



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



MINISTERO DELLA
TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

Sistemi di accumulo termico a calore latente nell'Industria manifatturiera

Pantaleo A, Santoro F, Zanchi M, Alari P, Muscherà M, Frein A.



LINEA DI ATTIVITÀ 9: ANALISI PRELIMINARE DI MERCATO PER L'APPLICAZIONE DEI SISTEMI DI ACCUMULO A CALORE LATENTE SVILUPPATI IN AMBITO INDUSTRIALE ED AGRO-ALIMENTARE

Pantaleo A, Santoro F, Zanchi M, Alari P, Muscherà M, Frein A

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *Tecnologie*

Progetto: Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e relative interfacce con le reti

Work package: Accumulo termico

Linea di attività: ANALISI PRELIMINARE DI MERCATO PER L'APPLICAZIONE DEI SISTEMI DI ACCUMULO A CALORE LATENTE SVILUPPATI IN AMBITO INDUSTRIALE ED AGRO-ALIMENTARE)

Responsabile del Progetto: ing. Giulia Monteleone

Responsabile del Work package: ing. Raffaele Liberatore

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Analisi preliminare di mercato per l'applicazione dei sistemi di accumulo termico a cambiamento di fase in ambito industriale ed agro-alimentare*".

Responsabile scientifico ENEA: ing. Raffaele Liberatore

Responsabile scientifico UNIBA: prof. Antonio Pantaleo

Indice

Sommario	6
1 Introduzione.....	7
2 Descrizione delle attività svolte e risultati	8
2.1 <i>I sistemi di accumulo di energia termica e frigorifera</i>	8
2.1.1 I sistemi di Accumulo di calore e freddo o TES (Thermal Energy Storage).....	8
2.1.1.1 Operatività e problematiche dei TES	8
2.1.1.2 Classificazione dei TES	9
2.1.1.3 Confronto fra i diversi tipi di TES	11
2.1.2 I sistemi di accumulo a calore latente o LHTES	12
2.1.2.1 Generalità sugli LHTES	12
2.1.2.2 Materiali utilizzati per gli LHTES	13
2.1.2.3 Contenimento dei PCM.....	15
2.1.2.4 Aspetti applicativi per i PCM	15
2.2 <i>Analisi statistica dell'Utilizzo dell'energia nell'industria manifatturiera italiana</i>	17
2.2.1 L'industria manifatturiera	17
2.2.2 Caratterizzazione dei consumi energetici nell'industria manifatturiera	19
2.2.3 Spesa per energia delle aziende.....	22
2.2.4 I settori di maggior interesse potenziale per l'accumulo termico	25
2.3 <i>Modalità di utilizzo dell'energia termica e frigorifera nell'industria manifatturiera</i>	27
2.3.1 Settori con prevalenza di utilizzi termici a bassa temperatura	29
2.3.1.1 Il settore dell'industria Alimentare	30
2.3.1.2 Il settore dell'industria Tessile.....	34
2.3.1.3 Il settore Cartario	36
2.3.2 Settori con prevalenza di utilizzi termici ad alta temperatura	37
2.3.3 Altri settori	38
2.4 <i>La Cogenerazione nell'industria manifatturiera</i>	38
2.4.1 Il quadro nazionale della cogenerazione e della CAR	38
2.4.2 La Cogenerazione per il settore industriale.....	43
2.5 <i>Esempi applicativi per l'integrazione di LHTES nei settori industriali descritti</i>	46
2.5.1 Industria Alimentare: utenze di calore e sistemi di recupero termico presenti in caseificio	46
2.5.2 Dissipazione di calore da sistemi cogenerativi presenti in caseifici	53
2.5.2.1 Stabilimento 1	54
2.5.2.2 Stabilimento 2	55
2.5.2.3 Stabilimento 3	59
2.5.3 Recupero termico in fase di riscaldamento e raffreddamento della resina liquida	60
2.6 <i>Potenzialità di introduzione di sistemi d'accumulo termico LHTES</i>	62
2.6.1 LHTES per facilitare il recupero termico del calore di scarto industriale	62
2.6.1.1 L'utilizzo del calore alle diverse temperature nell'industria manifatturiera	62
2.6.1.2 Potenzialità di riutilizzo del calore di scarto industriale e ruolo degli accumuli termici	63
2.6.1.3 Potenzialità di installazione per sistemi LHTES per il recupero del calore di scarto industriale	64
2.6.2 LHTES per facilitare il recupero termico nella cogenerazione nel settore manifatturiero	65
2.7 <i>Previsioni di sviluppo dei sistemi TES e LHTES</i>	68
2.8 <i>Panoramica sui mercati elettrici in Italia e in Europa: focus su MSD</i>	73
2.8.1 Il contesto europeo	73
2.8.2 Il Mercato dei Servizi per il Dispacciamento (MSD)	74
2.8.3 Orientamenti su MSD in Italia	75
2.8.4 Evoluzione normativa MSD: verso l'apertura al mercato dei servizi	78
2.8.4.1 Remunerazione del servizio in caso di attivazione delle risorse	80
3 Conclusioni.....	82
4 Riferimenti bibliografici	84
5 Abbreviazioni ed acronimi	86

