bassa temperatura, si cita qui l'esempio della collaborazione tra **A2A** e **Ori Martin** a **Brescia**. La fonderia di Ori Martin a Brescia è un impianto di dimensioni significative all'interno del quale sono state applicate diverse soluzioni di recupero di calore. In particolare, il calore residuo nei fumi del forno fusorio è utilizzato in un primo stadio ad alta temperatura per effettuare cogenerazione tramite un motore ORC (organic Rankine cycle). Un secondo stadio recupera calore a bassa temperatura da ulteriori processi tramite una pompa di calore ad alta

temperatura. Il calore recuperato è parzialmente riutilizzato internamente e parzialmente ceduto da A2A, l'azienda responsabile del teleriscaldamento cittadino (nonché di varie altre reti in Italia). Il teleriscaldamento di Brescia è una rete convenzionale esercita a temperature dell'ordine di 90 °C. Tali installazioni sono state oggetto di progetti di ricerca europei, in particolare, per quanto riguarda il recupero di calore a bassa temperatura tramite pompa di calore, il progetto HEATLEAP⁵. ORI Martin è particolarmente all'avanguardia sul fronte del recupero di calore ed ha dato ampia visibilità ai propri sistemi, anche organizzando visite all'interno di eventi e piattaforme europee come REPowerEU⁶.

Attività dimostrative sul recupero di calore a bassa temperatura sono state oggetto anche del progetto LIFE4HeatRecovery⁷. In particolare, uno dei siti dimostrativi è stato realizzato in Italia, a Ospitaletto (BS), da **Cogeme**, con recupero di calore dalle torri evaporative della fonderia **ASO Next**. Il sistema comprende uno scambiatore convenzionale verso un particolare caso di teleriscaldamento (una rete fredda, parzialmente alimentata anche da pozzi di falda) e un sistema di recupero a pompa di calore bidirezionale, in grado sia di recuperare calore localmente (per uffici, mensa, spogliatoi) che verso la rete stessa. Oltre al caso italiano qui menzionato, il progetto LIFE4HeatRecovery ha incluso un caso olandese con caratteristiche simili. Un altro significativo progetto in ambito teleriscaldamento è il progetto REWARDHeat⁸, con 3 dimostratori (su 10 totali) legati al recupero di calore di scarto.

Una lista di **installazioni internazionali** è reperibile in (Ahrendts & et al., 2023), con esempi di diverse sorgenti di calore di scarto a bassa temperatura, valori di COP, taglie e costi di massima. Alcuni di questi casi sono riportati anche in studi della IEA (International Energy Agency), nella piattaforma dedicata alle pompe di calore, **IEA-HP, Annex 48**. Tra i casi di particolare interesse è utile citare il caso di **Berglandmilch** in Austria (Wilk & Krämer, 2019). L'impianto di **Wörgl**, legato al marchio Tirol Milch, processa circa 250 milioni di litri di latte all'anno e richiede diversi processi di riscaldamento e raffreddamento. L'azienda ha implementato diverse misure di efficientamento energetico, tra le quali l'installazione di pompe di calore per recupero interno e connessione al locale teleriscaldamento. Un primo blocco effettua recupero di calore dalla condensazione di fumi di combustione, con temperature particolarmente favorevoli: la temperatura in ingresso lato sorgente è di circa 45 °C, mentre la temperatura di produzione del calore è di circa 85 °C, con un COP pari a 3,9. La potenza al condensatore è pari a circa 1,2 MW. Un secondo blocco effettua recupero di calore da chiller: la temperatura in ingresso lato sorgente è di circa 27 °C, mentre la temperatura di produzione del calore è di circa 78 °C, con un COP pari a 3,3. In questo caso la potenza al condensatore è pari a circa 1,5 MW. Si stima un risparmio di CO₂ di circa 4530 t/a e un risparmio economico di circa 15.000 €/a rispetto alla situazione in assenza di pompe di calore.

Infine, per quanto riguarda l'analisi dei costi, si segnala l'utile fonte dell'agenzia danese per l'energia (Danish Energy Agency, DEA). La DEA offre un prezzario di massima⁹ per varie tipologie di impianti, con documenti dedicati alle tecnologie per il teleriscaldamento. Per quanto riguarda le pompe di calore i costi di investimento aggiornati a febbraio 2025 sono stimati in 1320 €/kW (taglia 1 MW, recupero di calore di scarto). Per riportare tali costi al caso italiano è possibile effettuare una stima tramite gli indici di livello di prezzo ("price level indices") forniti dalla Comunità Europea tramite Eurostat¹⁰. Per quanto riguarda i costi di attrezzature e impianti (price level indices for machinery and equipment) il rapporto tra l'indice italiano e quello danese risulta pari all'86 % (dati 2023). Riscalando corrispondentemente il costo unitario sopra riportato si ottiene $1320 \text{ €/kW} \times 0,86 = 1135 \text{ €/kW}$, sostanzialmente in linea con i costi stimati precedentemente.

⁵ <https://heatleap-project.eu/> (visitato febbraio 2025).

⁶ https://cinea.ec.europa.eu/news-events/events/life-platform-meeting-repower-eu-plan-focus-heating-and-cooling-2024-05-14_en (visitato febbraio 2025).

⁷ <https://www.life4heatrecovery.eu/> (visitato febbraio 2025).

⁸ <https://www.rewardheat.eu> (visitato febbraio 2025).

⁹ <https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-catalogues> (visitato febbraio 2025).

¹⁰ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Comparative_price_levels_for_investment&oldid=486175 (visitato febbraio 2025).

4 Analisi dei meccanismi economici

4.1 Il contesto del calore di scarto in Europa

Sono ormai passati quasi 10 anni da quando la Commissione Europea ha identificato che il riutilizzo del calore di scarto può ridurre le emissioni di anidride carbonica, contribuendo a ridurre gradualmente l'impiego di combustibili fossili: "Nelle sue valutazioni di impatto del 2016 per le revisioni della Direttiva sulla prestazione energetica negli edifici (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD), della Direttiva sull'efficienza energetica (Energy Efficiency Directive, EED), della Direttiva sulle energie rinnovabili (Renewable Energy Directive, RED) e per la nuova Market Design Initiative, la Commissione analizzerà diverse opzioni per aiutare gli edifici e l'industria a passare a sistemi energetici efficienti e decarbonizzati basati su fonti di energia rinnovabili e sull'uso del calore di scarto" (EU Commission, 2016 (a)). Come descritto nel capitolo sulle normative, nel 2023 è stata approvata una revisione della EED, nella quale sono stati introdotti cambiamenti e aggiunte volte al riconoscimento del calore di scarto come fonte preziosa per la decarbonizzazione. La definizione di teleriscaldamento e teleraffrescamento efficiente ai sensi dell'articolo 26 include il calore di scarto, considerato sostanzialmente alla pari con altre fonti rinnovabili. Nell'articolo 26 (articoli 26.6-7) il calore di scarto dalla cogenerazione di calore ed elettricità, installazioni industriali, strutture di servizio (come gli impianti di trattamento delle acque reflue) e data center al di sopra di determinate soglie di immissione di energia (10 MW per la cogenerazione, 8 MW per le installazioni industriali, 7 MW per le strutture di servizio e 1 MW per i data center) sono affrontati esplicitamente (EU Commission, 2023). La possibilità di ricorrere alle acque reflue come fonte di calore è stata evidenziata anche di recente, ai sensi della direttiva rivista sul trattamento delle acque reflue urbane (Urban Wastewater Treatment Directive). Gli impianti di trattamento delle acque reflue devono essere neutri dal punto di vista energetico entro il 2045. Ciò ha suscitato interesse riguardo alla possibilità che il recupero del calore di scarto dalle acque reflue verso sistemi di teleriscaldamento possa contribuire all'obiettivo della direttiva sul trattamento delle acque reflue (European Council, 2024).

Gli studi dimostrano che il calore di scarto industriale e quello urbano potrebbero soddisfare congiuntamente il 35% del fabbisogno europeo di riscaldamento e raffreddamento (Popovic & et al., 2024). Tuttavia, al momento meno dell'1% del potenziale tecnico per il calore di scarto industriale è utilizzato (Miró & et al., 2015). I paesi con le maggiori quote di calore di scarto nei loro sistemi di teleriscaldamento sono Svezia (9% della fornitura totale di calore), Russia (6%), Francia, Finlandia e Danimarca (tutti appena sopra il 2%) e Germania (1,5%) (Lygnerud & Werner, 2018). Anche per il "miglior" paese della categoria, ovvero la Svezia, i volumi sono bassi e potrebbero essere notevolmente aumentati; si stima ci sia il potenziale per raddoppiare la quantità di recupero del calore di scarto industriale (Energiforetagen, 2022). Inoltre, il potenziale per il calore di scarto urbano accessibile è stato stimato in 7 TWh in Svezia (Cronholm & et al., 2009).

L'elevato potenziale di recupero del calore di scarto e la bassa implementazione del suo recupero riflettono il fatto che in Europa esistono significative barriere che ostacolano questo processo (Lygnerud & Werner, 2018). Tali barriere sono legate al fatto che i mercati del calore sono regolamentati a livello nazionale piuttosto che a livello UE e alla circostanza che il recupero del calore di scarto richiede che le parti interessate interagiscano in nuovi modi, collegando i propri processi in modo sinergico (Lygnerud & et al., 2022 (a)).

4.2 Fonti utilizzate

Le informazioni sul recupero del calore di scarto sono state raccolte esaminando la letteratura e le informazioni disponibili al pubblico fornite dagli operatori di teleriscaldamento e dai proprietari di calore di scarto. La ricerca è stata estesa a livello europeo, per quanto la maggior disponibilità di informazioni sia stata rilevata per mercati di teleriscaldamento più maturi, come i paesi scandinavi

(Svezia e Danimarca), Germania e Austria. La ricerca è stata eseguita utilizzando Google Scholar e sono stati identificati ed esaminati articoli/report/pagine web pertinenti (riferimenti forniti alla fine della relazione).

4.3 Aspetti contrattuali relativi al recupero di calore di scarto con particolare riferimento al teleriscaldamento

Questa sezione è composta da varie sottosezioni. I *costi di acquisto del calore* da parte di un eventuale gestore di rete sono affrontati per primi. Viene quindi discussa l'idea complementare di vendere un *servizio di smaltimento del calore* (recupero del calore di scarto visto come servizio di raffrescamento per il fornitore). Successivamente, si dedica attenzione ai possibili *accordi contrattuali*. La sottosezione seguente contiene informazioni sulle *strategie di gestione del rischio*, mentre quelle ancora successive sono focalizzate sui *meccanismi fiscali* e sui *meccanismi per facilitare l'accesso al credito*. Infine, vengono affrontate le *piattaforme per la regolamentazione del trasferimento del calore di scarto* e viene discusso quali conclusioni si possono trarre dalle barriere attualmente identificate rispetto al recupero del calore di scarto.

Al di là dei dettagli riportati nelle prossime sezioni, un utile esempio di contratto nel settore è quello fornito dall'associazione finlandese Finnish Energy¹¹ (Finnish Energy, 2024).

4.3.1 Costo di acquisto del calore da parte del gestore di rete

L'accordo di recupero del calore di scarto deve essere sviluppato come un accordo "win-win", con vantaggio per entrambe le parti: da questo punto di vista, le possibili soluzioni per fissare il prezzo del calore di scarto possono risultare più complesse delle scelte tecnologiche associate al recupero del calore di scarto stesso. Le negoziazioni sui prezzi sono complesse poiché "nessuno vuole pagare più del necessario" e al tempo stesso tutti devono sentirsi trattati equamente; in una cooperazione bilaterale, i partner sono ugualmente importanti e quindi nessun partner dovrebbe sentirsi "imbrogliato" (Moser & Jauschnik, 2023).

I prezzi del calore di scarto non sono disponibili pubblicamente: è difficile ottenere informazioni sulle cifre alle quali è stato scambiato il calore di scarto, trattandosi di un dato considerato confidenziale e tipicamente non divulgato dalle aziende. Nelle installazioni ex-novo ("greenfield installation"), è stato identificato che il calore di scarto è spesso gratuito inizialmente (sono stati identificati casi in Canada, Irlanda e Germania, con il supporto di un consulente svedese) ma, nel tempo, viene associato a un prezzo da pagare.

Esistono diverse configurazioni di prezzo: in uno studio effettuato su 21 casi di cessione di calore di scarto in Austria (Moser & Jauschnik, 2023) è stato inviato un questionario per acquisire informazioni su diversi aspetti dei relativi accordi. Uno degli aspetti individuati riguarda la pianificazione del modello di business. I risultati mostrano che la fatturazione tende a essere collegata ai volumi di calore di scarto forniti (per es. conteggiati in kWh). I prezzi possono essere indicizzati (per contratto) al prezzo al consumo o agli indici per elettricità, gas, olio combustibile e biomassa (che riflettono la progettazione del sistema di teleriscaldamento o le alternative di backup disponibili). Il prezzo può anche essere collegato al modo in cui l'investimento per il progetto di recupero di calore è stato distribuito tra le parti: se un partner ha effettuato una parte maggiore dell'investimento, il prezzo può essere impostato a favore di questo partner. Il prezzo può anche essere mantenuto più basso fino al rimborso del progetto, per poi aumentare verso indici predeterminati e legati a un'eventuale condivisione degli utili. È possibile prevedere un obbligo di fornitura di calore di scarto (da parte del proprietario del calore di scarto verso l'azienda di teleriscaldamento), nonché collegare (o meno) tale obbligo alla negoziazione del prezzo. Il valore del calore di scarto è altamente specifico per ogni caso, ma almeno

¹¹ <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Model-contract-for-heat-trade-20240109-1.pdf> (visitato febbraio 2025).

qualitativamente sono identificabili evidenti correlazioni con la temperatura fornita (scambio diretto/passivo vs. indiretto/attivo, in quest'ultimo caso tipicamente tramite pompa di calore), la continuità della fornitura (per es. 24/7/365 vs. fornitura diurna nei soli giorni feriali), eventuali garanzie relative alla quantità fornita, l'assegnazione delle responsabilità (funzionamento di sistemi di accumulo e di backup) e la flessibilità della fornitura (ad esempio, copertura dei picchi).

La determinazione dinamica dei prezzi per la distribuzione del calore (Dominkovic & et al., 2018), (Makela & et al., 2015), secondo una logica simile alla determinazione dei prezzi sul mercato del giorno prima nel settore elettrico (ma in questo caso per i costi di produzione del teleriscaldamento), ha mostrato un impatto positivo sulla diffusione del recupero del calore di scarto in Danimarca e Finlandia. Tali schemi possono tuttavia portare a situazioni nelle quali i costi fissi non possono essere recuperati (Liu & et al., 2019). Secondo (Li & et al., 2015), i mercati regolamentati¹² in genere adottano metodi di determinazione dei prezzi basati sul costo totale, mentre i mercati deregolamentati¹³ favoriscono quelli basati sul costo marginale. Il recupero e l'integrazione del calore di scarto sono stati studiati sotto forma di progetti "peer-to-peer"¹⁴ basati su comunità o cooperative (Faria & et al., 2022), (Kohne & et al., 2023) ed è dimostrato che il recupero del calore di scarto e i relativi benefici sono maggiori nei modelli più integrati¹⁵. Le piccole fonti di calore sono spesso numerose, ma, ovviamente, di piccola capacità. Per tali fonti, la partecipazione diretta ad un mercato liberalizzato può essere troppo complessa, ostacolandone potenzialmente l'integrazione. L'iniziativa "Open DH" (Stockholmexergi, 2024) di Stoccolma affronta questo problema coordinando queste fonti tramite una segnalazione dei prezzi dipendente dalla temperatura, secondo criteri esterni e definiti in anticipo rispetto alla gestione del dispacciamento. In (Frölke & et al., 2022) questo tipo di sistema di auto-programmazione è stato confrontato con una configurazione di mercato convenzionale, scoprendo che i sistemi con elevata penetrazione del recupero di calore di scarto richiedono una segnalazione o un coordinamento più sofisticati per mitigare i crescenti costi di mercato e l'eventuale dissipazione del calore in eccesso. Cionondimeno, gli schemi di prezzo legati alle temperature esterne, pur correlati alla domanda di calore, non riescono a catturare i costi operativi marginali effettivi del recupero di calore a bassa temperatura, che sono invece principalmente influenzati dai prezzi dell'elettricità (per via dell'utilizzo di pompe di calore).

In (Monsalves & et al., 2024) sono stati testati 4 schemi di prezzi alternativi per l'integrazione del calore di scarto dai data center tramite pompa di calore. Gli schemi di prezzi sono: (1) il prezzo del calore di scarto corrisponde al costo marginale di funzionamento della pompa di calore, (2) l'azienda di teleriscaldamento stabilisce i prezzi orari del calore di scarto, (3) l'azienda di teleriscaldamento offre un prezzo annuale uniforme e (4) un prezzo indicizzato al costo dell'elettricità. Un risultato è che più granulare¹⁶ è il prezzo (1 e 2), maggiori sono i risparmi generati per l'azienda di teleriscaldamento,

¹² Nei mercati regolamentati il prezzo del teleriscaldamento è regolamentato dalle autorità competenti e tale prezzo determina il profitto che le aziende di teleriscaldamento possono realizzare. In pratica, il prezzo regolamentato è determinato dalla somma di (1) costi operativi, (2) quota di ammortamento dei costi di investimento e (3) utile consentito (il tutto diviso per il calore prodotto). Un rischio di questo approccio è che i costi risultino in parte gonfiati, poiché i profitti consentiti sono solitamente correlati ai costi stessi. In tale contesto, inoltre, i fornitori di calore sono poco incentivati a ridurre i costi efficientando le tecnologie adottate. Il vantaggio è che l'utente finale è tutelato da prezzi stabili.

¹³ Nei mercati deregolamentati il prezzo è spesso basato sul costo marginale, ovvero il costo di un'unità aggiuntiva di prodotto (in questo caso il costo di generare un'unità aggiuntiva di calore). Il prezzo di mercato si ottiene quando domanda e offerta si incontrano. Con questo approccio, le aziende di teleriscaldamento sono maggiormente motivate a ridurre i costi e a investire per promuovere l'efficienza. Un rischio di questo approccio è che le fluttuazioni nei prezzi delle materie prime utilizzate per produrre il calore (per esempio il prezzo di eventuali combustibili) si riflettono direttamente sul costo marginale e, di conseguenza, sul prezzo del teleriscaldamento. Nel caso dei mercati regolamentati i costi operativi si basano su dati storici e sono invece meno sensibili a fenomeni di volatilità.

¹⁴ Il peer-to-peer (P2P) entra in gioco quando vengono coinvolti i cosiddetti *prosumer*. I prosumer (neologismo inglese che combina produttori/producers e consumatori/consumers, già usato in ambito elettrico nel contesto del fotovoltaico) sono utenti del teleriscaldamento che scambiano calore in modo bidirezionale con la rete, ovvero possono sia assorbire che cedere calore (in quest'ultimo caso rientra ovviamente anche il calore di scarto). L'azienda di TLR e i prosumer (così come i prosumer tra loro) sono dei "pari" (entrambi possono essere sia produttori che consumatori di calore). In questo contesto, è importante distinguere tra accordi di mercato centralizzati e decentralizzati. In una situazione con diversi prosumer la fornitura di calore è maggiormente decentralizzata.

¹⁵ Ovvero nei modelli di business che integrano più parti (per esempio diversi produttori di calore di scarto). Una generazione distribuita di questo tipo può essere più energeticamente efficiente e resiliente, pur comportando una maggiore complessità anche a livello amministrativo.

¹⁶ Da (Monsalves & et al., 2024) emerge che maggiore è la *granularità temporale* del sistema di tariffazione, maggiore è l'efficienza in termini di costi. La granularità dei prezzi si riferisce al modo di valutare i costi operativi, per esempio per ora, giorno o anno.

mentre lo schema uniforme (3) genera una distribuzione più equilibrata. Lo schema indicizzato al costo dell'elettricità ha dimostrato risultati divergenti per data center più piccoli e più grandi, offrendo prezzi che massimizzano il recupero del calore di scarto per le strutture più piccole e limitandolo per quelle più grandi a periodi di bassi prezzi dell'elettricità. L'analisi ha portato a concludere che la sostituzione mirata di diverse combinazioni di fonti fossili nel teleriscaldamento è parzialmente possibile, poiché schemi di prezzi specifici influenzano il modo in cui il recupero del calore di scarto viene distribuito (per es. favorendone il recupero nei periodi più rilevanti al fine della sostituzione dei combustibili fossili). In secondo luogo, qualsiasi meccanismo di auto-programmazione dovrebbe offrire lo stesso segnale di prezzo a tutte le fonti di calore di scarto per evitare discriminazioni e garantire un'integrazione efficiente. Infine, lo schema di determinazione dei prezzi dovrebbe mantenere una relativa stabilità con l'aumento dell'integrazione delle fonti di calore di scarto per fornire certezza a lungo termine per gli investimenti necessari.