Indice delle Tabelle

Tabella 1. Caratteristiche tecniche dei materiali utilizzate per i TES	11
Tabella 2. Unità locali, Addetti, Valore della produzione per Settore economico	17
Tabella 3. Unità locali e Addetti per Classe di addetti	18
Tabella 4. Unità locali e Addetti per Classe di addetti	19
Tabella 5. Bilancio Energetico Nazionale Italia – 2018 [1]	19
Tabella 6. Consumi per tipologia di vettore per settore [1]	20
Tabella 7. Consumi di energia elettrica e Autoconsumo [2]	21
Tabella 8. Consumi di energia e Autoconsumi per tipologia e settore	21
Tabella 9. Valori unitari dei Consumi energetici	22
Tabella 10. Campione studio RSE 2018 [3]	23
Tabella 11. Spesa per energia delle imprese (campione RSE in [3])	23
Tabella 12. Spesa per energia per dimensione d'impresa (campione RSE in [3])	24
Tabella 13. Spesa e costo medio del gas naturale per le imprese (campione RSE in [3])	25
Tabella 14. Spesa e costo medio dell'energia elettrica per le imprese (campione RSE in [3])	25
Tabella 15. Previsioni sulla diffusione delle rinnovabili nell'industria al 2050 [4]	28
Tabella 16. Stima indicativa dei consumi termici per livello di temperatura	29
Tabella 17. Temperature necessarie per tipici processi industriali	30
Tabella 18. Unità locali, Addetti, Valore della produzione per Settore Alimentare	31
Tabella 19. Unità locali, Addetti, Valore della produzione per Settore Tessile	34
Tabella 20. Stima della suddivisione dei consumi energetici nei sottosettori dell'industria Tessile	35
Tabella 21. Quadro generale sulla cogenerazione in Italia	42
Tabella 22. Produzione cogenerativa da impianti CAR nel settore manifatturiero, 2013	43
Tabella 23. Potenza impianti CAR nel settore manifatturiero, 2013	44
Tabella 24. Potenziale di installazione impianti CAR nell'industria manifatturiera	45
Tabella 25. Potenziale produzione in CAR nell'industria manifatturiera	45
Tabella 26. Differibilità delle utenze di calore nei caseifici	49
Tabella 27. Possibili utenze del calore di recupero per un caseificio reale	50
Tabella 28. Risultati mensili cogenerazione stabilimento 1	54
Tabella 29. Risultati mensili cogenerazione dello stabilimento 2	56
Tabella 30. Risultati mensili efficienza di cogenerazione dello stabilimento 2	56
Tabella 31. Calore dissipato dal cogeneratore	57
Tabella 32. Stima consumi termici per livello di temperatura	62
Tabella 33. Stima del potenziale di recupero termico nell'industria manifatturiera italiana	63
Tabella 34. Stima dell'energia termica recuperabile che può necessitare di sistemi LHTES	64
Tabella 35. Obiettivi chiave per l'innovazione tecnologica nei TES per l'industria [4]	70
Tabella 36. Prototipo ENEA. Principali voci di spesa [21]	71
Tabella 37. Servizi ancillari, modalità approvvigionamento e remunerazione risorse esistenti [7]	76
Tabella 378. Requisiti minimi prestazionali abilitazione di servizi ancillari soggetti a remunerazione	77