L'asimmetria informativa complica il contratto di recupero del calore di scarto - In (Monsalves & et al., 2024) viene affrontato il problema dell'asimmetria informativa tra i proprietari del calore di scarto e le aziende di teleriscaldamento. L'asimmetria risiede nel fatto che le aziende di teleriscaldamento spesso hanno un livello di conoscenza più elevato sulle modalità di recupero del calore, nonché informazioni sui propri costi di produzione del calore che non vengono divulgate apertamente. L'asimmetria può portare a una situazione in cui l'azienda di teleriscaldamento massimizza il proprio profitto, potenzialmente a scapito dei fornitori di calore di scarto (valorizzando strategicamente diverse fonti di calore di scarto in modo diverso). Il problema è ulteriormente aggravato dal fatto che i proprietari del calore di scarto sono "fornitori terzi" di reti di teleriscaldamento spesso gestite in base a una specifica regolamentazione. Questa situazione è in parte dovuta alle caratteristiche di monopolio naturale dei sistemi di teleriscaldamento (Söderholm & Wårell, 2011).

4.3.2 Vendita di un servizio di smaltimento del calore (ovvero di un servizio di raffrescamento/raffreddamento)

Il raffrescamento/raffreddamento come servizio (cooling-as-a-service) è sempre più rilevante: il raffrescamento del sistema che fornisce il calore di scarto è evidentemente una conseguenza diretta del recupero del calore di scarto stesso (senza necessità che tale quota venga smaltita da un sistema di raffrescamento aggiuntivo). Nella letteratura sui modelli di business per il recupero del calore di scarto, tuttavia, l'argomento di vendita dell'offerta di un servizio di raffrescamento/raffreddamento non risulta essere sfruttato. Nel progetto ReUseHeat, inclusivo di casi dimostrativi su diverse fonti di calore urbano tra cui recupero da data center, l'azienda di teleriscaldamento coinvolta ha impostato la propria interazione con il data center in termini di semplice recupero del calore di scarto; tuttavia, dopo il completamento del progetto, la stessa azienda è giunta alla conclusione che per installazioni future il recupero del calore di scarto come servizio di raffreddamento potrebbe essere un argomento di negoziazione più efficiente (Lygnerud & et al., 2022 (a)). Un aumento della diffusione del concetto di "servizio" è rilevabile nel settore energetico in generale (Lygnerud & et al., 2021), (Lygnerud & Fransson, 2024) e in tale contesto è probabile che il recupero del calore di scarto verrà sempre più discusso nel contesto dell'offerta di un servizio di raffrescamento/raffreddamento.

Non tutti i proprietari di calore di scarto hanno bisogno di raffrescamento/raffreddamento. Non tutte le aziende/fonti che dispongono di calore di scarto hanno il problema di gestire un sistema di smaltimento del calore: spesso infatti il calore di scarto viene direttamente rilasciato nell'aria ambiente. In tale contesto, il recupero del calore di scarto può comunque essere visto come un processo aggiuntivo che aggiunge un indiretto valore di sostenibilità al sistema (il calore viene utilizzato per scopi alternativi rispetto al rilascio nell'aria) e un valore economico diretto (reddito per il calore di scarto venduto) per il proprietario del calore di scarto. In tale contesto, il recupero di calore di scarto come servizio di raffrescamento/raffreddamento non è un'offerta forte. In altri contesti, invece, il proprietario del calore di scarto deve mantenere una certa temperatura nei propri processi, rendendo la gestione del calore di scarto una questione importante, con un'esplicita necessità di raffreddamento

(i data center o le industrie con processi sensibili alla temperatura rientrano in tali esempi): in tali contesti il *cooling-as-a-service* è naturalmente un approccio promettente.

4.3.3 Determinazione dei termini di durata del contratto

I grandi investimenti hanno una vita operativa più lunga - In uno studio su un insieme di casi svedesi di investimenti nel recupero del calore di scarto industriale (verso il teleriscaldamento) (Lygnerud & Werner, 2018) per il periodo di tempo 1974-2014, il numero medio di anni di esercizio per i progetti ancora in essere al momento dello studio stesso è risultato pari a 18 anni. Per i progetti già terminati la media è risultata pari a 13 anni. Inoltre, la taglia dei progetti ancora in essere è risultata mediamente più elevata rispetto agli altri (tutti i progetti con fornitura di oltre 300 TJ/a inclusi nello studio sono risultati ancora attivi al momento della sua conclusione). Ciò suggerisce che più grande è l'investimento (e quindi più lungo è probabilmente il tempo di ritorno), più lunga è la vita della collaborazione. In effetti, i grandi investimenti richiedono un grande impegno da parte delle parti interessate (Lygnerud & et al., 2022 (b)).

Il tempo di ritorno per il recupero del calore di scarto varia a seconda dei progetti: interviste con alcune aziende industriali svedesi indicano tempi di ritorno da uno a tre anni per gli investimenti nel recupero del calore di scarto (Viklund, 2015). A titolo di esempio, il tempo di ritorno per il collegamento al teleriscaldamento (a fini di recupero di calore) della seconda raffineria di petrolio a Goteborg, Svezia, nel 1997 è stato stimato in circa quattro anni, secondo quanto riportato dai mezzi di informazione locali (Göteborgsposten, 1998). Un altro caso di successo per il recupero di calore di scarto industriale è il caso di Helsingborg, Svezia, implementato in collaborazione con il produttore di scambiatori Alfalaval. Questa cooperazione ha avuto un tempo di ritorno complessivo inferiore a un anno (Alfalaval, 2002). Uno studio del Regno Unito ha stimato che alcuni progetti di recupero di calore industriale potrebbero essere implementati con tempi di ritorno inferiori a due anni (Bessling & Pershad, 2014). Uno studio di un caso italiano per un recupero di calore industriale di piccola taglia ha riportato tempi di recupero dell'investimento di cinque anni (Battisti & et al., 2016). In (Eriksson & et al., 2017) sono stati stimati tempi di ritorno di circa tre anni per una serie di casi riguardanti un cluster petrolchimico a Stenungsund, Svezia. In (Moser & Jauschnik, 2023) è stata condotta un'indagine tra otto aziende austriache relativamente al tempo di ritorno per gli investimenti effettuati nel recupero del calore di scarto. Il tempo di ritorno medio per tale campione è risultato pari a 9 anni. Indicativamente, si può concludere che per le sorgenti di calore di scarto industriali più promettenti potrebbero essere collegate a sistemi di teleriscaldamento esistenti con tempi di ritorno compresi tra uno e sette anni. Tempi di ritorno medi più brevi potrebbero essere ottenibili in paesi con adeguati strumenti di policy per la sostituzione dei combustibili fossili, come carbon tax e emission trading schemes (Lygnerud & Werner, 2018).

Accordi contrattuali decennali potrebbero essere un punto di partenza rilevante: secondo i risultati del progetto UE SoWhat (SoWhat, 2024), mirato a promuovere il recupero del calore di scarto in tutta Europa, il periodo contrattuale di una collaborazione per il recupero del calore di scarto dovrebbe riflettere il tempo di ritorno per l'azienda di teleriscaldamento e l'entità dell'investimento del fornitore di calore in eccesso (Lygnerud & et al., 2022 (b)). Dieci anni sono stati suggeriti dalla maggior parte dei siti dimostrativi nel progetto a causa degli elevati costi iniziali. Tale periodo corrisponde anche alla durata contrattuale iniziale per i due siti di progetto con contratti già in essere. Nel caso di tali siti, dopo i primi dieci anni di collaborazione i contratti sono stati estesi di due anni alla volta. È importante rivedere i contratti regolarmente: il personale da entrambe le parti può cambiare ed è necessario un dialogo e un allineamento continuo sul motivo per cui viene intrapreso il recupero del calore. Ciò aiuta ad evitare che i vantaggi dell'impostazione dell'investimento iniziale vengano dimenticati.

4.3.4 Strategie per individuare e gestire i rischi di investimento

In base all'esame della letteratura, sono emersi diversi modi per gestire il rischio di investimento. Le principali modalità identificate sono discusse nel seguito: condivisione del rischio, sovvenzioni,

regolamentazione dell'accesso di terze parti (third party access regulation). Una discussione a parte è infine dedicata alla gestione di un caso speciale e non trascurabile di rischio, dato dalla possibilità che la fonte di calore di scarto venga a cessare anticipatamente (per esempio per la chiusura dell'attività industriale corrispondente).

Condivisione del rischio

Dal punto di vista delle aziende di teleriscaldamento, i contratti di recupero del calore di scarto sono una questione di bilanciamento dei rischi aziendali. Se una parte si assume un rischio maggiore, ad esempio la maggior parte dell'investimento iniziale, l'altra parte deve dare di più, ad esempio in termini di un lungo periodo contrattuale (VEAB, 2020). Un esempio di assunzione di rischi condivisi è stato implementato a Copenaghen, in Danimarca, dove una società di proprietà statunitense, CP Kelco, e la società DH VEKS hanno deciso di collaborare per recuperare il calore di scarto dalla produzione di pectina di CP Kelco. Le due organizzazioni partivano da diversi requisiti in termini di tempo di ritorno, con CP Kelco vincolata dall'esigenza di un tempo di ritorno più breve rispetto all'azienda di teleriscaldamento. Tale differenza è stata risolta tramite un investimento condiviso: CP Kelco ha ottenuto un tempo di ritorno per la propria parte dell'investimento più breve di quello di VEKS, grazie alla possibilità per VEKS di fornire il cosiddetto "capitale paziente" (patient capital) (Gullev, 2019). In un altro studio, incentrato sull'investimento condiviso in una pompa di calore, è stato identificato che se gli investimenti sono condivisi il sistema nel suo complesso deve essere ottimizzato (Lygnerud & et al., 2021) assicurando che il valore sia massimizzato per tutte le parti. Per arrivare a un investimento redditizio nel recupero del calore in eccesso, la competenza in materia di efficienza energetica da parte dell'azienda di teleriscaldamento e del fornitore di calore in eccesso è fondamentale (Cronholm & et al., 2009), (Grönkvist & Sandberg, 2006) così come gli incentivi condivisi. La suddivisione degli incentivi, quando si implementano misure di efficienza energetica (oltre al recupero del calore di scarto) è una pratica relativamente comune (Thollander & et al., 2010).

Sovvenzioni

Per garantire la realizzazione degli investimenti iniziali per il recupero del calore di scarto, talora piuttosto ingenti, può essere importante il sostegno pubblico. Un esempio di questo tipo è dato dal caso del recupero di calore di scarto industriale (da un'attività mineraria) nella città di Kiruna, situata nella Svezia settentrionale (Lygnerud & et al., 2024). I rischi associati agli investimenti iniziali possono infatti essere ingenti e gli schemi finanziari in cui partecipano sia fondi privati che pubblici possono assorbire meglio il rischio rendendo gli investimenti più convenienti (Popovic & et al., 2024). Tali aspetti sono stati recentemente discussi nel gruppo di lavoro "Heating and Cooling" della piattaforma "Investors Dialogue on Energy", avviata nel 2022. Secondo uno studio, una volta che un investimento di grande entità è stato intrapreso, tende a cambia carattere, passando dall'essere percepito come ad alto rischio all'essere percepito come una garanzia per una collaborazione continua e a lungo termine (Lygnerud & et al., 2022 (b)). Uno schema di finanziamento interessante è il Wärmenetze 4.0 lanciato dal governo tedesco circa un decennio fa con l'intento di supportare gli investimenti sia per studi di fattibilità per installazioni di teleriscaldamento che ricorrono a fonti di calore a bassa temperatura, sia per aspetti di implementazione. Il finanziamento è interessante in quanto nella sua forma specifica è unico in Europa, contribuendo a promuovere la prossima generazione di tecnologia teleriscaldamento (particolarmente orientata all'abbassamento delle temperature). Nel contesto delle nuove tecnologie (recupero del calore di scarto a bassa temperatura), alle condizioni attuali di mercato è stata evidenziata la necessità di incentivi per realizzare dimostratori (Wheatcroft & et al., 2020).

Regolamentazione dell'accesso di terze parti (Third Party Access, TPA)

Lo studio di (Bürger & et al., 2019) ha affrontato il tema del TPA in tutta Europa. In tale studio vengono menzionate indagini specifiche sul TPA per condizioni di mercato specifiche – ad esempio per Svezia (Energimyndigheten, 2011), Germania (Bundeskartellamt, 2012) e Finlandia (Pöyry, 2018) – e su concetti di TPA più generici (Korhonen, 2014), (Söderholm & Wårell, 2011).

A parte la Polonia, nessuno Stato membro ha introdotto una forma di TPA completa, che consentirebbe a fornitori/distributori di calore indipendenti (terze parti) di accedere a una rete di riscaldamento per rifornire un proprio parco clienti. Al momento, tuttavia, nemmeno in Polonia tale possibilità di accesso alla rete risulta essere utilizzata, a causa delle normative troppo complicate e restrittive (Korhonen, 2014). Alcuni Stati membri consentono l'accesso alla rete sul lato della produzione (TPA del produttore), ove l'accesso alla rete sia regolamentato (Bürger & et al., 2019). In Lettonia, ad esempio, i gestori della rete sono obbligati ad acquistare energia termica da tutti i produttori di calore, compresi i produttori indipendenti, a condizione che il prezzo sia al di sotto di una soglia e le condizioni tecniche siano soddisfatte. Gli accordi tra un produttore di calore e il gestore della rete devono essere in linea con i requisiti stabiliti dalla legge sull'energia lettone. Un sistema simile è presente anche in Lituania. Ci sono alcuni paesi, al contrario, senza alcuna regolamentazione per il TPA, ad esempio Svezia, Austria e Germania. Qui, l'accesso alla rete è negoziato tra le parti coinvolte su base completamente volontaria. La Danimarca persegue una strategia diversa: il mercato del teleriscaldamento è dominato da strutture di proprietà senza scopo di lucro e la legislazione è fortemente orientata a tutelare il cliente. Per questo motivo, i decisori politici non sembrano al momento prevedere necessità di un'applicazione del TPA.

Rischio di cessazione anticipata della fornitura del calore di scarto (chiusura della fonte di calore)

Il rischio che il fornitore di calore di scarto interrompa le proprie attività industriali è un rischio importante da considerare nel contratto. Sono state effettuate indagini (Viklund, 2015) conducendo interviste dirette riguardo a tali tematiche, quali il rischio di ridotta disponibilità di calore a causa della chiusura, del trasferimento o della modifica del processo di produzione che crea il calore in eccesso da parte dell'industria. Il rischio di chiusura dell'industria è stato anche menzionato come fattore chiave in uno studio sui fattori che promuovono o inibiscono le collaborazioni tra industria e aziende di teleriscaldamento (Thollander & et al., 2010). Un rischio ridotto è stato presentato in (Trygg & et al., 2009), in cui la cooperazione per il recupero del calore può effettivamente compensare, o almeno ridurre, il rischio di chiusura di un'azienda, poiché la remunerazione per il calore recuperato può diventare un flusso di entrate aggiuntivo a supporto del processo industriale.

In (Lygnerud & Werner, 2018) sono state studiate le collaborazioni per il recupero del calore di scarto in Svezia. Sono state analizzate 107 forniture di calore industriale di scarto. Il primo caso di recupero è stato avviato nel 1974 ed è ancora in corso nel 2024. In 33 casi sui 107 considerati la fornitura è risultata terminata al momento dello studio. È stato identificato che il numero di anni operativi per le collaborazioni terminate era, in media, di 13 anni. Per 22 delle 33 collaborazioni terminate, la vita operativa è risultata superiore a 13 anni. Maggiore probabilità di cessazione è stata identificata per piccole forniture di calore (tra 9 e 48 TJ/anno) e installazioni con pompe di calore (tali collaborazioni sono state influenzate negativamente dall'aumento dei prezzi dell'elettricità). È stato identificato (VEAB, 2020) che l'incertezza dovuta al rischio di chiusura della fonte di calore (l'industria) o al rischio che l'utente finale passasse a un'altra fonte di calore o freddo può essere mitigata da accordi contrattuali come una "clausola di uscita". Ad esempio, si può stabilire con quanto anticipo una delle parti coinvolte deve annunciare che intende abbandonare la collaborazione e come i costi che ne derivano saranno suddivisi tra i partner. Nel progetto ReUseHeat, è stato inoltre identificato che i contratti possono essere redatti in modo tale che, in caso di trasferimento della proprietà della fonte di calore, il nuovo proprietario sia obbligato a continuare a fornire calore (Lygnerud & et al., 2019).

Obbligo di recupero di calore

In Germania, il decreto per l'efficienza energetica, aggiornato nel 2023 (Energieeffizienzgesetz, EnEfG), stabilisce che i grandi data center devono recuperare il calore di scarto. La Germania ha il numero più alto di data center in Europa e si classifica al terzo posto a livello mondiale dietro USA e Cina. Circa 1000 dei 3000 data center tedeschi sono influenzati da tale decreto, con ulteriori requisiti specifici per i nuovi data center dal 1° luglio 2026 (Holtermann, 2024). Sebbene l'obbligo sia esplicito, il decreto non

specifica alcuna regolamentazione sui meccanismi di prezzo del calore di scarto. Questo tipo di obbligo, per una fonte esplicita di calore di scarto, al momento non sembra essere previsto da altri paesi.

4.3.5 Meccanismi fiscali (detrazioni e credito di imposta)

Sono disponibili solo informazioni limitate sui meccanismi fiscali relativi al recupero del calore di scarto. La ricerca di applicazioni di meccanismi fiscali al calore di scarto ha dato risultati limitati. Un caso di interesse è stato identificato per la Danimarca. In questo caso è stata varata una legge sul calore di scarto per impedire alle industrie di generare volumi di calore di scarto maggiori del necessario, a soli fini di vendita. Tale situazione è stata gestita limitando i prezzi del calore di scarto che possono essere pagati dalle aziende di teleriscaldamento ai fornitori di calore di scarto. Il problema pratico è, tuttavia, che i costi del recupero del calore di scarto non sono sempre compatibili con tale limite (ad esempio se la fonte di calore di scarto è a bassa temperatura ed è necessaria l'installazione di una pompa di calore aggiuntiva) e la tassazione può scoraggiare gli investimenti nel recupero del calore di scarto (Dansk & Fjernvarme, 2024), a causa di una “regolamentazione eccessiva”. In Svezia, l'ambizione di una migliore circolarità dei materiali ha portato all'introduzione di una tassa sulla combustione dei rifiuti. La tassa è rimasta in vigore dal 2020 al 2022, ma è stata successivamente rimossa, non avendo prodotto gli effetti sperati e danneggiando invece le aziende di teleriscaldamento che ricorrevano alla termovalorizzazione dei rifiuti (Skatteverket, 2024). Per quanto il calore generato dalla combustione dei rifiuti non sia strettamente definibile come calore di scarto (secondo le definizioni contenute nella nuova direttiva sulle energie rinnovabili), tale tassa può essere considerata come un esempio di regolamentazione relativa al settore del recupero di calore che non ha funzionato.

4.3.6 Meccanismi per facilitare l'accesso al credito

L'attuale logica di investimento non promuove gli investimenti nel recupero del calore di scarto - In (Lygnerud & et al., 2022 (a)), è stato studiato il recupero del calore di scarto da fonti urbane. Una conclusione significativa è che le attuali strutture di finanziamento cercano di applicare al settore delle energie rinnovabili la stessa logica di investimento usata per gli investimenti convenzionali: vale a dire un rendimento elevato abbinato a un basso rischio e a un'elevata liquidità. Il recupero del calore di scarto urbano, come ad esempio il recupero del calore di scarto da data center, richiede spesso investimenti inferiori alla soglia dei 5 milioni di euro che gli investitori istituzionali tendono ad applicare quando investono. Di conseguenza, tali investimenti risultano troppo piccoli per questi investitori. Nel progetto ReUseHeat, è stata esplorata la possibilità di raggruppare più investimenti nell'ambito del recupero di calore di scarto urbano in modo da arrivare a un importo congiunto superiore ai 5 milioni di euro. Quando questa opzione è stata prospettata agli investitori coinvolti, è stato tuttavia rilevato che un portafoglio composto da vari investimenti di piccola taglia risulta associato a rischio più elevato (per esempio rischi dovuti alla compresenza di diversi quadri nazionali nel caso in cui i progetti siano distribuiti su paesi diversi, rischi associati alla novità del settore del recupero del calore di scarto urbano, rischi legati alla molteplicità dei proprietari/gestori coinvolti ecc.). Nell'ambito di tale progetto si è concluso che sarebbe necessaria una linea di credito dedicata ai progetti di recupero del calore di scarto urbano. La linea di credito potrebbe essere necessaria per un periodo limitato, per esempio 3-4 anni, per poi essere gradualmente estinta con la progressiva maturazione del relativo mercato (Bonvincini, 2020). L'idea della linea di credito in oggetto consiste nel ridurre il rischio di investimento mediante fondi pubblici come garanzia (resi disponibili da una banca istituzionale, in veste di sponsor, verso una o più banche commerciali nell'UE; verrebbe così emesso un fondo di garanzia del credito da parte di entità nazionali o sovranazionali finalizzato a coprire i rischi relativi a prestazioni/disponibilità/ritardi relativi alla tecnologia o alla fonte di calore di scarto urbano). Per tale linea di credito si è ipotizzata una capacità totale di 20-30 milioni di euro con un massimo di 1-2 milioni di euro per progetto, lavorando secondo un ciclo specificato.

I finanziamenti pubblici e privati combinati (Blended Finance) possono ridurre il rischio degli investimenti nel recupero del calore di scarto. In un altro progetto, Rewardheat, è stato affrontato

esplicitamente anche il ruolo dell'investitore nel finanziamento dei sistemi di teleriscaldamento. È emersa la necessità di credito pubblico per garantire investimenti in tale settore (Strolený & et al., 2024). Altre analisi hanno approfondito se ed in che modo i meccanismi di blended finance possano sbloccare gli investimenti necessari per rinnovare vecchi e costruire nuovi sistemi di teleriscaldamento (Popovic & et al., 2024). In tale studio, si è concluso che le attuali strutture finanziarie non incentivano gli investimenti in progetti sostenibili con profilo di rischio diverso (in termini di rischio-rendimento-liquidità) rispetto a quello a cui gli investitori sono normalmente abituati. Le infrastrutture di teleriscaldamento, ad esempio, generano ritorni a lungo termine e quindi non sempre considerati interessanti alternative di investimento (anche se possono avere caratteristiche di sostenibilità molto forti, soprattutto quando si recupera il calore di scarto). Per superare la comune pratica di basso rischio, alto rendimento e alta liquidità, le strutture finanziarie esistenti andrebbero rivisitate. Un modo per farlo è introdurre una combinazione di fondi pubblici e privati per ridurre il rischio dell'investimento, tipicamente denominato blended finance o sistema integrato di finanziamenti.

Un caso piuttosto interessante a livello di fondi agevolati è per esempio costituito dal KommuneKredit danese¹⁷. KommuneKredit è un'istituzione di gestione del credito con lo scopo speciale di fornire finanziamenti per la crescita locale e la transizione energetica per comuni e regioni danesi. Può fornire sia linee di credito agevolate che contratti di leasing/locazione.

4.3.7 Piattaforme per la regolamentazione del trasferimento del calore di scarto

Al momento, non esiste una piattaforma UE per la regolamentazione del recupero del calore di scarto - Non esiste una piattaforma unanime che regoli i trasferimenti di calore di scarto o la determinazione del prezzo del calore di scarto. La legislazione tedesca è, tuttavia, già costruita attorno a diversi parametri rilevanti per il settore, dove si ambisce per esempio a creare un *archivio accessibile al pubblico sul calore di scarto disponibile in Germania*: tutte le industrie che generano calore di scarto devono fornire informazioni sulle proprie attività, compresi i volumi di calore di scarto, al governo federale (Bundesregierung, 2023). La piattaforma ("Plattform für Abwärme") è da poco disponibile online¹⁸.

È possibile identificare il potenziale del calore di scarto: diversi progetti finanziati dall'UE hanno creato strumenti per identificare il potenziale di calore di scarto. Esempi sono Heat Roadmap Europe (Aalborg University, 2024), il progetto SoWhat (SoWhat, 2024), il progetto Thermos (Thermos, 2024), il progetto ReUseHeat (Reuseheat, 2024), il progetto Rewardheat (Rewardheat, 2024), il progetto Planheat (Planheat, 2024), il progetto LIFE4HeatRecovery (LIFE4HeatRecovery, 2024). Un interessante progetto con respiro più locale è il progetto Interreg CE-HEAT¹⁹, che riguarda tra gli altri il Friuli Venezia Giulia: il progetto ha predisposto mappe online di calore di scarto e un tool con dei calcoli di massima (ormai purtroppo significativamente datati, a seguito del completamento del progetto). La valutazione del potenziale è importante e costituisce il primo passo per sbloccare investimenti nel recupero del calore di scarto. Un limite degli strumenti dei progetti sopra menzionati è, tuttavia, la mancanza di uno sviluppo sufficiente a garantire la definizione di uno standard europeo per l'identificazione del recupero del calore di scarto.

Al momento nell'UE non esiste una regolamentazione omogenea sul recupero del calore di scarto, tuttavia esistono informazioni su cosa considerare per un'efficace definizione delle relative politiche. Come menzionato all'inizio di questo capitolo, l'ultima revisione della direttiva europea sull'efficienza energetica (EED) ha identificato il calore di scarto come una fonte di fatto equiparabile al calore rinnovabile. Ha inoltre introdotto l'obbligo di sviluppare piani di riscaldamento e raffrescamento per

¹⁷ <https://www.kommunekredit.com/> (visitato febbraio 2025).

¹⁸ https://www.bfee-online.de/BfEE/DE/Effizienzpolitik/Plattform_fuer_Abwaerme/plattform_fuer_abwaerme_node.html (visitato febbraio 2025).

¹⁹ <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/CE-HEAT.html> (visitato marzo 2025).

le città con più di 45.000 abitanti. A causa dell'eterogeneità del mercato del calore europeo, è improbabile possa svilupparsi un unico standard applicabile in tutti i paesi. Un paese che si è mosso in anticipo per includere tali aspetti nelle proprie normative è tuttavia la Germania, che ha introdotto alcuni obblighi relativi all'utilizzo del calore di scarto dai data center e alla pianificazione urbana. Sono inoltre disponibili conoscenze da studi precedenti che possono servire come base per un'efficace definizione delle politiche. Esistono barriere note associate al recupero del calore di scarto. Alcuni esempi rilevanti sono i seguenti (Lygnerud & et al., 2024):

- Il costo dei combustibili concorrenti è basso
- Incertezze associate a nuove soluzioni di riscaldamento
- Mancanza di know-how su come stabilire il sistema di recupero del calore di scarto
- Altri incentivi superano l'investimento non incentivato nel recupero del calore di scarto (come sussidi per solare, eolico e altre energie rinnovabili)
- Domanda e offerta di calore di scarto non corrispondenti (a causa della stagionalità)
- Lunga distanza tra la fonte di calore e l'uso del calore (erosione del business case)
- Regolamentazione e leggi esistenti (spesso nessuna regolamentazione sul calore di scarto, il che significa che rientra in altre categorie e può richiedere permessi sproporzionati)
- Grandi costi di investimento associati a una tradizione di richiesta di brevi tempi di ritorno dell'investimento
- Incertezza associata al collegamento dei processi di due organizzazioni tra loro
- Mancanza di comprensione dei processi reciproci e di come si possa stabilire un accordo win-win
- Rischio di chiusura della fonte di calore di scarto
- Diverse concezioni del valore del calore
- Basso livello di fiducia tra le parti interessate
- Lunghi tempi di consegna necessari per arrivare a un accordo commerciale

4.4 Ulteriori commenti

Sulla base delle barriere riassunte nella sezione precedente, si possono trarre conclusioni sulla definizione delle politiche pertinenti. Ad esempio, sarebbe opportuno che gli incentivi per le energie rinnovabili comprendessero anche il calore di scarto. Sarebbero inoltre auspicabili azioni di supporto per installazioni pilota, in modo da consolidare il know-how su come installare sistemi che comprendono calore di scarto e teleriscaldamento. Il calore di scarto potrebbe essere meglio definito e affrontato nella regolamentazione per ridurre i rischi ad esso associati (dal punto di vista dei permessi e dalla prospettiva degli incentivi). Inoltre, è necessario maggiore supporto per incoraggiare l'interazione tra le parti interessate rimuovendo le barriere relative al valore del calore, al basso livello di fiducia e ai lunghi tempi di fornitura. Può anche essere necessario il supporto per promuovere l'accoppiamento tra diversi settori, come ad esempio settore del calore ed elettricità (mediante pompe di calore). Dovrebbe essere possibile seguire la logica della direttiva sulle prestazioni energetiche degli edifici (EPBD), per garantire che gli edifici pubblici siano precursori. Includendo per esempio il recupero del calore di scarto negli appalti pubblici, come elemento standard ogni volta che venga costruito un nuovo edificio pubblico o ne venga ristrutturato uno esistente, tale pratica potrebbe diffondersi ampiamente e a un ritmo più elevato.

Infine, i driver per realizzare collaborazioni sul calore di scarto, per le aziende, sembrano essere costi ridotti e un impatto ambientale reale (e quindi un marchio aziendale migliorato, per clienti e

dipendenti). I decisori politici locali spesso condividono la spinta ad avere un impatto ambientale reale: tale aspetto può essere determinante, dato che il successo dei progetti di recupero di calore di scarto è spesso collegato a un’elaborazione delle politiche locali di supporto (Moser & Jauschnik, 2023), (Päivärinne, 2017), (Södergren & Palm, 2021), (Fritz & et al., 2022).

Di fatto, il quadro legislativo europeo e le azioni messe in pratica dai paesi membri dimostrano come il recupero del calore di scarto sia considerato sempre più importante per la decarbonizzazione del settore del riscaldamento e del raffrescamento. Con la nuova versione della direttiva sull’efficienza energetica (EED) emanata nel 2023, il calore di scarto è stato di fatto equiparato per la prima volta ad una fonte di energia rinnovabile, contribuendo a promuoverne l’utilizzo a livello europeo. Rimane tuttavia importante osservare che tale tipo di risorsa può variare significativamente a livello locale e che è quindi necessario valutarne l’utilizzo sulla base di tali condizioni, in linea con la logica del presente studio. Allo stesso tempo, è indubbiamente utile stabilire un quadro normativo complessivo (per es. come fatto dalla Germania a livello nazionale) che possa essere applicato nelle varie realtà. Per arrivare allo sviluppo di normative efficaci per la valorizzazione del calore di scarto, è probabilmente necessario coniugare linee guida nazionali con una adeguata libertà per i decisori politici locali. Anche la possibile applicazione della “blended finance” (finanziamenti misti tra pubblico e privato) rientra in una logica simile: i fondi pubblici a livello nazionale riducono il rischio dell’investimento locale nel recupero del calore di scarto e allo stesso tempo consentono agli investitori interessati a progetti locali di contribuire agli stessi.

5 Analisi geospaziale del potenziale calore di scarto

5.1 Introduzione

L'analisi geospaziale del potenziale calore di scarto ha l'obiettivo di individuare nel territorio della provincia di Bolzano le possibili fonti di calore in eccesso, recuperabile o per autoconsumo o tramite teleriscaldamento per contribuire a soddisfare la domanda di energia per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria delle zone circostanti e quindi a ridurre il consumo di fonti fossili.

Le fonti di calore così definite si possono quindi ricercare tra i processi produttivi di specifiche attività industriali ed alcune attività del settore terziario ovvero centri commerciali, supermercati, stadi del ghiaccio e ospedali.

Il calore derivante dalle prime è in parte disponibile a temperatura 'medio-alta' (superiore a 80 – 100 °C), ovvero compatibile con quella della rete di teleriscaldamento, e quindi già direttamente utilizzabile. Nel caso delle attività del settore terziario, il calore deriva dal funzionamento di gruppi di refrigerazione e raffrescamento e pertanto sarebbe disponibile ad una temperatura definita 'bassa' (inferiore a 80 – 100 °C) rendendo necessario l'utilizzo di pompe di calore per portare la temperatura al livello di quella della rete di teleriscaldamento.

A partire da informazioni legate al tipo di attività e al numero di dipendenti oppure legate alle dimensioni dell'edificio (area di base e numero di piani/altezza) presso il quale è ubicata l'attività, è possibile valutare il quantitativo annuo di calore di scarto disponibile attraverso l'utilizzo di coefficienti derivanti da analisi statistiche e da ricerca in letteratura.

Pertanto, per ogni attività posizionata sul territorio, è possibile associare un valore di calore di scarto alle coordinate corrispondenti all'indirizzo presso il quale è situata la fonte e rappresentarlo attraverso mappe realizzate in GIS (geographic information system). Tale risultato diventa il punto di partenza per le successive valutazioni riguardanti l'integrazione del calore di scarto in eventuali reti di teleriscaldamento, anche considerando le possibilità di espansione di queste ultime.

5.2 Metodologia

La metodologia di calcolo del calore di scarto è basata sulla combinazione tra informazioni specifiche relative alle attività individuate e dati generali presenti in letteratura (Huang, Bühler, & Holm, 2015).

Nei paragrafi seguenti si descrive nel dettaglio la procedura seguita per il calcolo, distinguendo il caso delle attività di tipo industriale dal caso delle attività del settore terziario.

5.2.1 Calcolo del calore di scarto da attività industriali

Database danese

Il calcolo del calore di scarto derivante da attività di tipo industriale è stato basato sulle informazioni originariamente raccolte in uno studio della Technical University of Denmark (Huang, Bühler, & Holm, 2015) e successivamente rielaborate dall'università di Aalborg (Moreno, et al., 2024).

In tali studi, dai dati dell'Istituto di statistica danese sul consumo di energia attribuibile a ciascuno di circa 50 settori industriali studiati e suddivisi per fasce di numero di dipendenti, ripartendo tali consumi tra diversi processi tipici di ogni settore e applicando delle percentuali di calore di scarto (derivanti da letteratura), è stato valutato il calore di scarto degli stessi settori, a vari livelli di temperatura. Un esempio pratico dei risultati ottenuti è disponibile in una mappa online per l'intera Danimarca (https://energymaps.plan.aau.dk/?page_id=402, consultato 31 dicembre 2024).

Da queste informazioni è stato ottenuto pertanto un database in cui ad ogni codice di attività e per ogni fascia di numero di dipendenti è associato un valore annuale di calore di scarto espresso in GJ/a per ognuno dei tre livelli di temperatura considerati nello studio iniziale.

Le fasce del numero di dipendenti sono intervalli numerici tra un numero minimo e massimo dipendenti. Per praticità, a ciascuna di tali fasce è stato associato un codice, così come riportato nella seguente tabella:

Tabella 4. Codici che identificano le fasce di classificazione del numero di dipendenti con rispettivo limite inferiore e superiore secondo lo studio dell'università di Aalborg. Per i codici si è mantenuta la numerazione originale tra 5 e 10 utilizzata nel database danese.

Codice fascia dipendenti	Numero minimo dipendenti	Numero massimo dipendenti
5	20	49
6	50	99
7	100	199
8	200	499
9	500	999
10	1000	999999

I livelli di temperatura del potenziale calore di scarto recuperabile sono a loro volta stati classificati in 3 fasce:

- “low” corrispondente a temperature inferiori a 100 °C
- “medium” corrispondente a temperature da 100 a 500 °C
- “high” corrispondente a temperature superiori a 500 °C

Volendo sintetizzare quanto detto con notazione compatta si ha che in questo approccio il calore di scarto può essere calcolato come funzione di 3 argomenti:

$$Q = Q(s, i_d, l_T)$$

dove:

- Q è il potenziale calore di scarto secondo il database danese
- s è il settore produttivo considerato
- i_d è il codice/indice della fascia di dipendenti considerata (variabile tra 5 a 10 come mostrato in Tabella 4, secondo la numerazione utilizzata nel database danese di partenza).
- l_T corrisponde al livello di temperatura e quindi è un indice che può assumere 3 valori corrispondenti a “low”, “medium” e “high” come spiegato sopra.

Ne deriva che, considerata un'azienda di un determinato settore, nella stima del database danese la quantità di calore di scarto potenzialmente disponibile ad un certo livello di temperatura varierà a gradino in base alla fascia a cui appartiene il numero di dipendenti dell'azienda.

Da questo deriva inoltre che due aziende classificate secondo lo stesso codice di settore e aventi ciascuna un numero di dipendenti diverso dall'altra ma corrispondente allo stesso codice dipendenti (stessa fascia), avranno lo stesso valore di calore di scarto.

Rielaborazione del database danese

Volendo conferire continuità alla variazione del calore di scarto in relazione al numero di dipendenti, i valori del database iniziale sono stati interpolati linearmente. È stata quindi definita una nuova funzione:

$$Q_{lin}(s, d, l_T)$$

dove d è l'effettivo numero di dipendenti dell'azienda di cui si vuole calcolare il calore di scarto. Per ogni fascia i_d tale numero d varia tra un minimo $d_{min}(i_d)$ e un massimo $d_{max}(i_d)$ e ha il valore medio $\bar{d}(i_d) = [d_{min}(i_d) + d_{max}(i_d)]/2$.

Per ogni livello di temperatura di ogni settore economico considerato dal modello danese, è stata pertanto effettuata un'interpolazione lineare tra i valori di calore di scarto in corrispondenza del numero medio di dipendenti per ogni coppia di fasce di dipendenti consecutive. In particolare, la pendenza p_d tra i due punti medi di due fasce consecutive può essere espressa come:

$$p_d(s, i_d, l_T) = \frac{Q(s, i_d + 1, l_T) - Q(s, i_d, l_T)}{\bar{d}(i_d + 1) - \bar{d}(i_d)}$$

Pertanto, per una generica fascia $\bar{d}(i_d) \leq d < \bar{d}(i_d + 1)$ l'espressione per il calore interpolato sarà:

$$Q_{lin}(s, d, l_T) = Q(s, i_d, l_T) + p_d(s, i_d, l_T) \cdot [d - \bar{d}(i_d)]$$

La funzione interpolata assume il valore di partenza per il valore medio di ogni fascia, ovvero $Q_{lin}(s, d = \bar{d}(i_d), l_T) = Q(s, i_d, l_T)$.

Come si vede dalla precedente Tabella 4, il database danese non contiene coefficienti per un numero di dipendenti inferiore a 20 e nella fascia più alta aggrega aziende con un numero molto elevato di dipendenti.

Per quanto riguarda il primo caso, i valori di calore di scarto corrispondenti a meno di 20 dipendenti sono stati estrapolati considerando nullo il valore di calore di scarto per zero dipendenti, ovvero $Q_{lin}(s, d = 0, l_T) = 0$. Quindi per $d < \bar{d}(i_d = 5) = 35$, si ha $Q_{lin}(s, d, l_T) = d \cdot Q(s, i_d = 5, l_T)/35$.

Per quanto riguarda la fascia più alta ($i_d = 10$), si è scelto di approssimare l'interpolazione assumendo $d_{max}(i_d = 10) = 1500$. Al di sopra di tale soglia, sono stati estrapolati i valori di calore di scarto considerando che la pendenza resti la medesima della fascia precedente.

Infine, laddove il database danese presentava, per uno stesso codice settore e livello di temperatura, dei "buchi" a livello di fasce di dipendenti, è stata fatta un'interpolazione lineare tra i valori disponibili.

Ne è risultato un nuovo database di coefficienti ovvero di pendenze per cui, per un tipo di attività, si risale al valore di calore di scarto (in MWh/a), su tre livelli di temperatura, corrispondente al numero di dipendenti dell'attività studiata.

Volendo applicare i valori ottenuti alle aziende italiane, è stato necessario trovare una corrispondenza tra i codici di settore del modello danese e i codici NACE con cui vengono classificate le attività economiche nella Comunità Europea (i codici NACE sono equivalenti ai codici Ateco italiani). La migliore corrispondenza si ha fino ad un massimo di 3 cifre dei codici NACE.

Criterio di selezione attività

Volendo definire i criteri di selezione delle attività della provincia di Bolzano, è stata fatta prima una verifica della dipendenza del calore di scarto dal numero di dipendenti avendo a disposizione dei dati (fonte AIDA, Analisi Informatizzata Delle Aziende di Capitale Italiane) da un precedente studio disponibili per la sola città di Bolzano.

Applicando il metodo di calcolo sopra esposto all'elenco di attività del comune di Bolzano, senza applicare alcun filtro sul numero di dipendenti è risultato che dalle 728 attività esistenti il potenziale calore di scarto equivale a 72.6 GWh/a.