Indice delle Figure

Figura 1. Temperature di funzionamento e intervalli di tempo per le diverse tecnologie TES [4].....	12
Figura 2. Proprietà dei PCM [4].....	14
Figura 3. Applicabilità, durate di accumulo e vettori energetici rilevanti per tecnologie TES.....	16
Figura 4: Matrice di correlazione fra Processi e Sottosettori dell'Alimentare [5].....	33
Figura 5. Tipologie impianti produzione combinata di energia elettrica e calore in Italia nel 2018.....	38
Figura 6. Impianti di cogenerazione: evoluzione della potenza installata dal 1991 al 2018.....	39
Figura 7. Incidenza dei combustibili utilizzati per la generazione termoelettrica in Italia nel 2018.....	39
Figura 8. Produzione da cogenerazione per tecnologia impiantistica in Italia, 2015.....	40
Figura 9. Impianti CAR: produzione elettrica, quota ad alto rendimento e produzione termica, 2015.....	40
Figura 10. rendimenti elettrici e termici medi degli impianti CAR, 2017.....	41
Figura 11. Bilancio energetico complessivo impianti CAR, GWh, 2017.....	42
Figura 12. Andamento risparmio ottenibile al variare quota sfruttamento del calore disponibile.....	49
Figura 13. Disponibilità ed utilizzi di energia termica nel caseificio d'esempio.....	50
Figura 14. Sala lavorazione stabilimento Grana Padano: caldaie (tronco coniche) produzione formaggio ..	51
Figura 15. Configurazione raffreddamento siero in caseificio: senza (alto) e con (basso) recupero calore ..	52
Figura 16. Configurazione per recupero calore dal siero in caseificio, con integrazione di accumulo PCM .	53
Figura 17. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, dicembre	55
Figura 18. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, agosto....	55
Figura 19. Andamento orario di produzione del cogeneratore.....	57
Figura 20. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, marzo	58
Figura 21. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, giugno....	58
Figura 22. Potenze medie orarie giornaliere relative a un cogeneratore, mese di marzo.....	59
Figura 23. Potenze medie orarie giornaliere relative a un cogeneratore, mese di giugno.....	59
Figura 24. Produzione di resine liquide nello stabilimento di produzione resine d'esempio.....	60
Figura 25. Stato della tecnologia TES e prospettive di innovazione nel settore industriale [4].....	69
Figura 26. Tecnologie applicabili nel settore industriale a seconda del livello di temperatura [4].....	69
Figura 27. Variazione del costo dell'elemento base ENEA in funzione del kWh accumulato [21].....	72
Figura 28. Potenza abilitata e contrattualizzata a termine su MSD.....	80
Figura 29. Esito assegnazione (area B: Centro-Sud, Sud, Calabria, Sicilia e Sardegna) approvvigionamento a termine UVAM 01/01–31/12/2020.....	80

Sommario

I sistemi di accumulo a calore latente (LHTES) sono sistemi basati sull'assorbimento e il successivo rilascio di calore durante una transizione di fase (di solito solido-liquido) subita dal mezzo di stoccaggio, comunemente definito PCM, Phase Change Material. La tecnologia è in evoluzione, sia da un punto di vista dello sviluppo dei materiali che dei sistemi; attualmente consente, a parità di condizioni, di incrementare la densità di accumulo, rispetto ai sistemi a calore sensibile, di quantità variabili fra il 20 e l'80%. Il loro utilizzo è particolarmente indicato ove vi siano necessità di accumulare, con *alta densità energetica* (quindi con spazio e peso ridotti), energia termica o frigorifera da riutilizzare in processi che richiedano *stabilità nella temperatura* a cui avviene il trasferimento di energia.

Nel presente studio si è analizzato il settore manifatturiero italiano e in particolare l'*uso di energia termica* di processo e la *cogenerazione*, che determinano notevoli dissipazioni di calore; sono stati utilizzati sia dati statistici generali (imprese, fatturato, consumi energetici), sia studi specifici sui singoli macrosettori (spesa per l'energia, processi che necessitano di energia termica, temperatura di utilizzo del calore), sia infine i risultati dall'analisi di casi particolari (recupero di calore di processo e da cogenerazione in stabilimenti alimentari e chimici).

A partire da queste analisi, si è individuata la probabile suddivisione dei consumi termici dei settori manifatturieri fra i diversi *livelli di temperatura* e, sulla base di studi di letteratura, si è identificato per ciascun settore un potenziale teorico di calore di processo recuperabile. Ci si è poi concentrati sui settori dove sono preponderanti i recuperi e le necessità di *calore a bassa e media temperatura*, e dove sono diffusi i casi di *non contemporaneità* (il calore ad alta temperatura è soprattutto utilizzato in lavorazioni che si svolgono tendenzialmente a ciclo continuo, con possibili recuperi ma senza la necessità di sistemi di accumulo termico).

Per i settori a prevalenza di usi in bassa e media temperatura, si è ipotizzato un calore recuperabile non direttamente sfruttabile per non contemporaneità tra calore disponibile e fabbisogno (per il quale cioè è necessario un accumulo).

Lo studio analizza inoltre le potenzialità di utilizzo dei sistemi LHTES nell'ambito della cogenerazione, sia CAR che no. Si è evidenziato come nell'industria manifatturiera gli *impianti cogenerativi* installati siano operati in maniera mediamente poco efficiente, con rendimenti termici non ottimali, e si sono stimate le quantità di calore che potrebbero essere recuperate.

Anche in questo caso si è ipotizzato il possibile contributo dei sistemi LHTES al recupero di calore dai cogeneratori, nei casi in cui la dissipazione sia imputabile alla non contemporaneità tra calore disponibile e fabbisogno, e nella ipotesi di esercire l'impianto di cogenerazione in modalità di inseguimento elettrico.

Si è quindi giunti alla **capacità complessiva di accumulo** per sistemi LHTES installabili nel settore Manifatturiero in Italia, al fine di facilitare il recupero energetico del calore di scarto dei processi, e del calore dissipato dagli impianti cogenerativi, stimabile, prudenzialmente, in:

- **300-1000 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore di Processo a Bassa temperatura, 10-150°C
- **100-300 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore di Processo a Media temperatura, 150-400°C
- **1500 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore a Bassa temperatura da Cogeneratori, 10-150°C

A valori dello stesso ordine di grandezza per la cogenerazione, si arriva procedendo con un approccio bottom up, partendo dall'analisi specifica di alcune industrie alimentari italiane.

1 Introduzione

La finalità del presente lavoro è quella di identificare un potenziale di utilizzo dei sistemi di accumulo termico a calore latente, LHTES, nell'ambito dell'industria manifatturiera italiana, prendendo in considerazione sia il calore di processo disperso, sia il calore disponibile e non sfruttato (dissipato) da sistemi cogenerativi.

Dopo una breve introduzione ai sistemi LHTES (*Paragrafo 2.1*), viene analizzata (*Paragrafo 2.2*) l'industria manifatturiera italiana, evidenziandone la struttura, i consumi energetici, la spesa energetica e identificando i settori di maggior interesse potenziale per l'utilizzo di accumuli termici.