Considerando le sole attività con un numero di dipendenti maggiore o uguale a 10 è risultato che il numero di attività scende a 208 (meno del 30 % del numero iniziale) e il calore di scarto potenziale equivale a 65.6 GWh/a (oltre il 90 % del valore di partenza). Questo significa che applicando questo filtro – poiché le attività con meno di 10 dipendenti, pur risultando oltre il 70% del totale, generano meno del 10% del potenziale totale di calore di scarto – si escludono attività con una densità di calore di scarto estremamente bassa e quindi di poco interesse per progetti di recupero di calore. Inoltre, la quantità complessiva di calore di scarto trascurata è inferiore al 10 %.

Applicando un ulteriore filtro per escludere le aziende con un numero di dipendenti pari o inferiore a 20, si è ottenuto un potenziale calore di scarto rimanente di 59.7 GWh/a derivante da 113 attività. In pratica, il numero di attività viene ridotto di un ulteriore 13 % rispetto al totale iniziale, mentre il calore di scarto residuo è pari a circa l'82 % del valore di partenza.

Sulla base di questa semplice analisi parametrica si è optato per mantenere un filtro a un minimo di 10 dipendenti per la raccolta di tutti i dati delle aziende sul territorio provinciale. In questo modo è stato possibile limitare significativamente la mole di dati da gestire, eliminando comunque casi di scarsa fattibilità pratica (dal punto di vista del recupero di calore) e mantenendo indicativamente il 90 % del calore di scarto totale (assumendo di poter estrapolare l'analisi effettuata per il caso di Bolzano). Aumentare la soglia a un minimo di 20 dipendenti avrebbe comportato di ridurre il calore di scarto a circa l'80 % (valore comunque significativo) senza un ulteriore vantaggio particolarmente significativo in termini di riduzione dei dati da gestire.

Raccolta dati

L'elenco delle aziende situate nel territorio della provincia è stato richiesto alla Camera di Commercio della provincia di Bolzano. In particolare, sono state richieste le informazioni relative a tutte le attività applicando i seguenti parametri di ricerca:

- Solo imprese attive
- Luogo: Provincia di Bolzano
- Codici Ateco (equivalenti ai codici NACE): Tutti
- Numero degli addetti: ≥ 10
- Sede legale + Unità locali + Sedi secondarie
- Importanza dell'attività: prevalente + primaria

Preparazione dati per l'analisi e calcolo

Nel caso di aziende con una sede legale e più unità locali con lo stesso nominativo, il numero degli addetti nei dati forniti dalla Camera di Commercio rimane lo stesso per ciascuna sede/unità e pertanto il potenziale calore di scarto potrebbe risultare sovrastimato. Si è pertanto attribuito ad ogni sede/unità locale il valore medio di dipendenti ottenuto dividendo il valore complessivo per il numero di sedi/unità locali.

Le formule sopra elencate sono state implementate in un foglio Excel e alle colonne contenenti informazioni su ciascuna azienda sono state aggiunte quelle corrispondenti ai valori di calore di scarto ai tre livelli di temperatura ed una ulteriore contenente la somma dei tre.

Controllo risultati

Si è ritenuto opportuno verificare le posizioni che hanno più di 100 dipendenti e che presentano un potenziale calore di scarto totale pari o superiore ad 1 GWh/a.

Il controllo è stato effettuato visivamente attraverso Google Maps®. Nei casi in cui da tale verifica il sito corrispondente all'indirizzo dell'attività non sia risultato un sito produttivo (ma per esempio una sede uffici), l'attività è stata esclusa dal conteggio del potenziale calore di scarto.

Integrazione delle informazioni in QGIS

I valori di potenziale calore di scarto sui tre livelli di temperatura sono associati al nominativo di ogni attività e pertanto ad un indirizzo. Di conseguenza, è stato possibile importare in QGIS le informazioni contenute in tabella Excel e rappresentarle a mappa. In particolare, gli indirizzi sono stati convertiti in coordinate geografiche tramite funzioni automatizzate e sono stati poi sottoposti ad alcune verifiche di massima (eventuali errori nella conversione degli indirizzi tipicamente portano a collocare le aziende nel baricentro della relativa area comunale; queste o simili anomalie rendono possibile una correzione manuale della georeferenziazione).

5.2.2 Calcolo del calore di scarto da attività del settore terziario

Per la mappatura del potenziale di calore di scarto derivante dalle attività del settore terziario, è stato utilizzato il plug-in di QGIS sviluppato nell'ambito del progetto LIFE4HeatRecovery²⁰.

Una volta definita l'area di interesse, l'applicazione, tramite API, richiede a OpenStreetMap (OSM) e Google Maps la localizzazione di tutte le attività rilevanti per l'analisi e per le quali è disponibile una metodologia di calcolo del potenziale calore di scarto, evitando duplicati.

Le principali variabili generali utilizzate dal codice implementato nel plug-in sono le seguenti:

1. **calore** [kWh/anno], corrispondente al potenziale calore di scarto;
2. **area** [m²], corrispondente all'area di impronta dell'elemento considerato (es: edificio);
3. **COP** [adimensionale], ovvero il coefficiente di prestazione di un eventuale sistema di raffreddamento associato;
4. **piani** [adimensionale], ovvero il numero di piani dell'edificio (solo se presente in OSM).

Di seguito vengono elencate le metodologie di calcolo per le attività del settore terziario mappate:

- **Ospedale** (Dalle Nogare & Cozzini, 2023)

$$\text{calore} = \text{area} \cdot \text{piani} \cdot \text{consumo} \cdot \text{COP}$$

in cui $\text{consumo} = 18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ è derivato da un'analisi statistica condotta sugli ospedali negli Stati Uniti d'America (Bawaneh & et al., 2019). L'analisi ha rivelato un'intensità di consumi energetici totali di circa $600 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$, con il 3% di questa energia, ovvero $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$, corrispondente ai consumi elettrici per refrigerazione. Assumendo un COP medio pari a 3 si ottiene il calore di scarto stimato.

- **Stadio del ghiaccio** (Dalle Nogare & Cozzini, 2023)

$$\text{calore} = 840 \text{ MWh/a}$$

²⁰<https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE17-CCM-IT-000085/low-temperature-urban-waste-heat-into-district-heating-and-cooling-networks-as-a-clean-source-of-thermal-energy>

derivato da uno studio dello stadio del ghiaccio di Monaco di Baviera, in cui il calore di scarto del condensatore di refrigerazione è di 160 MWh/mese, sottraendo la domanda media di riscaldamento di 90 MWh/mese. Poiché le piste di ghiaccio hanno generalmente dimensioni standard della superficie ghiacciata, non è necessaria una stima separata dell'area.

- **Supermercato e centro commerciale** (Dalle Nogare & Cozzini, 2023)

$$calore = area \cdot piani \cdot f_{food} \cdot consumo \cdot f_{fridge} \cdot COP$$

in cui:

- $consumo = 500 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ è il consumo tipico di elettricità
- Il coefficiente f_{food} rappresenta la percentuale dell'area dell'edificio dedicata alla vendita di alimenti: $f_{food} = 20 \%$ per i centri commerciali, $f_{food} = 100 \%$ per i supermercati.
- Il coefficiente f_{fridge} rappresenta la percentuale dell'area alimentare dell'edificio dotata di unità di refrigerazione: $f_{fridge} = 50 \%$.
- $COP = 3$

In linea di principio, anche altre attività urbane/commerciali possono fornire calore di scarto. Sono disponibili per esempio alcuni studi sul potenziale di calore di scarto derivante da piscine e lavanderie (Dalle Nogare & Cozzini, 2023). L'effettiva realizzabilità del recupero di calore in tali contesti è tuttavia ancora poco esplorata. Tali esempi sono stati pertanto esclusi da questo studio.

5.2.3 Localizzazione e distanze

La localizzazione delle sorgenti di calore di scarto è un dato necessario per uno dei principali prodotti di questa analisi: la mappatura del calore di scarto nel territorio altoatesino. È rilevante inoltre conoscere la distanza di queste sorgenti dalla rete di teleriscaldamento (TLR) più vicina, per quantificare potenzialmente:

- le sorgenti già connesse
- le sorgenti non connesse
- il calore di scarto presente nel territorio servito dal TLR
- la vicinanza del calore esterno al TLR rispetto a questa rete

La distanza può essere calcolata in linea d'aria, come distanza euclidea, oppure si può scegliere una direzione preferenziale come matrice di sviluppo per il TLR, utilizzando la teoria dei grafi e i classici software GIS (analisi di rete vettoriale). Questo secondo caso calcola la distanza minima lungo il grafo stradale.

Per il calcolo della distanza tra sorgente di calore di scarto e TLR più vicino, dalla piattaforma Open Data Alto Adige sono stati recuperati i due dati necessari all'analisi:

- Le zone servite da TLR²¹;
- Il grafo stradale dell'Alto Adige²².

In futuro, sarà possibile scegliere con maggiore precisione le aree servite da TLR o ipotizzare direzioni di sviluppo più plausibili, creando un grafo specifico per l'analisi che includa altri rami preferenziali su cui sviluppare il TLR.

La localizzazione, per il settore terziario, è implicita nel dato scaricato via API [Sez. 5.2.2]. Mentre, per quanto riguarda il settore industriale, la localizzazione avviene attraverso la georeferenziazione degli indirizzi. Questa rappresenta il processo attraverso il quale si ricava una posizione geografica (espresso in latitudine e longitudine) a partire da un indirizzo, sfruttando le API dei servizi Nominatim²³ e Google

²¹ <https://data.civis.bz.it/dataset/teleriscaldamento-zone-servite1>

²² <https://data.civis.bz.it/dataset/elementi-della-retedi-trasporto>

²³ <https://nominatim.org/release-docs/3.5/>

Maps²⁴. In questa analisi, tale processo è stato impiegato per assegnare una posizione geografica alle attività industriali fornite dalla camera di commercio di Bolzano [Sez. 5.2.1].

Ogni posizione ottenuta viene verificata per assicurarsi che rientri entro i confini del comune specificato. Si impiegano due servizi per garantire l'accuratezza: nel caso in cui Nominatim fallisca, si ricorre a Google Maps, e se anche questo dovesse fallire, si procede alla localizzazione manuale.

5.3 Risultati

L'intera analisi ha prodotto una **tabella unica** in formato XLSX (Excel) e GPKG (GIS), **da cui derivano tutte le statistiche e le rappresentazioni riportate in questo capitolo**. Ogni riga della tabella registra una specifica sorgente di calore di scarto. La differenza tra i due formati di file risiede nella colonna/attributo geometria che, in ambiente GIS, identifica la rappresentazione vettoriale della sorgente su mappa (in questo caso, un punto nel sistema di riferimento definito dal codice EPSG 4326).

Nella seguente tabella vengono riportati tutti gli attributi per ogni sorgente di calore di scarto.

PRG	Dati della Camera di Commercio
PRV	
N-REG-IMP	
N-REA	
UL-SEDE	
DENOMINAZIONE	
INDIRIZZO	
STRAD	
CAP	
COMUNE	
DIP	
ATTIVITA'	
CODICI-ATTIVITA	
DIP_eurac	Dipendenti per unità locale
3-digits NACE	Prime 3 cifre del codice attività NACE (Ateco)
danish-code	Codice attività danese
danish-employee-class	Classe di numero di dipendenti
n.medio_dip	Valore medio del numero di dipendenti
bch	Combinazione danish-code + danish-employee-class
WH_high_MWh	Calore di scarto – alta temperatura [MWh]
WH_med_MWh	Calore di scarto – media temperatura [MWh]
WH_low_MWh	Calore di scarto – bassa temperatura [MWh]
sum_WH_MWh	Calore di scarto totale [MWh]
tipologia	Tipo di sorgente: industriale/urbano
net_dict	Distanza da tutti i TLR (grafo): struttura a “dizionario”

²⁴ <https://developers.google.com/maps/documentation/places/web-service/overview>

net_DH_min_distance	Distanza TLR (grafo): valore minimo [m]
net_DH_id	Distanza TLR (grafo): ID del TLR più vicino
net_DH_name	Distanza TLR (grafo): nome del TLR più vicino
eucl_dict	Distanza da tutti i TLR (euclidea): dizionario
eucl_DH_min_distance	Distanza TLR (euclidea): valore minimo [m]
eucl_DH_id	Distanza TLR (euclidea): ID del TLR più vicino
eucl_DH_name	Distanza TLR (euclidea): nome del TLR più vicino
istat_PRO_COM	Riferimento ISTAT unità amministrativa (link)
istat_PRO_COM_T	
istat_COMUNE	
istat_COMUNE_A	
istat_intersect_dh	Presenza del TLR nell'unità amministrativa
hotmaps_nonres_density_MWh_ha_yr	Dato Hotmaps ²⁵ , densità di consumo di energia termica residenziale / non-residenziale e totale [MWh / (ettaro • anno)]
hotmaps_res_density_MWh_ha_yr	
hotmaps_tot_res_density_MWh_ha_yr	
connected_to_dh	Connessione a TLR già presente: TRUE/FALSE

5.3.1 Statistiche e Grafici

Attività di tipo industriale

L'elenco iniziale ottenuto dalla Camera di Commercio della Provincia di Bolzano relativo alle aziende con almeno 10 dipendenti presentava 9182 posizioni. Da questo, escludendo le attività corrispondenti a commercio al dettaglio e all'ingrosso, ristorazione e hotel (in quanto analizzate con la metodologia dedicata), sono risultate 5389 posizioni.

Il calcolo del potenziale calore di scarto è risultato applicabile su 1190 posizioni (le altre presentavano codici NACE che non rientravano nel database dei coefficienti; si tratta tipicamente di attività molto particolari, per le quali lo studio danese non ha reperito dati di letteratura, o con potenziale trascurabile).

Andando a fare un controllo manuale/visivo attraverso Google Maps® delle attività con più di 100 dipendenti e con un potenziale calore di scarto superiore a 1 GWh/a, il numero di posizioni è sceso a 1101 posizioni.

Infine, è stato ritenuto opportuno escludere 2 attività classificate come appartenenti al settore «oil refinery» in quanto di fatto, a seguito di uno scambio intercorso col facility management delle stesse, non risultano essere siti altamente produttivi e pertanto il reale potenziale calore di scarto risulta trascurabile.

Ne consegue che il potenziale calore di scarto da attività di tipo industriale nel territorio della provincia di Bolzano ammonta²⁶ a 369 GWh/a, ripartito come da Figura 3 secondo i livelli di temperatura considerati.

²⁵<https://www.hotmaps.eu/map>

²⁶ Nel corso di approfondimenti tramite contatti diretti è risultato che alcune aziende tra quelle incluse in questo computo (si segnalano in particolare i casi più significativi di GKN a Brunico e Alupress a Bressanone), sono già connesse ai teleriscaldamenti locali. L'esclusione di tali

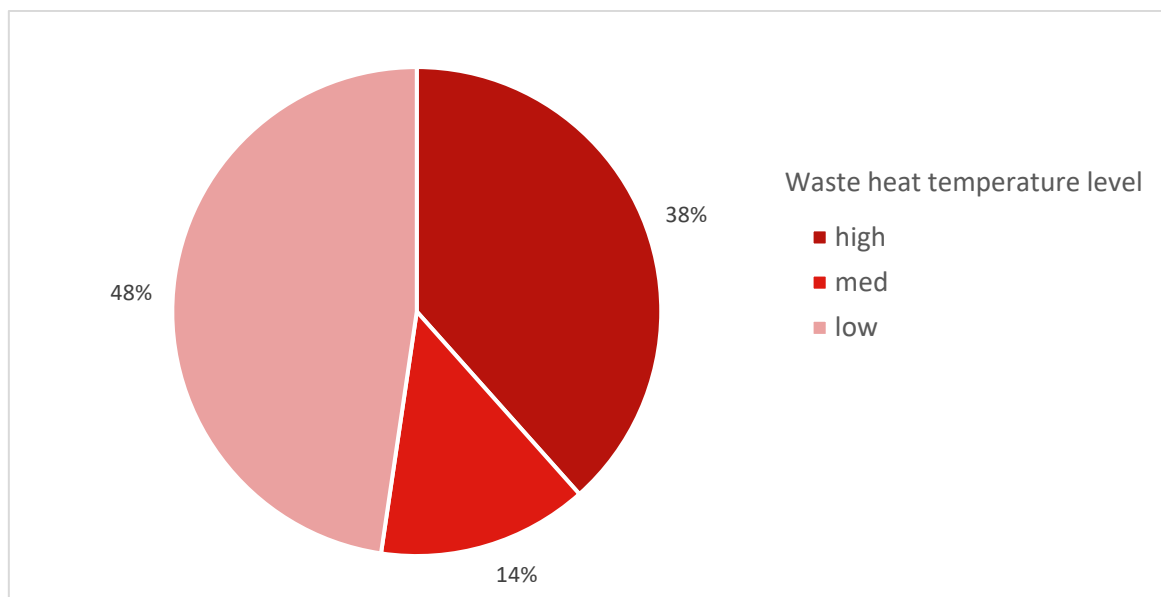


Figura 3. Distribuzione percentuale del potenziale calore di scarto nel territorio della provincia di Bolzano sui tre livelli di temperatura (< 100 °C, 100-500 °C, > 500 °C).

Volendo comprendere quali siano i settori che presentano il maggior potenziale di calore di scarto, è stata considerata la distribuzione percentuale mostrata in Figura 4. Ne risulta che tra i settori più interessanti ci sono:

- lavorazione del legno e di prodotti in legno
- produzione di carne e prodotti a base di carne
- lavorazione di prodotti caseari

Sicuramente sono di interesse anche il settore delle bevande e quello dei farinacei e prodotti da forno ma in percentuale decisamente inferiore rispetto ai primi tre sopra menzionati.

In Figura 5 sono riportati i valori assoluti del potenziale annuale di calore di scarto in GWh/a.

aziende, corrispondenti complessivamente ad alcuni GWh/a di calore di scarto, porterebbe a una variazione nei dati totali dell'ordine dell'1-2 %. Nei dati GIS è stato introdotto un campo per specificare l'eventuale esistenza di una connessione.

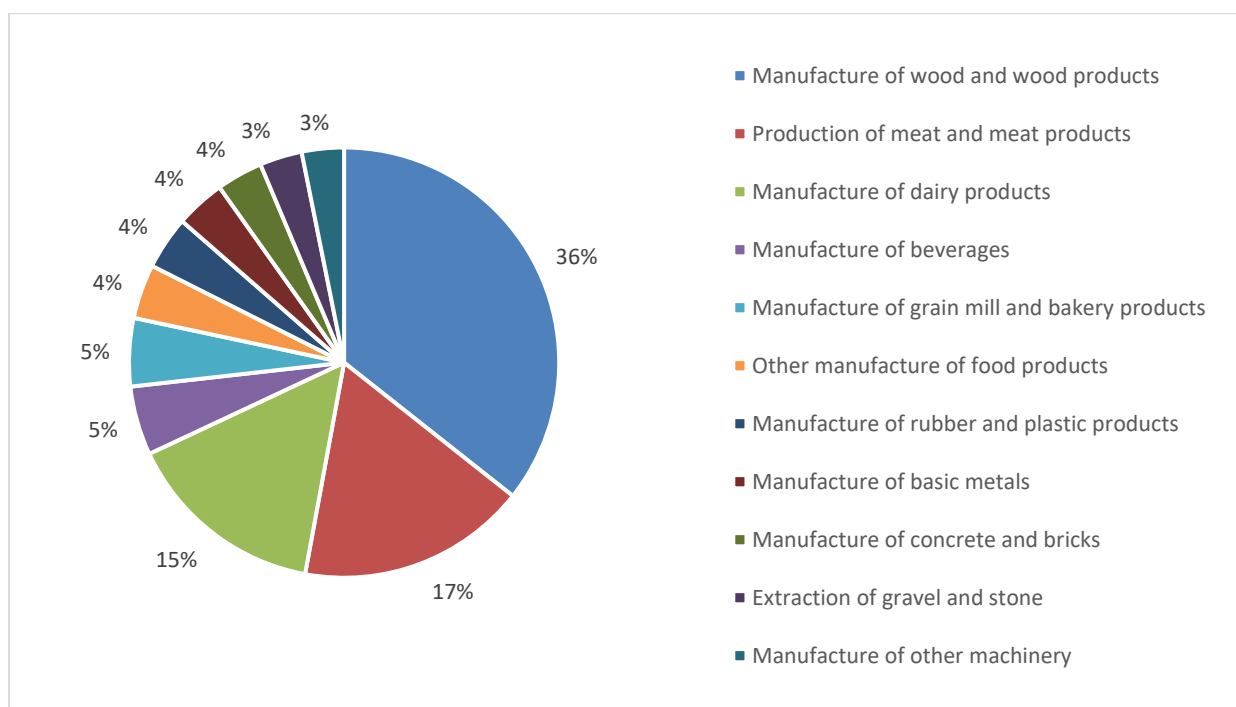


Figura 4. Distribuzione percentuale del potenziale calore di scarto derivante da attività industriali rispetto al tipo di attività.

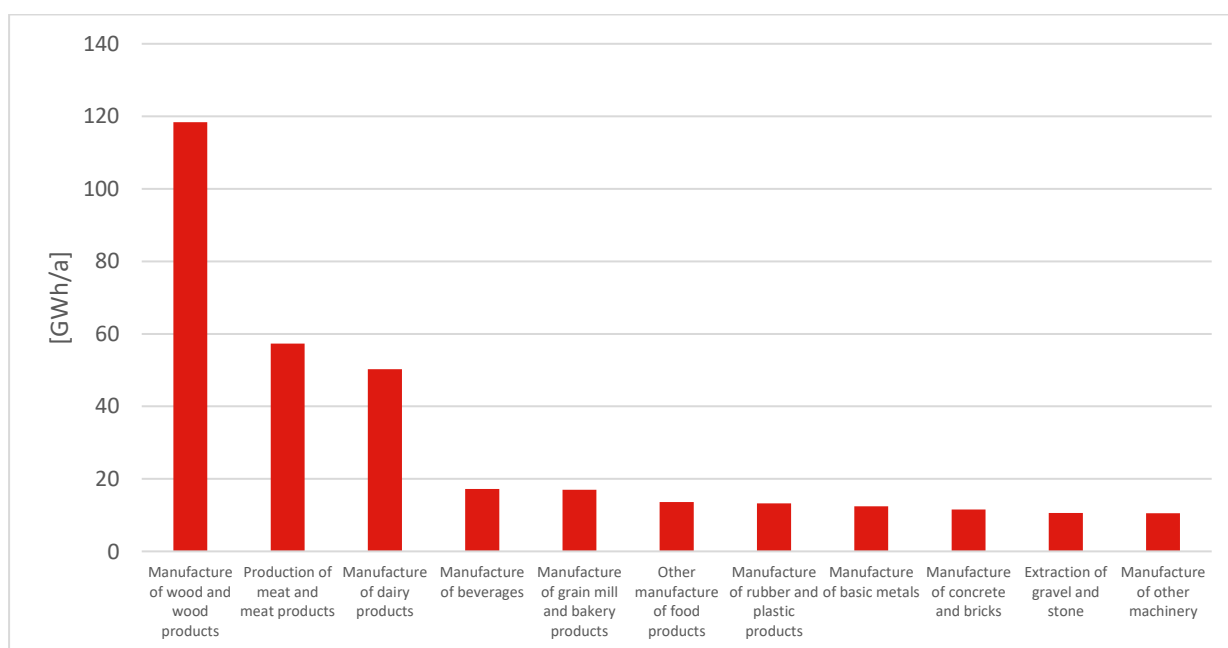


Figura 5. Distribuzione in valore assoluto e ordine decrescente del calore di scarto derivante da attività industriali per i primi undici tipi di attività.

Rispetto alla distribuzione del potenziale calore di scarto tra i comuni della provincia di Bolzano, si riportano le percentuali e i valori assoluti in GWh/a in ordine decrescente rispettivamente in Figura 6 e in Figura 7. Come si può notare, i comuni più interessanti risultano essere Bolzano, Brunico e Bressanone.

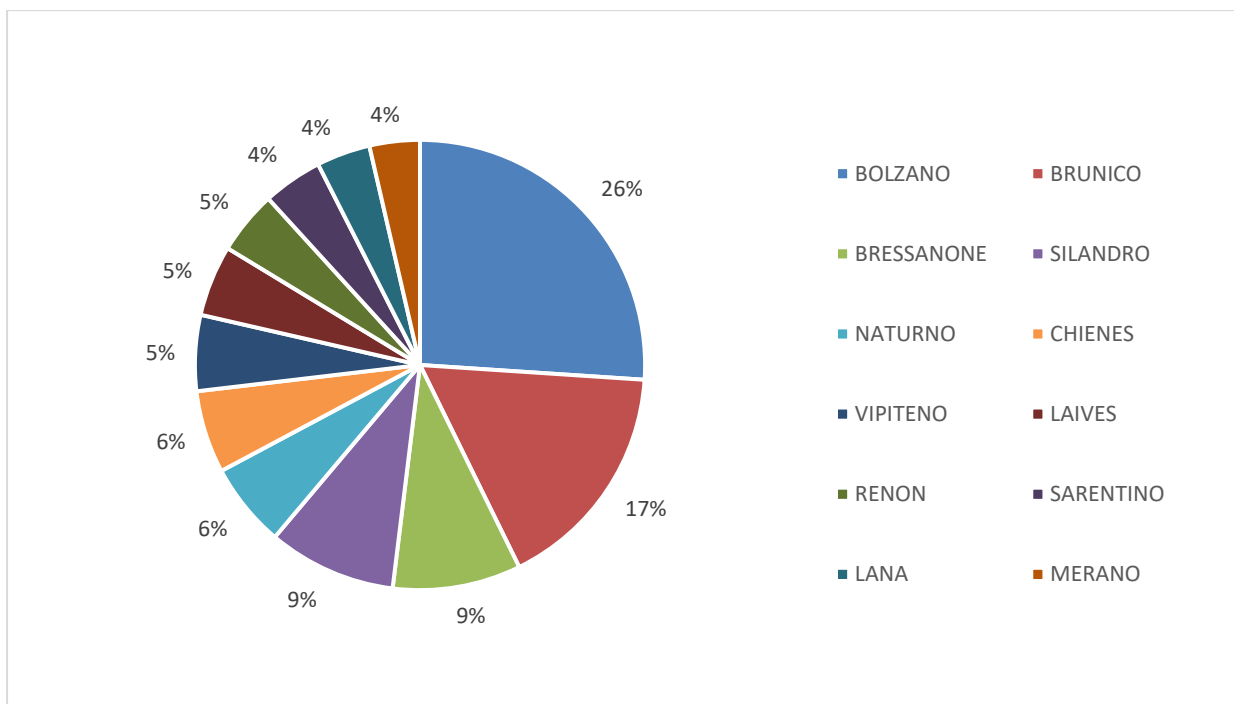


Figura 6. Distribuzione percentuale per comune del potenziale calore di scarto derivante da attività di tipo industriale.

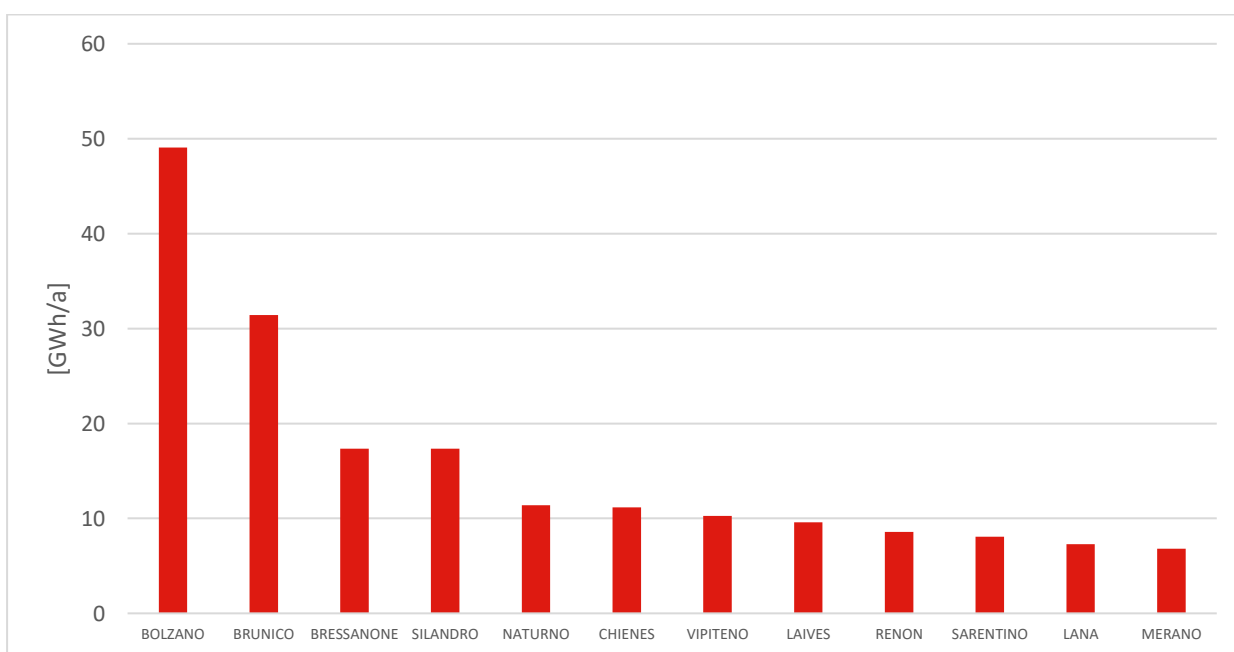


Figura 7. Distribuzione in valore assoluto e ordine decrescente del calore di scarto derivante da attività industriali per i primi dodici comuni della provincia di Bolzano.

Attività del settore terziario

Risultano 242 GWh/a di potenziale calore di scarto a “bassa” temperatura, distribuiti percentualmente tra le attività del settore terziario considerate, come mostra la Figura 8.

La distribuzione in valore assoluto in ordine decrescente per i primi 20 comuni della provincia di Bolzano è rappresentata in Figura 9.

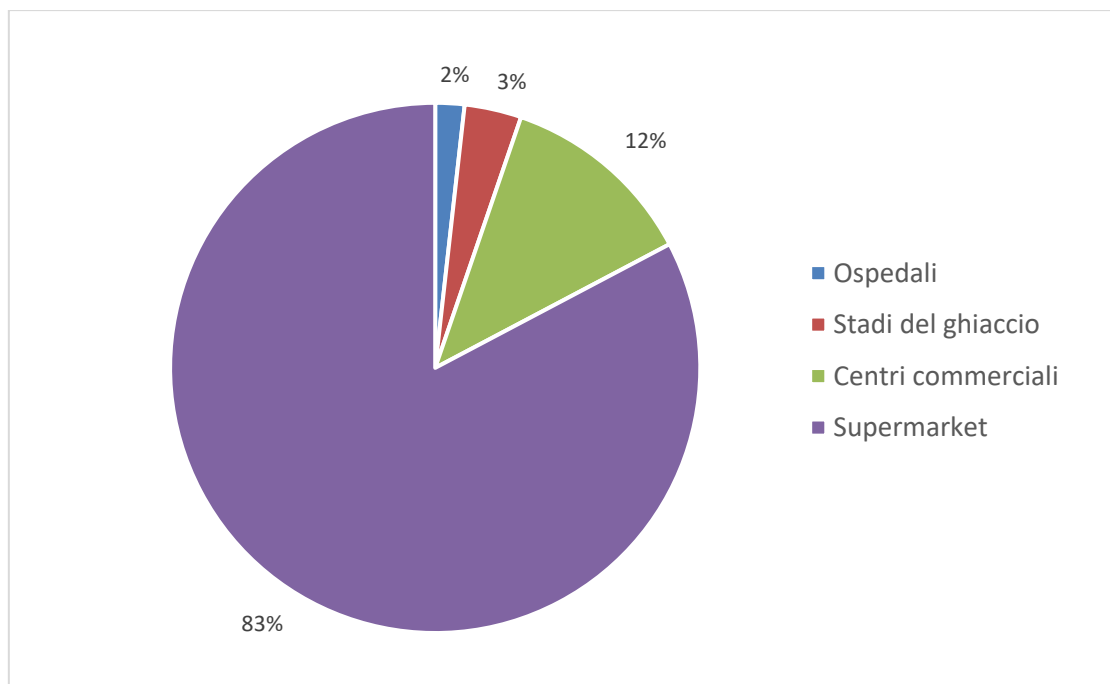


Figura 8. Distribuzione percentuale del potenziale calore di scarto derivante da attività del settore terziario.

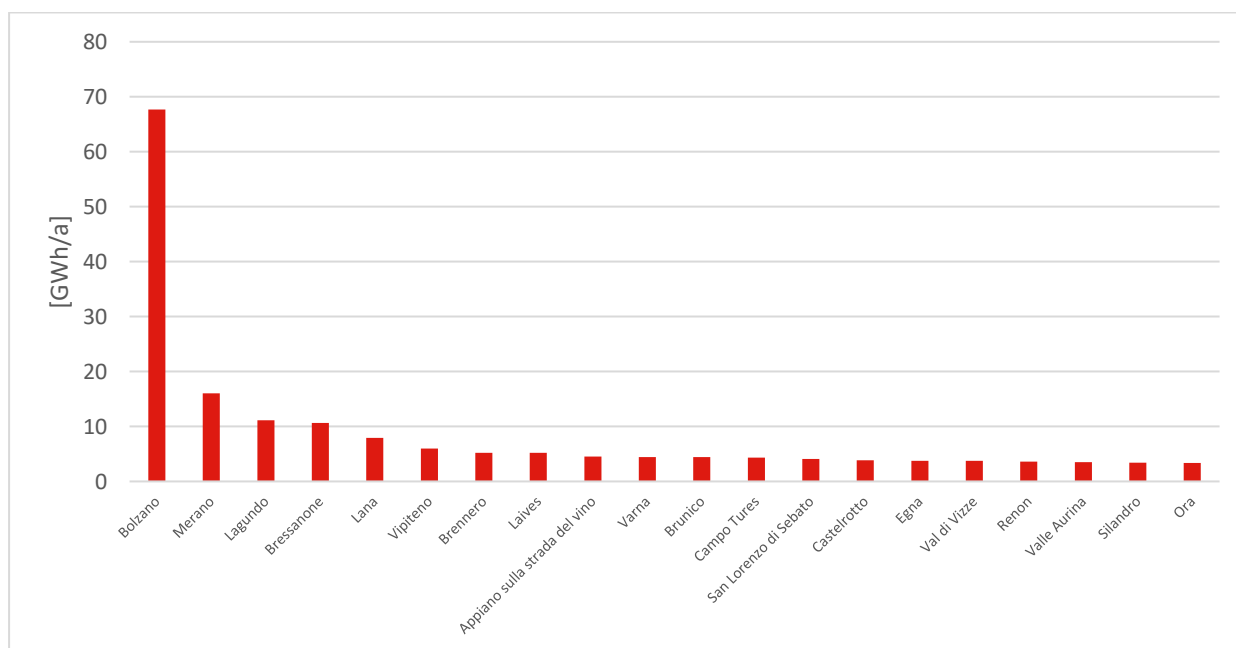


Figura 9. Potenziale calore di scarto in derivante da attività del settore terziario distribuito in valore assoluto e ordine decrescente per i primi 20 comuni della provincia di Bolzano

5.3.2 Mappe GIS

“Heatmap” del Calore di Scarto nelle Configurazioni Urbana, Industriale e Totale

Le mappe illustrate in Figura 10 e Figura 12 mostrano le “heatmap” del calore di scarto nelle tre configurazioni considerate: urbana, industriale e totale (dato dalla somma delle prime due). Una heatmap, o mappa di calore, è una rappresentazione visiva dei dati in cui le variazioni di colore indicano l'intensità del valore: colori più intensi o accesi corrispondono a valori più elevati.

Il territorio di Bolzano presenta il colore più intenso in tutte le configurazioni, mentre quello nell'area di Brunico si distingue nella componente industriale.

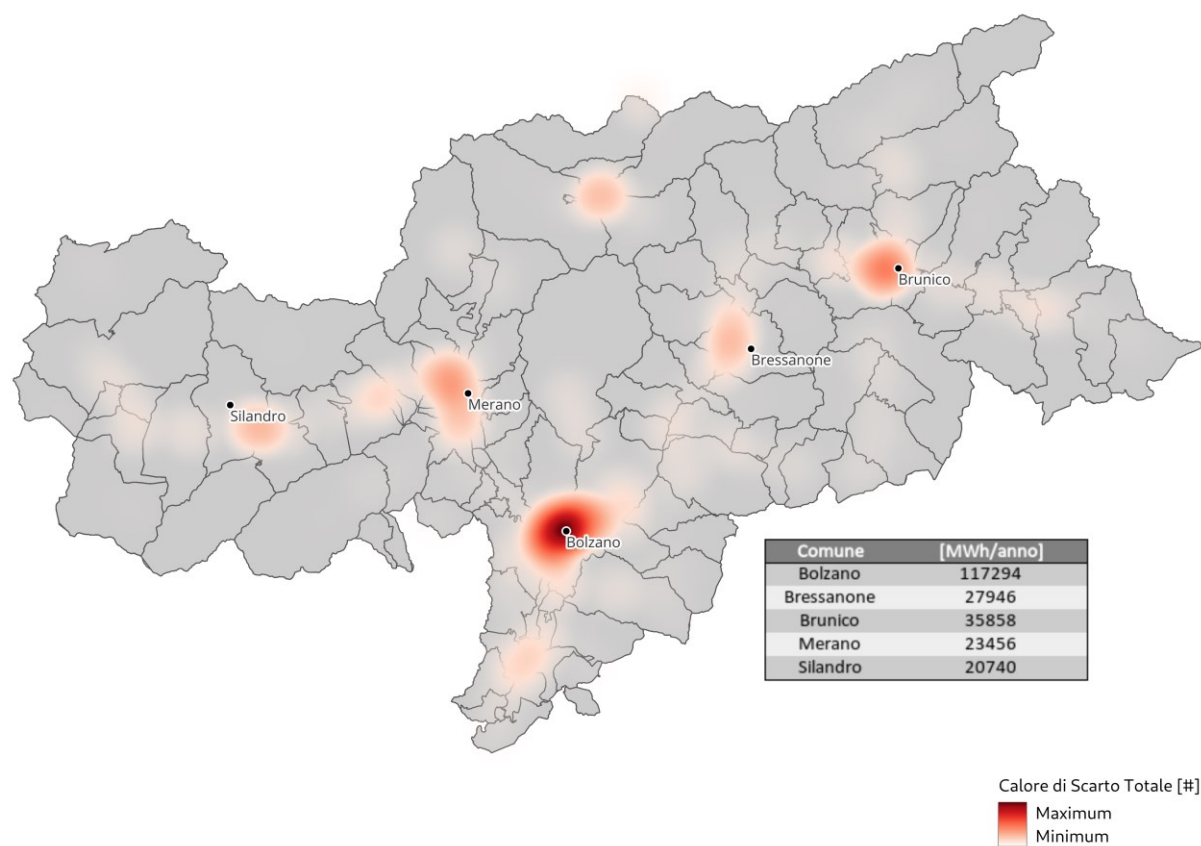


Figura 10. Heatmap calore di scarto Totale [# = adimensionale], in tabella i valori dei principali comuni [MWh/anno].

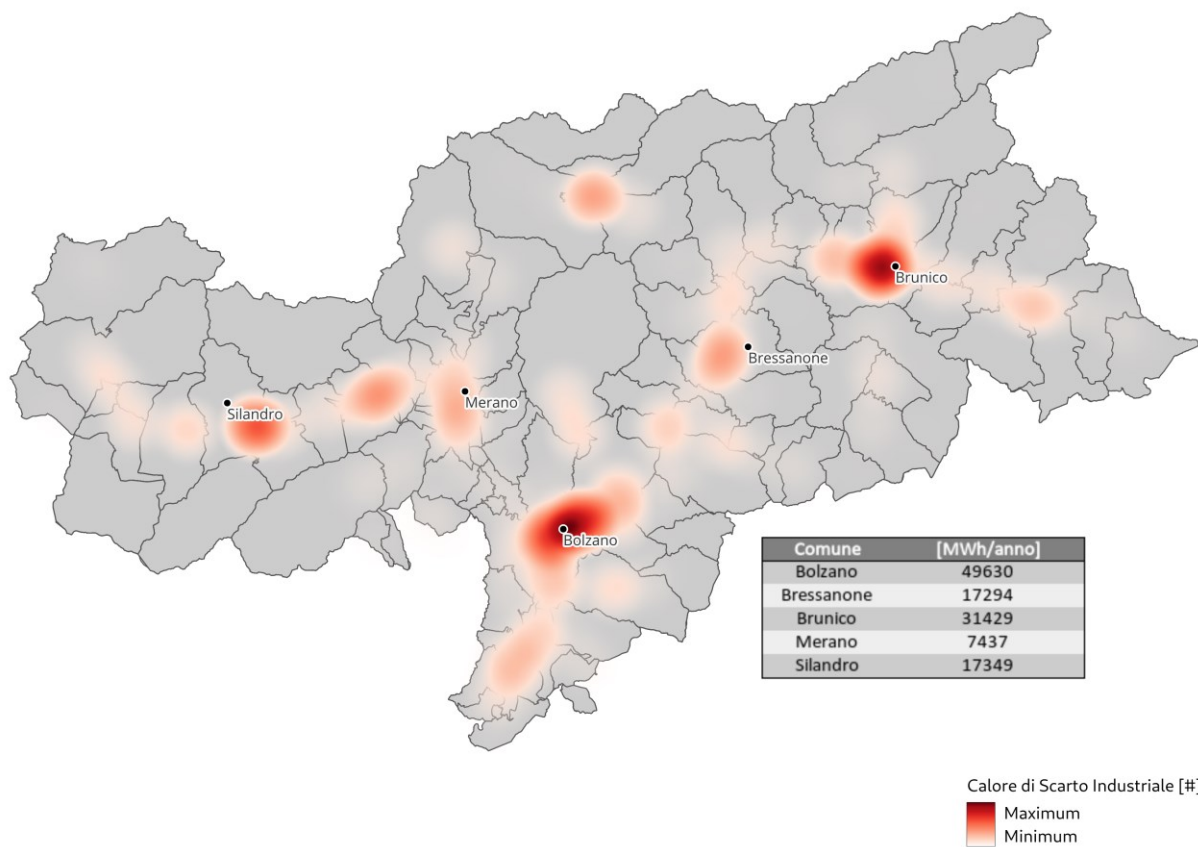


Figura 11. Heatmap calore di scarico Industriale [#], in tabella i valori dei principali comuni [MWh/anno].

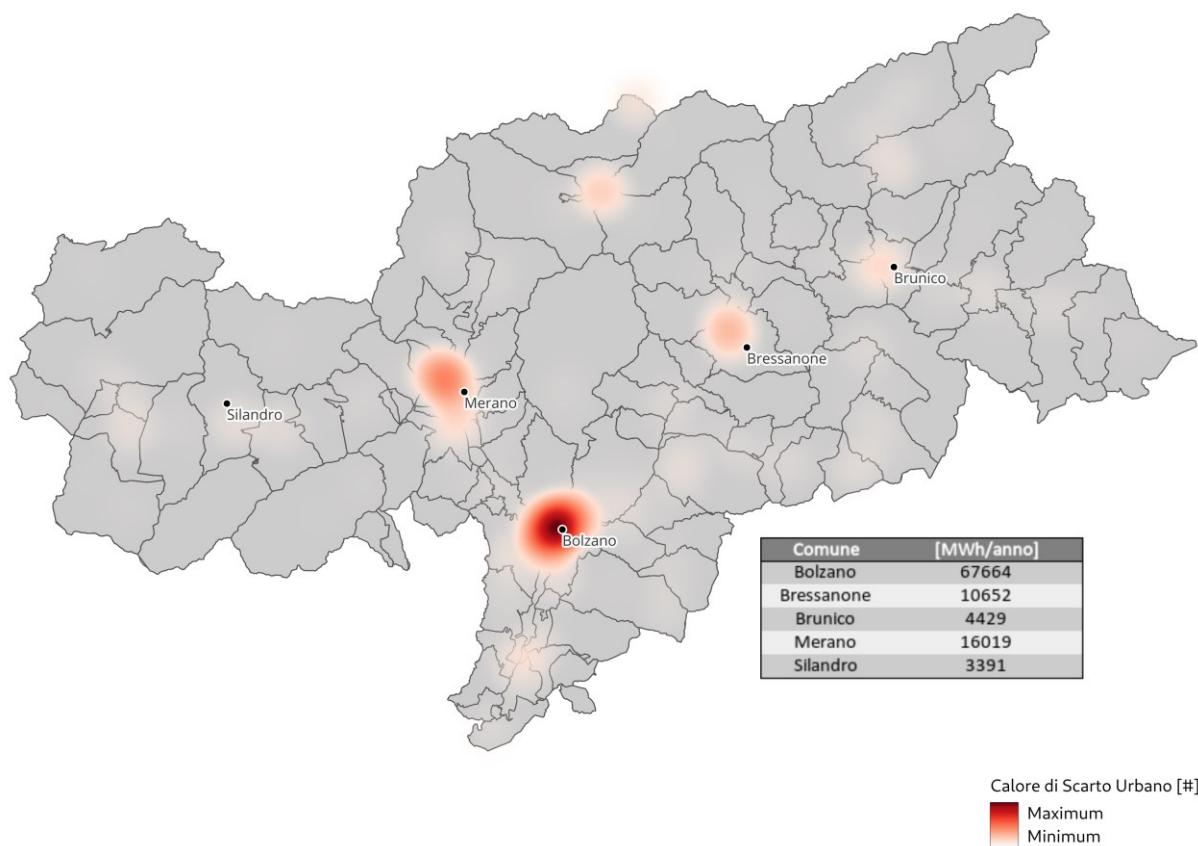


Figura 12. Heatmap calore di scarico Urbano [#], in tabella i valori dei principali comuni [MWh/anno].

Analisi della Distribuzione del Calore di Scarto nei TLR di Bolzano e Merano

La rappresentazione delle mappe in Figura 13, Figura 14 e Figura 15 ha l'obiettivo di indicare la quantità di calore di scarto localizzata all'interno delle aree già servite dai TLR esistenti o in prossimità delle stesse. In particolare, per quanto riguarda questo secondo aspetto, è stato calcolato il calore di scarto disponibile tra il confine dell'area servita dai TLR e una distanza di 5 km valutata lungo il grafo stradale (eventualmente superando anche i confini comunali). Anche in questo caso, le mappe mostrano i tre casi di calore di scarto urbano/commerciale, industriale e totale (derivato dalla somma dei prime due).

Nelle mappe è stato visualizzata con un pallino rosso, di diametro variabile con la quantità, la somma del calore di scarto interno ed esterno (sempre entro i 5 km stradali) all'area servita da TLR, mentre con un pallino blu, sempre a diametro variabile, il solo calore di scarto collocato esternamente.

- Un TLR privo di pallino blu indica che tutto il calore di scarto è già localizzato all'interno dell'area di competenza del relativo TLR esistente.
- Un TLR solo con pallino blu segnala che l'intero calore di scarto si trova all'esterno dell'area servita dal TLR esistente, ma entro una distanza di 5 km (su grafo stradale).

È utile ribadire che l'analisi si basa sulle distanze e non sui limiti amministrativi. Ciò può dare luogo a qualche risultato inaspettato: per esempio il TLR di Merano risulta avere un potenziale di calore superiore a quello di Bolzano, probabilmente a causa della presenza di sorgenti nei comuni limitrofi. Al tempo stesso, rispetto a quello di Merano, il TLR di Bolzano presenta una maggiore quantità di calore di scarto già disponibile all'interno dell'area servita dal TLR esistente.

Infine, le mappe illustrate in Figura 16 e Figura 17 evidenziano, per i soli TLR di Bolzano e Merano, la distanza entro la quale si trova il 50 % del calore di scarto che afferisce a questi TLR, valutato secondo i due confini sopra descritti. Il 50% del calore di scarto totale (interno più esterno) di Bolzano si trova entro 100 m dal TLR, mentre a Merano a 3050 m. Se invece si considera solo il calore esterno ai TLR esistenti, il 50% del calore si trova entro 375 m a Bolzano e sempre entro 3050 m a Merano.

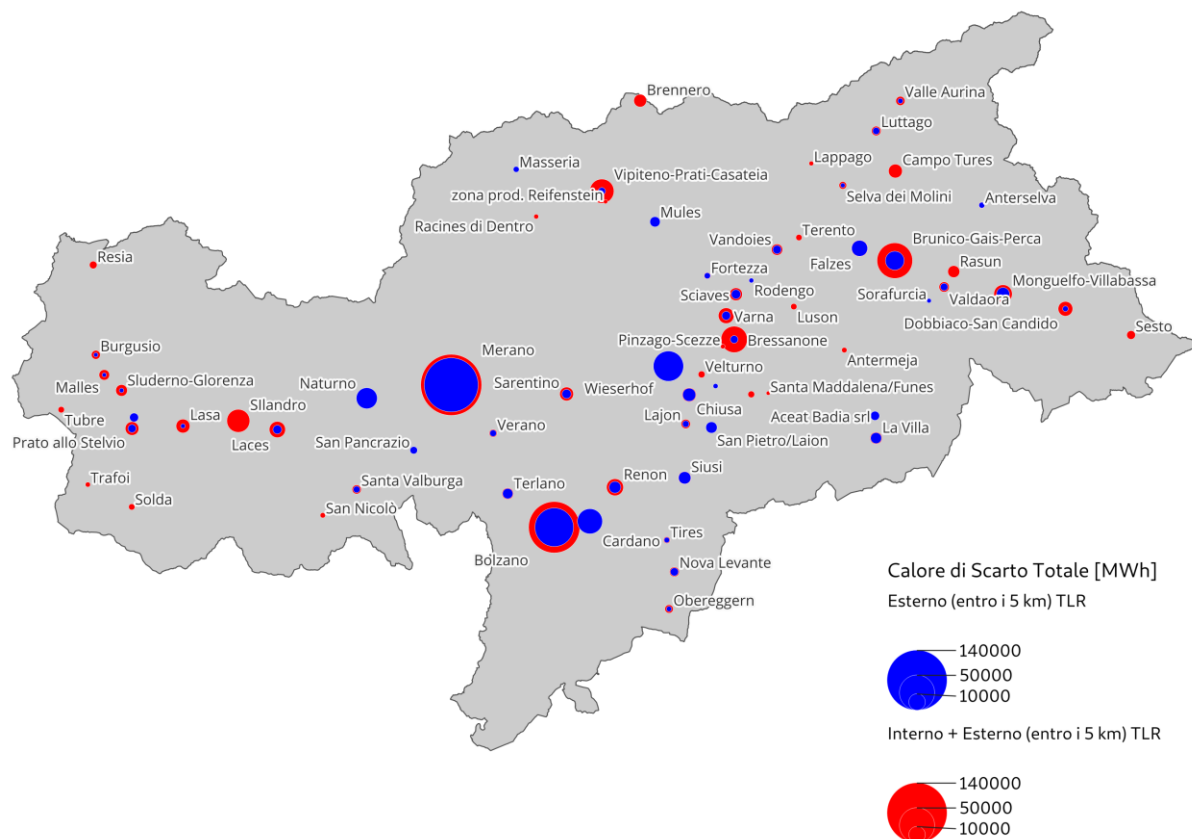


Figura 13. Confronto del calore di scarto Totale [MWh] dentro e in prossimità (5 km) dei TLR esistenti.

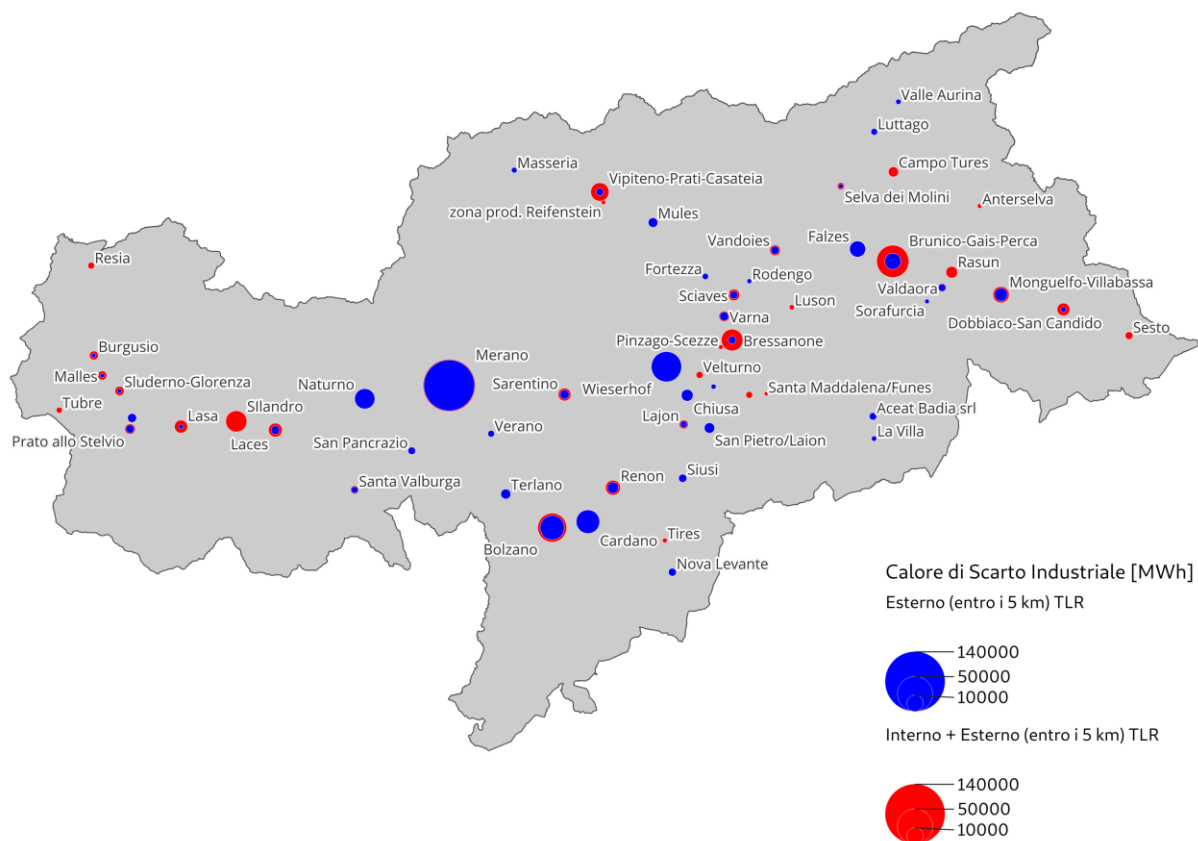


Figura 14. Confronto del calore di scarto Industriale [MWh] dentro e in prossimità (5 km) dei TLR esistenti.

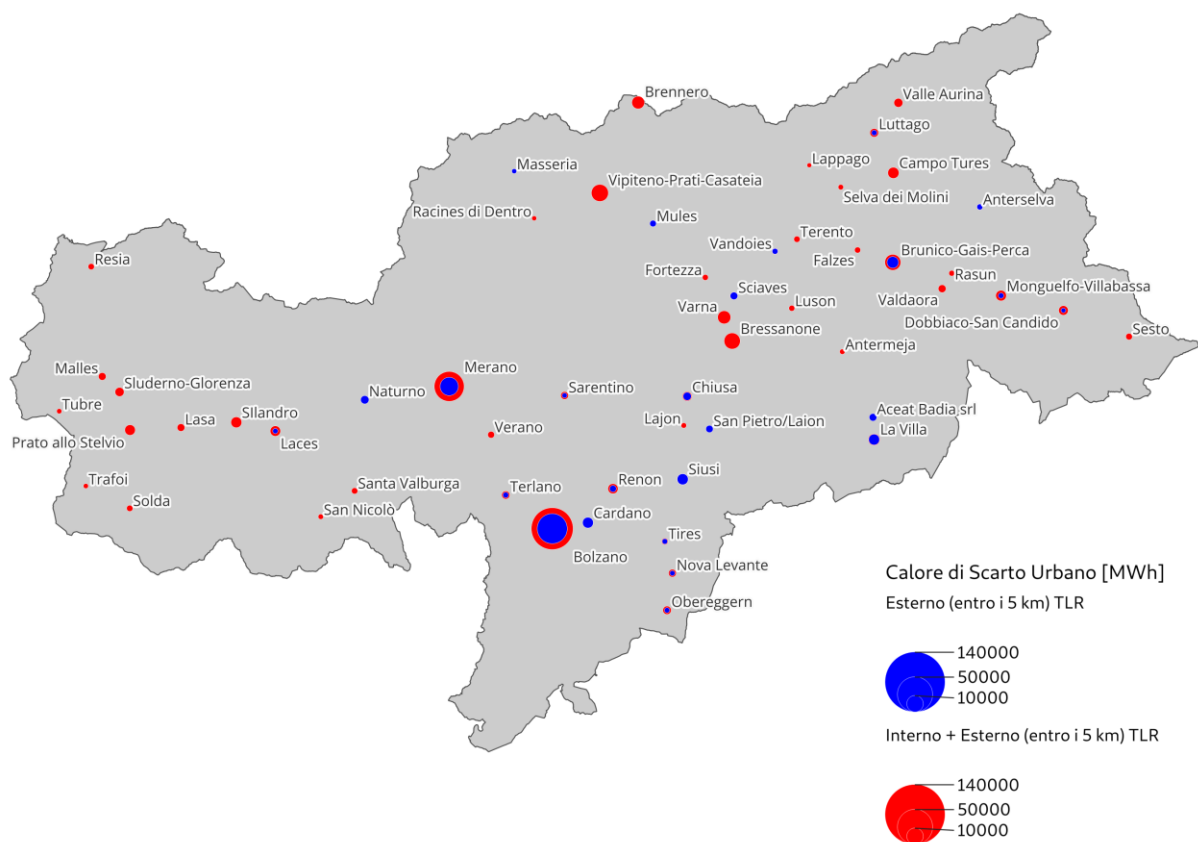


Figura 15. Confronto del calore di scarto Terziario [MWh] dentro e in prossimità (5 km) dei TLR esistenti.

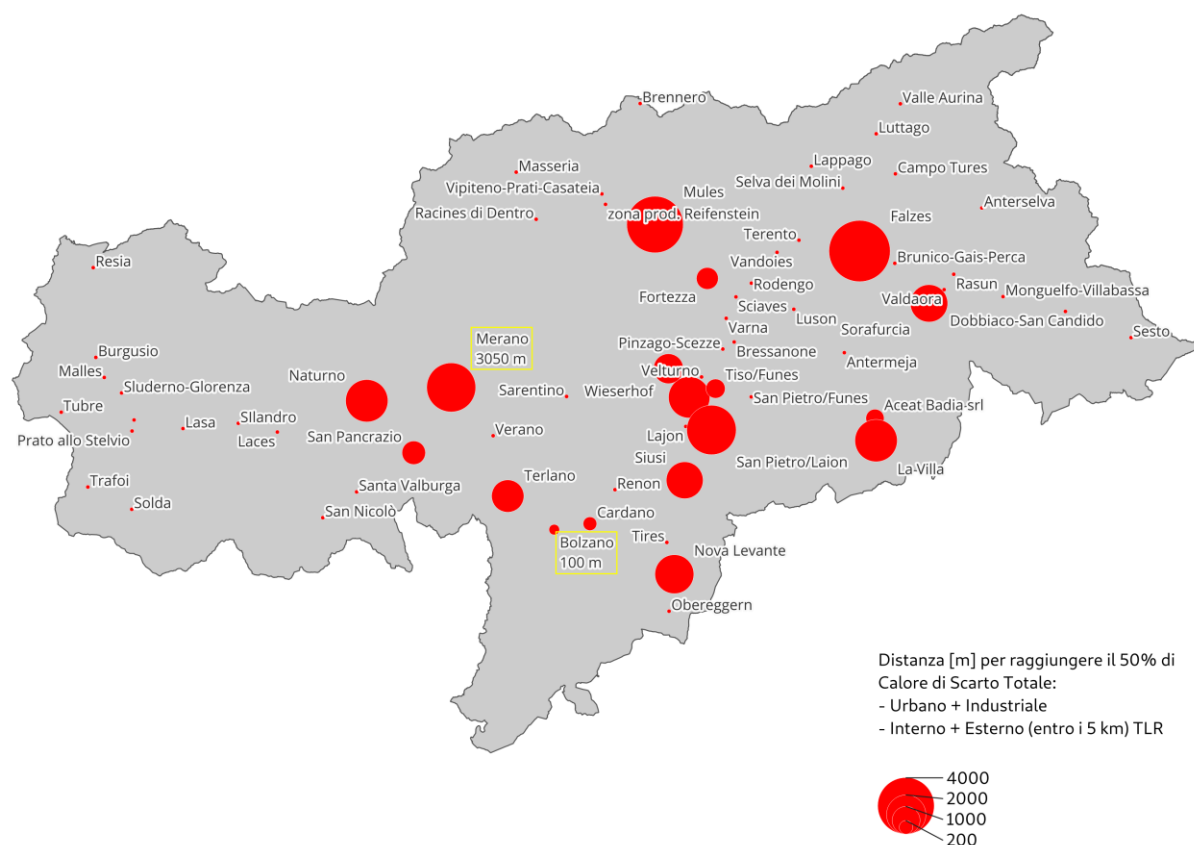


Figura 16. Distanza [m] per raggiungere il 50% del calore di scarico "totale" (interno ed esterno) per ogni TLR esistente.

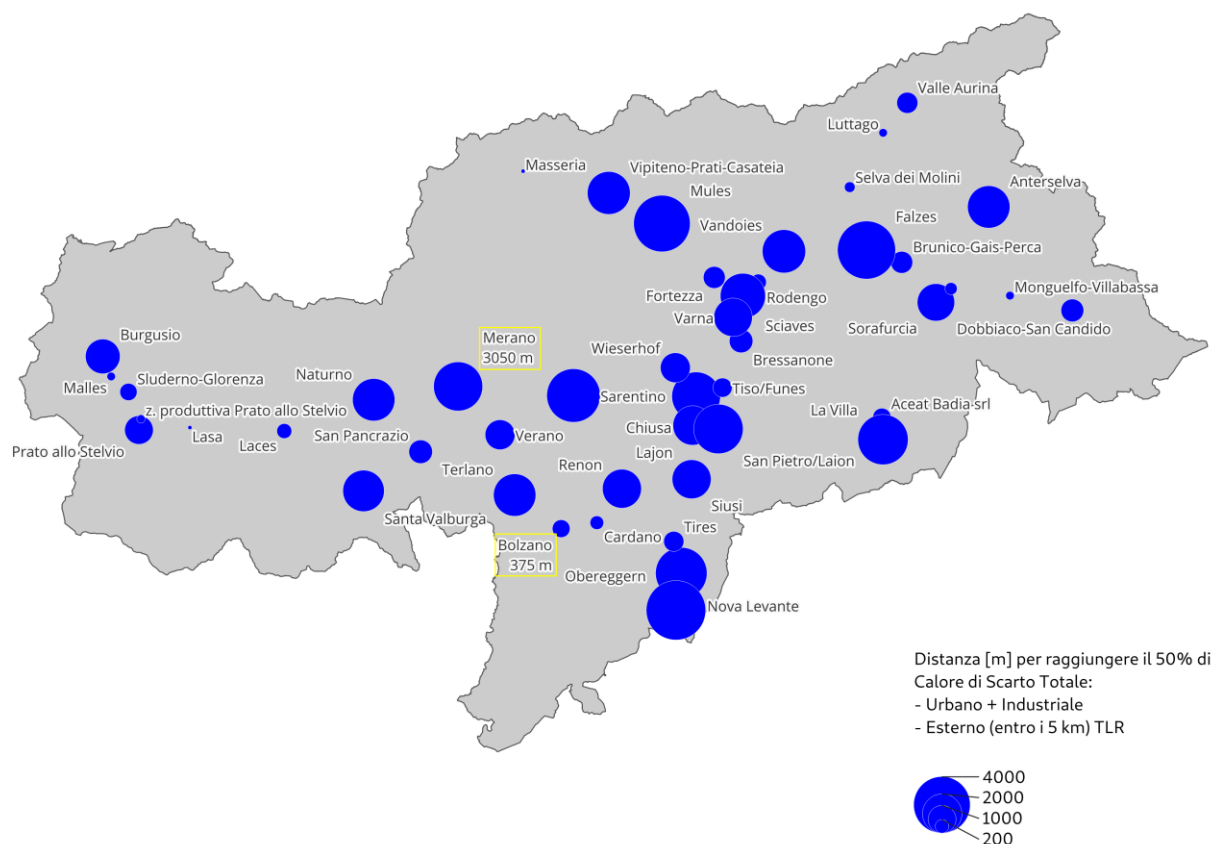


Figura 17. Distanza [m] per raggiungere il 50% del calore di scarico "esterno" al TLR esistente.

Opportunità di Simbiosi tra Calore di Scarto e Aree ad Alta Domanda Energetica per lo Sviluppo di Micro Reti di Teleriscaldamento

Nell'ultima rappresentazione cartografica, mostrata in Figura 18, viene illustrato il potenziale di calore di scarto che potrebbe sviluppare simbiosi con aree ad alta richiesta di calore.

Come indicato nella legenda, sono selezionate solo le aziende che producono più di 1000 MWh/anno di calore di scarto e che si trovano a una distanza superiore ai 2 km dai TLR esistenti.

Solo in corrispondenza di questi punti, viene rappresentata tramite una heatmap la domanda di calore non residenziale, basata sui dati del tool Hotmaps.

In aree dove sono presenti una o più sorgenti di calore e una domanda di calore ad alto potenziale, potrebbero emergere opportunità per lo sviluppo di microreti di teleriscaldamento.

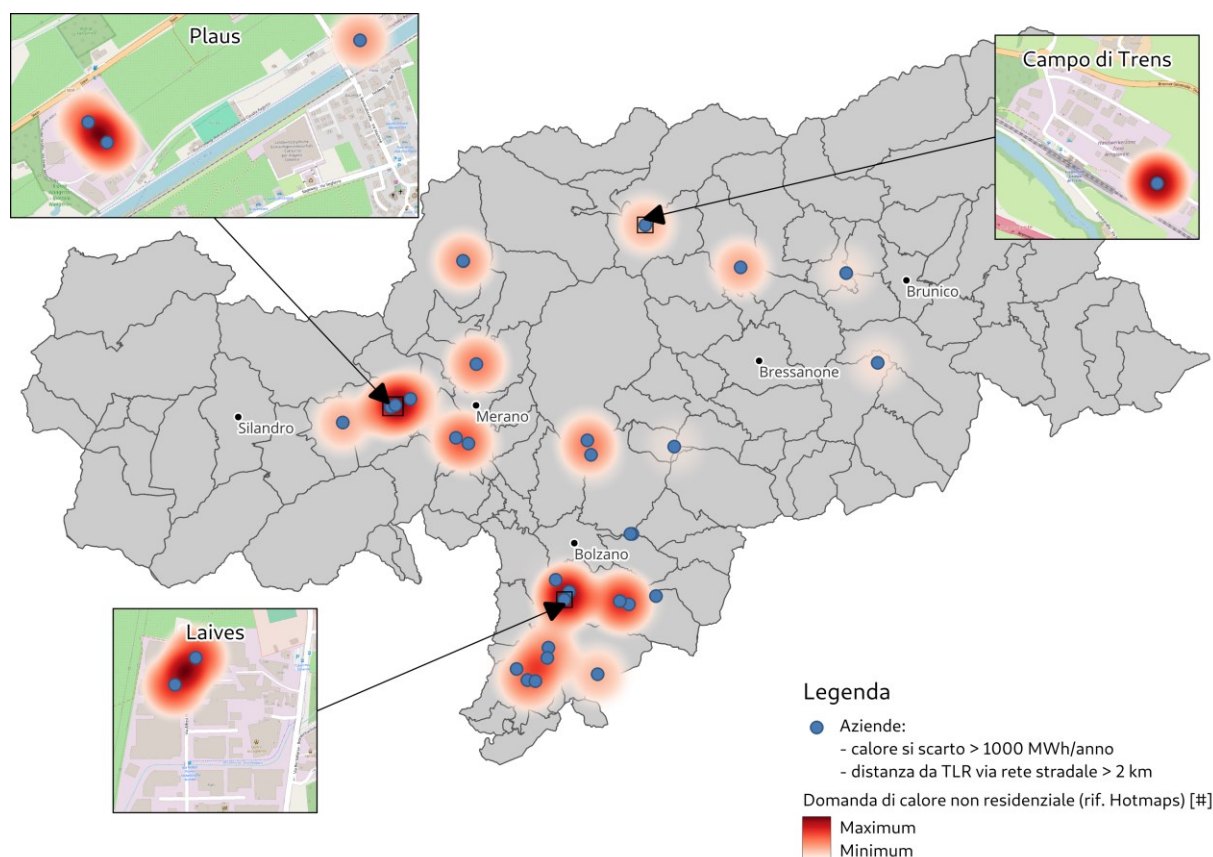


Figura 18. Esempio di "simbiosi" tra sorgenti di calore di scarto non connesse ai TLR esistenti.

6 Best practices di recupero di calore

Per capire quali siano le BAT (Best Available Technologies) più adatte al recupero di calore di scarto nei settori con il maggior potenziale a livello di territorio è opportuno investigare in quali processi si ha la maggior parte delle perdite termiche coinvolte. I settori oggetto della presente analisi sono:

- Industria del legno e dei prodotti in legno (NACE 16.1 e 16.2)
- Lavorazione carne (NACE 10.1)
- Settore caseario (NACE 10.5)

Facendo riferimento allo studio dell'Università di Aalborg sopra menzionato (Huang, Bühler, & Holm, 2015) si vanno ad evidenziare i processi più interessanti per il recupero, unitamente al loro livello di temperatura, in base al settore produttivo e alla fascia di appartenenza del numero di dipendenti.

Al di là di questi settori, risultano in ogni caso interessanti i casi di attività di tipo siderurgico per l'elevata densità di calore di scarto che possono avere disponibile.

6.1 Settori interessanti

Industria del legno e dei prodotti in legno

Da quanto è evidenziato in Figura 19, il processo col maggior potenziale calore di scarto nella lavorazione del legno e dei prodotti in legno è l'essiccazione. Seguono le perdite termiche nei boiler a livello dei fumi ed il calore di scarto dell'olio di raffreddamento del compressore.

Gli impianti di essiccazione possono essere di vario tipo e lavorare a temperature anche molto elevate, fino a 250 °C (Essiccazione legno: tecnologie e impianti per ogni soluzione | Incomac, 2024). Il fluido termo-vettore è l'aria calda e umida e la temperatura del calore di scarto è tra 80 e 100°C.

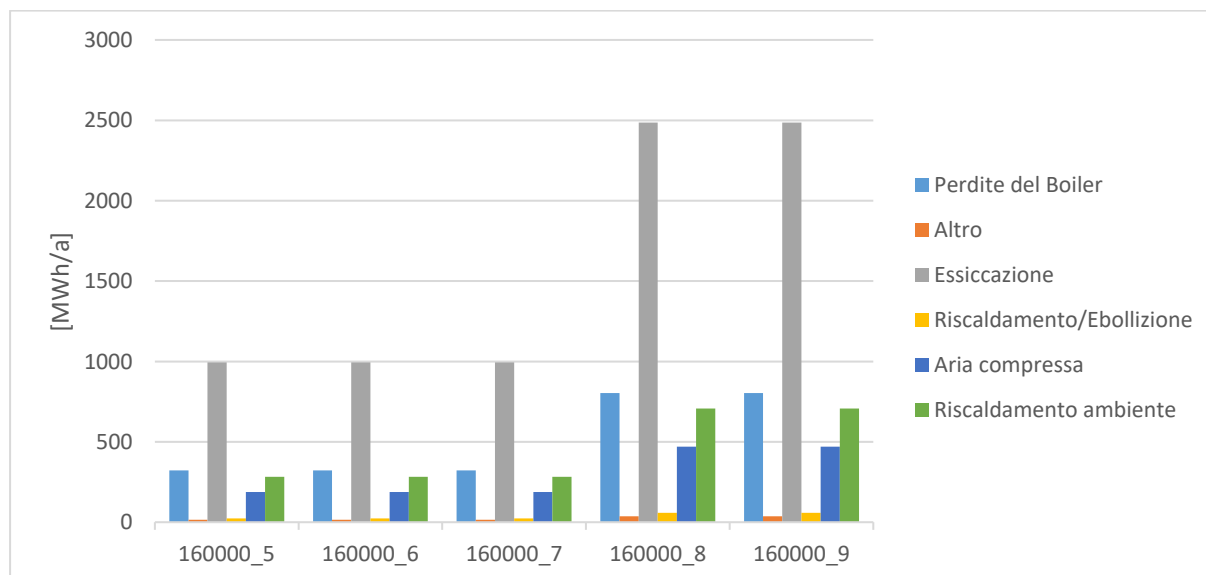


Figura 19. Distribuzione del calore di scarto tra i diversi processi del settore della lavorazione del legno e dei prodotti in legno per fascia di appartenenza del numero di dipendenti. Il codice in ascissa si riferisce al settore industriale (NACE 16; codice 160000 secondo la codifica danese) e alla fascia di dipendenti (qui da 5 a 9, secondo la numerazione di Tabella 4).

Pertanto, per il recupero di calore in una rete di teleriscaldamento la tecnologia utilizzabile potrebbe essere direttamente uno scambiatore di calore.

Bisogna considerare che l'aria di essiccazione possa essere contaminata (polvere, residui di legno, ecc.) e che essendo coinvolti grandi volumi di aria, i sistemi per il recupero possano richiedere ampio spazio.

Lavorazione carne

Tra i processi di lavorazione della carne, quello più rilevante dal punto di vista del contenuto di calore di scarto potenzialmente recuperabile è la refrigerazione, come si evince dalla Figura 20.

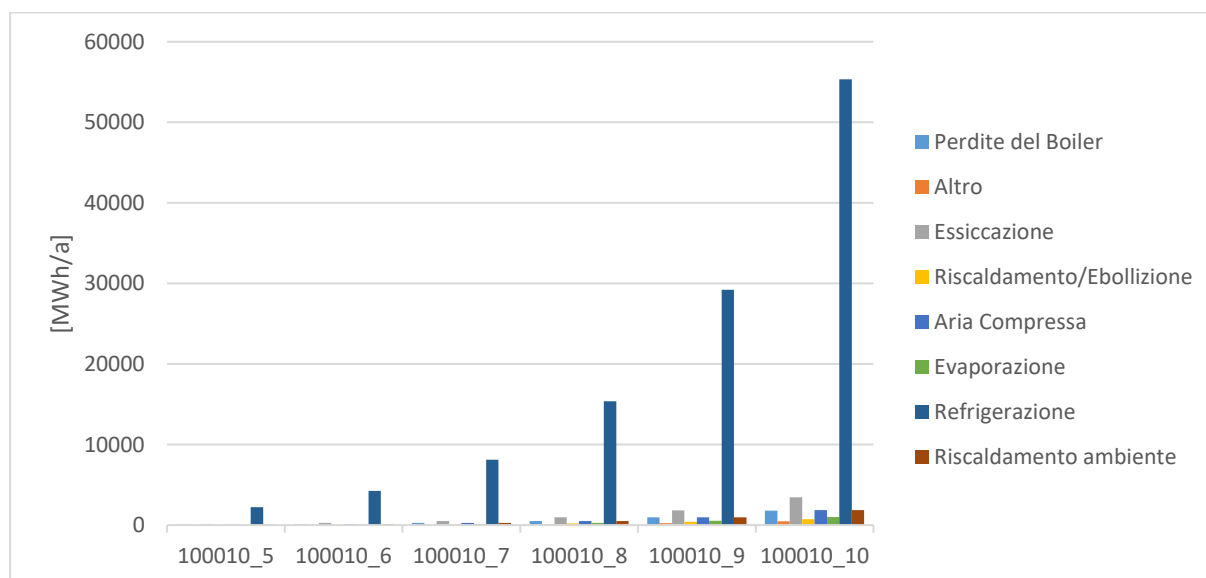


Figura 20. Distribuzione del calore di scarto tra i diversi processi del settore della lavorazione della carne (NACE 10.1; codice 100010 secondo la codifica danese) per fascia di appartenenza del numero di dipendenti (codici come in Figura 19).

Le temperature del calore di scarto al condensatore tra i 20 e 40 °C richiederebbero l'uso di pompe di calore per rendere recuperabile il calore in una rete di teleriscaldamento.

Industria lattiero-casearia

Anche nel caso dell'industria casearia, la refrigerazione presenta un interessante potenziale di calore di scarto come mostrato in Figura 21.

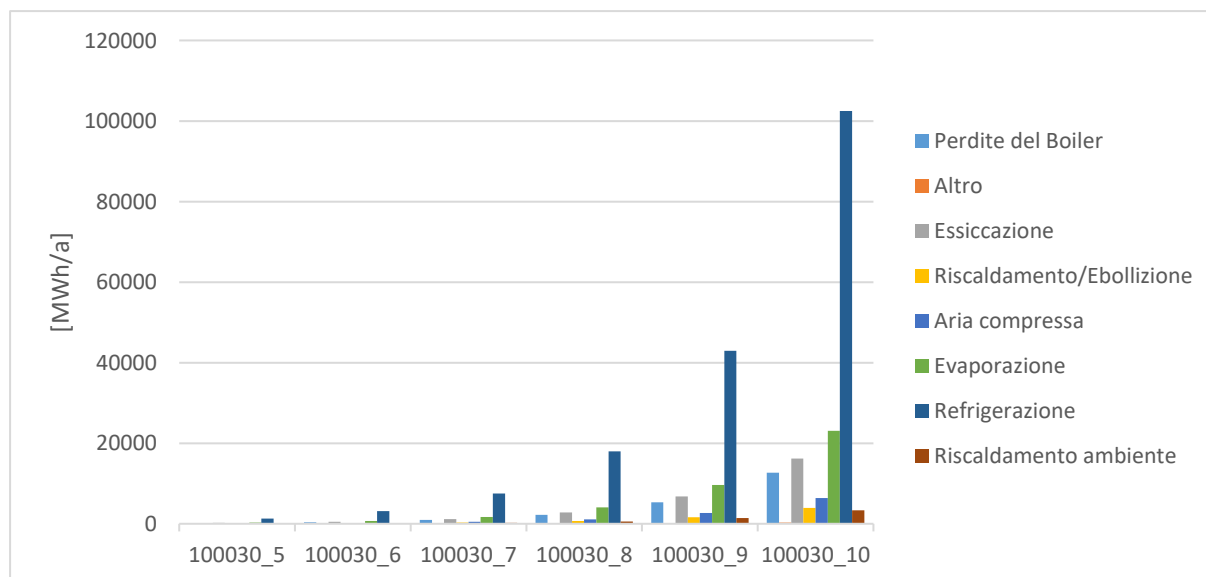


Figura 21. Distribuzione del calore di scarto tra i diversi processi del settore caseario (NACE 10.5; codice 100030 secondo la codifica danese) per fascia di appartenenza del numero di dipendenti (codici come in Figura 19).

7 Potenziale energetico complessivo e riduzione emissioni

I risultati complessivi ottenuti dalla mappatura del calore di scarto nella provincia di Bolzano sono stati riassunti nella Tabella 5.

Tabella 5. Risultati della mappatura del calore di scarto (alla sorgente) nella provincia di Bolzano (valori riportati per le due fasce di temperatura principali: bassa temperatura, per la quale si rende necessaria una pompa di calore, e medio-alta temperatura, per la quale è possibile il recupero diretto).

		Bassa T	≥ Media T	Totali
Calore di scarto totale - Potenziale teorico	GWh/a	419	192	611
Industriale	GWh/a	177	192	369
Settore terziario	GWh/a	242		242

La quantità di calore di scarto effettivamente recuperabile, oltre che da aspetti economici, dipende anche dalla contemporaneità tra disponibilità dello stesso e domanda di calore. La domanda di calore risente di dinamiche giornaliere e stagionali. Sulla base dell'andamento dei tipici profili di consumo del teleriscaldamento si può osservare che la domanda notturna è tipicamente marcatamente più bassa ($\leq 30\%$) di quella diurna, così come la domanda estiva è notevolmente più bassa ($\leq 10\%$) di quella invernale (in estate in pratica rimane solo la domanda di acqua calda sanitaria). Al contrario, la maggior parte delle sorgenti di calore di scarto hanno una disponibilità piuttosto continua, eventualmente con un andamento stagionale opposto (maggiore calore di scarto durante la stagione estiva). Per quantificare in maniera semplificata la continuità dei processi, si può ricorrere al concetto di numero di ore di esercizio equivalenti h_{eq} , date dal rapporto tra energia termica annuale $E_{th,y}$ e potenza termica nominale, $P_{th,nom}$, ovvero $h_{eq} = E_{th,y}/P_{th,nom}$. Nel caso del teleriscaldamento e dei normali impianti di riscaldamento e acqua calda sanitaria il numero di ore equivalenti di esercizio è pari a circa 2000 h/a, mentre per i processi alla base del calore di scarto tale numero è assai maggiore e qui assunto pari a 6000 h/a²⁷.

Fintantoché la potenza del calore recuperato rimane al di sotto della potenza minima della domanda, tutto il calore disponibile può essere utilizzato. Ciò può essere vero per piccole sorgenti di calore integrate in reti significativamente sviluppate. Più in generale, tuttavia, il bilancio delle relative potenze può porre dei limiti al calore recuperabile. In parte tale problema può essere ovviato tramite l'introduzione di accumuli, in grado di "conservare" il calore in attesa del momento in cui possa essere consumato. Per quanto riguarda però gli effetti stagionali, l'introduzione di accumuli in grado di immagazzinare in maniera efficiente il calore per periodi così lunghi è in generale poco fattibile. Con l'intento di offrire delle stime di massima per un recupero di calore su larga scala, si ipotizzano qui due scenari: recupero al 100 % rispetto al potenziale stimato e recupero al 33 % del potenziale stimato. Il secondo caso è ispirato all'ordine di grandezza del rapporto tra le ore di esercizio equivalenti sopra descritte (2000/6000 = 33 %).

Inoltre, per quanto riguarda il calore di scarto a bassa temperatura, dal punto di vista del calore utilizzabile all'utenza bisogna considerare il COP delle pompe di calore (PdC) utilizzate per portare il calore alla temperatura richiesta nella rete di teleriscaldamento²⁸. Sulla scorta delle valutazioni effettuate nel capitolo 3, per le pompe di calore si assume conservativamente un COP medio pari a 3.

Da queste ipotesi deriva quanto riportato in Tabella 7 e Tabella 7.

²⁷ Come descritto nel capitolo 3, le minime ore di funzionamento di un processo industriale (assumendo solo 2 turni al giorno e 5 giorni alla settimana) sono pari a circa 4000 h/a. La continuità dei processi di refrigerazione è tipicamente ancora più elevata.

²⁸ Per quanto riguarda gli scambiatori, si assume invece che il potenziale sopra stimato tenga già conto del relativo rendimento.

Tabella 6. Potenziale del calore di scarto nello scenario di recupero al 100 %.

		Bassa T	≥ Media T	Totali
Calore di scarto totale – scenario 100 %	GWh/a	629	192	821

Tabella 7. Potenziale del calore di scarto nello scenario di recupero al 33 %.

		Bassa T	≥ Media T	Totale
Calore immesso in TLR – scenario 33 %	GWh/a	210	64	274

Da questi risultati è possibile quantificare le emissioni di CO₂ equivalente che si risparmierebbero utilizzando tale calore per riscaldamento e produzione di acqua calda, evitando di utilizzare per esempio gas in boiler individuali.

A tale scopo, per la quota di calore recuperata tramite pompe di calore bisogna considerare anche le emissioni derivanti dall'utilizzo di elettricità. Infatti, per quanto ai fini del raggiungimento delle soglie di teleriscaldamento efficiente il calore fornito alla rete da pompe di calore possa formalmente essere considerato completamente rinnovabile (purché la macchina soddisfi minimi criteri prestazionali, come descritto nella sezione 2.1 a riguardo della EED), in realtà tipicamente i consumi elettrici coinvolgono una quota di emissioni. Ciò non sarebbe vero solo nel caso in cui tutta l'elettricità utilizzata fosse rinnovabile (condizione ottenibile per esempio con un PPA, secondo l'ipotesi descritta nella sezione 3.2).

Ai fini del calcolo della riduzione di emissioni, i fattori di emissione qui considerati sono i seguenti:

- 0,237 t_{CO2 eq}/MWh per il gas (EU Commission, 2016 (b))
- 0,260 t_{CO2 eq}/MWh per l'elettricità (ISPRA, 2022)

Risultano pertanto i potenziali risparmi di emissioni riportati in Tabella 8 e Tabella 9, rispettivamente per lo scenario con recupero al 100 % e per lo scenario con recupero al 33 %.

Tabella 8. Emissioni di CO₂ risparmiabili con l'integrazione del calore di scarto nelle reti di TLR, assumendo una recuperabilità al 100 %.

		Sistema di scambio utilizzato		
		PdC	Scambiatore	Totali
Emissioni Gas risparmiate	t _{CO2 eq}	148.997	45.476	194.473
Emissioni Elettricità prodotte	t _{CO2 eq}	54.486		544.86
Emissioni nette risparmiate	t _{CO2 eq}	94.512	45.476	139.987

Tabella 9. Emissioni di CO₂ risparmiabili con l'integrazione del calore di scarto nelle reti di TLR, assumendo una recuperabilità al 33 % del valore stimato.

		Sistema di scambio utilizzato		
		PdC	Scambiatore	Totali
Emissioni Gas risparmiate	t _{CO2 eq}	49.666	15.159	64.824
Emissioni Elettricità prodotte	t _{CO2 eq}	18.162		18.162
Emissioni nette risparmiate	t _{CO2 eq}	31.504	15.159	46.662

Infine, per quanto riguarda una stima di massima dei costi di investimento complessivi è possibile usare le due voci di costo stimate nel capitolo 3, ovvero 625 €/kW per il recupero di calore ad alta temperatura tramite scambiatore a tubi di calore e 1000 €/kW per il recupero di calore a bassa temperatura tramite pompa di calore (in entrambi i casi escludendo i costi di connessione, calcolabili a parte con un ordine di grandezza di 1000 €/m per il caso di una connessione da 1 MW, come descritto nel capitolo 3).

Per effettuare il calcolo si ipotizza in primo luogo di usare le ore equivalenti assunte precedentemente per ottenere una stima della potenza termica a partire dall'energia: $P_{th,nom} = E_{th,y}/h_{eq}$. Il dimensionamento di tale potenza per il calore di scarto viene qui effettuato assumendo sempre $h_{eq} = 6000$ h/a, a prescindere dallo scenario di recupero (100 % o 33 %). Si assume quindi che la potenza connessa sia dimensionata sulla disponibilità massima, a prescindere dal numero di ore equivalenti per il funzionamento del sistema di recupero di calore. I risultati di questo calcolo sono riportati nella sottostante Tabella 10.

Tabella 10. Stima delle potenze complessive coinvolte nel recupero di calore e corrispondenti costi di investimento.

		PdC	Scambiatore	Totali
Potenza	MW	105	32	137
Costi di investimento	M€	105	20	125

8 Conclusioni

Nel presente lavoro è stato stimato il potenziale complessivo per il recupero del calore di scarto nella Provincia di Bolzano.

In primo luogo sono state riviste le condizioni normative per il settore a livello europeo. Sono poi state descritte le due casistiche tecnologiche principali (recupero di calore diretto tramite scambiatore e recupero di calore indiretto tramite pompa di calore), includendo aspetti prestazionali, economici ed alcuni esempi concreti. La parte di analisi generale è stata poi completata con un'ampia revisione dei meccanismi economici e contrattuali nel settore.

Il cuore del lavoro è stato poi costituito dalla parte di mappatura vera e propria del calore, utilizzando due diverse metodologie per il calore di scarto industriale e quello urbano/commerciale. Per il calore di scarto industriale ci si è basati sulla lista delle aziende registrate presso la camera di commercio (restringendo l'analisi alle aziende con più di 10 dipendenti, come motivato da una stima preliminare condotta sul caso di Bolzano) e su una serie di coefficienti da letteratura (che consentono di stimare il calore di scarto a partire dal settore industriale e dal numero di dipendenti). Per il calore di scarto urbano/commerciale l'analisi è stata concentrata su centri commerciali, supermercati, ospedali e stadi del ghiaccio, ovvero su attività con ampi fabbisogni di refrigerazione, tipicamente stimabili sulla base della superficie delle attività.

Sulla scorta dei dati a disposizione sono stati identificati i 3 settori con il maggiore potenziale in Alto Adige, ovvero i settori della lavorazione del legno, della carne e dei prodotti lattiero-caseari.

Infine sono stati stimati i potenziali totali del calore di scarto, i relativi risparmi di emissioni e i costi di investimento di massima. Nel caso in cui tutto il calore di scarto mappato fosse recuperato, si potrebbero ottenere 821 GWh/a di calore (192 GWh/a con temperatura sufficiente per un recupero diretto, 629 GWh/a con recupero tramite pompa di calore), con un risparmio netto di 139.987 t/a di emissioni di anidride carbonica. È stato discusso come sia verosimile un recupero parziale, dell'ordine del 33 %, di questo potenziale, a causa del disallineamento temporale tra disponibilità di calore di scarto e domanda termica. I costi di investimento complessivi per i sistemi di recupero sarebbero dell'ordine di 125 M€ (105 M€ per sistemi a pompa di calore, 20 M€ per sistemi a recupero diretto; costi di connessione esclusi, altrimenti stimabili nell'ordine di 1000 €/m per applicazioni con taglia da circa 1 MW).

Allo scopo di promuovere un'adozione significativa dei sistemi di recupero del calore di scarto è possibile ipotizzare una serie di misure pubbliche, come in parte effettuato in altri paesi europei.

- Realizzazione di un "catasto" pubblico del calore di scarto. Tale possibilità si ispira alla piattaforma ("Plattform für Abwärme") recentemente avviata in Germania (Bundesregierung, 2023). Il primo insieme di dati è stato reso disponibile a gennaio 2025 ed include circa 3000 aziende a livello nazionale.
- Database di soluzioni tecniche. Tale database potrebbe prendere spunto dai riferimenti contenuti nel capitolo 3 ed essere progressivamente popolato da una lista di progetti realizzati sul territorio, in particolare se sostenuti da incentivi.
- Diffusione di esempi contrattuali mutuati da altri paesi (come per esempio il caso finlandese). Aspetti come trasparenza nella tariffazione, clausole dinamiche riguardo alle prestazioni energetiche, clausole sulla gestione dell'interruzione del contratto, assegnazione delle responsabilità tra fornitore del calore (azienda) e acquirente (TLR), sono in buona parte stati affrontati in alcuni modelli contrattuali esistenti (Finnish Energy, 2024) e la loro diffusione può semplificare le procedure di negoziazione tra le parti.
- Valutare quali possibili garanzie rispetto ai vari rischi di questo tipo di progetti potrebbero essere offerte dal pubblico. Si potrebbero studiare dei fondi agevolati o di tutela nel caso di imprevisti critici, come per esempio il caso di chiusura o di ristrutturazione dell'azienda fornitrice del calore di scarto (con compromissione della durata del contratto). Dal punto di

vista della creazione di fondi agevolati è di significativo interesse l'esempio del Kommunekredit danese.

- Azioni informative legate anche al TLR. Tale insieme di misure può spaziare su uno spettro di tematiche. Un punto pratico dal quale partire può essere la promozione dell'abbassamento della temperatura negli impianti degli edifici e la riduzione del sovradimensionamento degli stessi (tramite una progettazione più accurata). La distribuzione di informazioni di buone pratiche e iniziative esistenti nell'ambito del teleriscaldamento (per esempio secondo quanto suggerito dai gestori) presso progettisti e utenti potrebbe facilitare questo percorso.

Il recupero del calore di scarto è un tema complesso e comprensivo di molteplici aspetti, tecnici e non. L'attuale limitata diffusione della sua implementazione testimonia come questa complessità costituisca ancora una barriera non trascurabile. Al tempo stesso, il significativo potenziale e la disponibilità di esempi di successo ne suggeriscono la promozione, come importante misura di efficienza e circolarità energetica.

9 Riferimenti bibliografici

- Aalborg University. (2024, December 7). *www.heatroadmap.eu*. Tratto da About HRE4:
<https://heatroadmap.eu/project>
- Ahrendts, & et al. (2023). *The roll-out of large-scale heat pumps in Germany*. Agora Energiewende and Fraunhofer IEG.
- Alfalaval. (2002). The sulphuric acid plant and district heating. Kemira case story - plate heat exchanger.
- Battisti, & et al. (2016). Industrial waste heat recovery strategies in urban contexts: a performance comparison. *IEEE International Smart Cities Conference*.
- Bawaneh, & et al. (2019). Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States. *Energies*, 12, 3775.
- Bessling, & Pershad. (2014). *The potential for recovering and using surplus heat from industry*. DECC.
- Bonvincini. (2020). *Bankability (D2.2 in ReUseHeat Project)*. RINA Consulting.
- Bundeskartellamt. (2012). *Sektoruntersuchung Fernwärme*.
- Bundesregierung. (2023). *Energy Efficiency Act (EnEfg), section 17 (1-2)*.
- Bürger, & et al. (2019). Third party access to district heating systems - Challenges for the practical implementation. *Energy Policy*, Vol. 132.
- Cronholm, & et al. (2009). *Spillvärme från industrier och lokaler*. Svensk Fjärrvärme.
- Cucchetti, & et al. (2015). *Deliverable D5.1, Assessment report on resource and energy efficiency measures at factory demo sites*. REEMAIN project.
- Dalle Nogare, G., & Cozzini, M. (2023). *Report on the GIS tool for waste heat recovery opportunities individuation - Action C.6.4*. LIFE4HeatRecovery project.
- Dansk, & Fjernvarme. (2024, December 3). *Udnyttelse af overskudsvarme er klimavejen – men prisloft fremmer det modsatte*. Tratto da www.danskfjernvarme.dk.
- Dominkovic, & et al. (2018). Influence of different technologies on dynamic pricing in district heating systems; comparative case studies. *Energy*, Vol 153.
- Energiforetagen. (2022). *Fjärrvärmestatistik - Fjärrvärmens bränslemix 2021*.
- Energimyndigheten. (2011). *Yttrande angående Fjärrvärme i konkurrens (SOU 201144)*.
- Eriksson, & et al. (2017). A feasibility study of improved heat recovery and excess heat export at a Swedish chemical complex site. *International Journal of Energy Research*, Vol.42.
- Essiccazione legno: tecnologie e impianti per ogni soluzione | Incomac*. (2024, April 10). Tratto da <https://www.incomac.com/approfondimenti/articoli/essiccazione-legno-tecnologie-e-impianti-per-ogni-soluzione/>
- EU Commission. (2016 (a)). *An EU strategy on heating and cooling, Communication 2016-51*.
- EU Commission. (2016 (b)). *The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines*.

- EU Commission. (2023). *Energy Efficiency Directive*.
- European Council. (2024). *Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast)*.
- Faria, & et al. (2022). Liberalized market designs for district heating networks under the EMB3Rs platform. *Sustainable energy, grids and networks*, Vol. 29.
- Finnish Energy. (2024). *Model contract for Heat Trade*.
- Fritz, & et al. (2022). Usage of excess heat for district heating—Analysis of enabling factors and barriers. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 363.
- Frölke, & et al. (2022). Market integration of excess heat. *Electric Power Systems Research*, Vol.212.
- Göteborgsposten. (1998). Den värdefulla värmen (The valuable heat).
- Grönkvist, & Sandberg. (2006). Driving forces and obstacles with regard to cooperation between municipal energy companies and process industries in Sweden. *Energy Policy*, Vol.34.
- Gullev. (2019). Financial Gain Through Heat Agreement. *HOT COOL MAGAZINE*, p. Volume 1.
- Holtermann. (2024, December 7). www.twobirds.com. Tratto da Bird & Bird:
<https://www.twobirds.com/en/insights/2024/germany/rechenzentren-und-abwaerme-ein-ueberblick-ueber-die-gesetzlichen-vorgaben-zur-abwaermenutzung>
- HotMaps. (s.d.). Tratto da <https://www.hotmaps.eu/map>
- Huang, B., Bühler, F., & Holm, F. M. (2015). *Industrial Energy Mapping, THERMCYC project, WP6*. Technical University of Denmark.
- ISPRA. (2022). *Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico*.
- Kohne, & et al. (2023). Optimal operational planning for district heating coupled industrial energy systems considering participation models. *Procedia, CIRP*, Vol. 116.
- Korhonen. (2014). *Regulated Third-Party Access in Heat Markets: How to Organise Access Conditions*.
- Li, & et al. (2015). A review of the pricing mechanisms for district heating systems. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, Vol.42.
- LIFE4HeatRecovery. (2024, 09 01). Tratto da LIFE4HeatRecovery: <https://www.life4heatrecovery.eu>
- Liu, & et al. (2019). The marginal-cost pricing for a competitive wholesale district heating market: a case study in the Netherlands. *Energy*, Vol. 189.
- Lygnerud, & et al. (2019). Contracts, Business Models and Barriers to Investing in Low Temperature District Heating Projects. *Applied Sciences*, Vol. 9 (15).
- Lygnerud, & et al. (2021). Business models combining heat pumps and district heating in buildings generate cost and emission savings. *Energy*, Vol. 234.
- Lygnerud, & et al. (2022 (a)). *Handbook for increased recovery of excess heat*. ISBN 978-91-7883-404-4.

- Lygnerud, & et al. (2022 (b)). Risk assessment of industrial excess heat collaborations - Empirical data from new and ongoing installations. *Energy*, Vol. 255.
- Lygnerud, & et al. (2024). Stakeholder interfaces for excess heat-based urban heat supply— Input. *City and Environment Interactions*, Vol.23.
- Lygnerud, & Fransson. (2024). Circularity characterizes low-temperature district energy business models. *Smart Energy*, Vol.13.
- Lygnerud, & Werner. (2018). Risk assessment of industrial excess heat recovery in district heating. *Energy*, Vol.151.
- Makela, & et al. (2015). Open district heating for Espoo city with marginal cost based pricing. *12th international conference on the European energy market (EEM)*.
- Miró, & et al. (2015). Mapping and discussing Industrial Waste Heat (IWH) potentials for different countries. *Renewable Sustainable Energy Review*, Vol. 51.
- Monsalves, & et al. (2024). Waste-heat recovery utilisation for district heating systems under diverse. *Applied Energy*, Vol. 375.
- Moreno, D., Nielsen, S., Sorknæs, P., Lund, H., Thellufsen, J. Z., & Vad Mathiesen, B. (2024). Exploring the location and use of baseload district heating supply. What can current heat sources tell us about future opportunities? *Energy*, 288, 129642.
- Moser, & Jauschnik. (2023). Using IndustrialWaste Heat in District Heating: Insights on. *Sustainability*, Vol.15.
- Päivärinne. (2017). *Utilisation of excess heat towards a circular economy : implications of interorganisational collaborations and strategic planning*. Dissertation Linköping University, Sweden.
- Pieper, & et al. (2018). Allocation of investment costs for large-scale heat pumps supplying district heating. *Energy Procedia*, 147, 358–367.
- Planheat. (2024, December 7). *Planheat Project*. Tratto da <https://www.euroheat.org/dhc/eu-projects/planheat>
- Popovic, & et al. (2024). Blended finance as a catalyst for accelerating the European heat transition? *Smart energy*, Volume 14.
- Pöyry. (2018). *Third-party Access to District Heating Networks*.
- Reuseheat. (2024, December 7). *Reuseheat project*. Tratto da <https://www.reuseheat.eu/>
- Rewardheat. (2024, December 7). *Rewardheat project*. Tratto da <https://www.rewardheat.eu/en/About/Contact-us>
- Skatteverket. (2024, December 7). *www.skatteverket.se*. Tratto da Avfallsförbränningsskatt: <https://www.skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/avfallsforbranningskatt.4.7eada0316ed67d728244a8.html>
- Södergren, & Palm. (2021). The role of local governments in overcoming barriers to industrial symbiosis. *Cleaner Environmental Systems*, Vol.2.

- Söderholm, & Wårell. (2011). Market opening and third party access in district heating networks. *Energy Policy*, Vol.39.
- SoWhat. (2024, December 7). *SoWhat project*. Tratto da <https://sowhatproject.eu/project-2/>
- Stockholmexergi. (2024, December 3). *Värmeåtervinning*. Tratto da <https://www.stockholmexergi.se/varmeatervinning/>.
- Strolený, & et al. (2024). *Position paper: The role of DHC in the FitFor55 package – EC funded projects' point of view*.
- Thermos. (2024, December 7). *Thermos Project*. Tratto da <https://www.thermos-project.eu/home>
- Thollander, & et al. (2010). Analyzing variables for district heating collaborations between energy utilities and industries. *Energy*, Vol.35.
- Trygg, & et al. (2009). *Optimal district systems in symbiosis with industry and society - for a sustainable energy system*. Fjärrsyn.
- VEAB. (2020). *Report on current contractual arrangements for waste heat/cooling exploitation*. EU Commission; SO WHAT project.
- Viklund. (2015). Energy efficiency through industrial excess heat recovery - policy impacts. *Energy Efficiency*, Vol.8.
- Wheatcroft, & et al. (2020). The Role of Low Temperature Waste Heat Recovery in Achieving 2050 Goals: A Policy Positioning Paper. *Energies*, Vol. 13.
- Wilk, V., & Krämer, J. (2019). *Task 2: Structuring information on industrial heat pumps and preparation of guidelines, Austrian Report*. IEA Heat Pump Programme Annex 48.