Nel *Paragrafo 2.3* vengono descritte le modalità di utilizzo dell'energia termica e frigorifera nei settori industriali di maggior interesse. Nel *Paragrafo 2.4* viene analizzata la presenza della cogenerazione nell'industria manifatturiera, con particolare attenzione al tema dell'efficienza termica dei sistemi installati. Nel *Paragrafo 2.5* vengono presentati alcuni casi d'uso, che saranno oggetto di approfondimento in un altro report. Infine, nei *Paragrafi 2.6 e 2.7* si riportano le stime relative alle potenzialità di installazione di capacità d'accumulo con sistemi LHTES e le previsioni di sviluppo di tale tecnologia. Il *paragrafo 2.8* si focalizza sulle opportunità offerte dalla gestione attiva della domanda energetica e fornitura di servizi ancillari di rete, che può essere favorita dalla presenza di sistemi di accumulo termico combinati con tecnologie di power to heat (ad esempio pompe di calore ad alta temperatura) e con cicli Rankine per la conversione del calore accumulato in energia elettrica.

Esula dal presente studio l'analisi di altre applicazioni dei sistemi LHTES quali ad esempio l'accumulo giornaliero del calore prodotto da impianti solari o applicazioni legate al teleriscaldamento civile. Entrambi comunque temi di analisi di sicuro interesse.

La seconda annualità sarà focalizzata su analisi costi-benefici di sistemi di accumulo termico in vari casi di studio, alla luce della normativa vigente per facilitare strategie di gestione attiva della domanda.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 I sistemi di accumulo di energia termica e frigorifera

2.1.1 I sistemi di Accumulo di calore e freddo o TES (Thermal Energy Storage)

I sistemi avanzati di accumulo termico si distinguono in tre diverse tecnologie: sistemi a calore sensibile, sistemi a calore latente e sistemi termochimici.

I **sistemi di accumulo termico a calore sensibile (SHTES**, Sensible Heat Thermal Energy Storage) sono basati sull'assorbimento e il successivo rilascio di calore attraverso una variazione di temperatura di un mezzo di accumulo sia solido che liquido. Questa tecnologia è la più matura e commerciale delle tre e largamente utilizzata sia a bassa che alta temperatura per applicazioni civili e industriali o in impianti solari per la produzione di energia elettrica.

I **sistemi di accumulo termico a calore latente (LHTES**, Latent Heat Thermal Energy Storage) sono basati sull'assorbimento e il successivo rilascio di calore durante la transizione di fase subita dal mezzo di stoccaggio. Le transizioni di fase possono essere del tipo solido/liquido o solido/solido (transizioni allotropiche) e realizzate con materiali comunemente definiti PCM, Phase Change Materials. La tecnologia è in evoluzione soprattutto per quanto riguarda l'applicazione per uso domestico e industriale, sia da un punto di vista dello sviluppo dei materiali che dei sistemi. I sistemi di accumulo a calore latente consentono, a parità di condizioni, di incrementare la densità di accumulo, rispetto ai classici sistemi a calore sensibile, di quantità variabili fra il 20 e l'80%. I PCMs attualmente in commercio hanno dimostrato elevate stabilità a seguito di migliaia di cicli.

I **sistemi di accumulo termochimico** (Thermochemical Energy Storage) si basano sull'energia assorbita e rilasciata durante la rottura e la formazione dei legami chimici o fisici, durante una reazione completamente reversibile. Tali sistemi sono in fase di sviluppo, particolarmente per l'accumulo termico stagionale. Esistono piccole applicazioni già commercializzate per l'ottimizzazione energetica di processi. I sistemi di accumulo termochimici possono garantire densità di accumulo fino ad un ordine di grandezza superiore ai classici sistemi sensibili. Possono essere impiegati per accumuli di tipo stagionale, non soffrendo di degradazione della capacità di accumulo nel tempo. Anche in questo caso, i materiali impiegati garantiscono cicli di carica e scarica sufficienti per l'applicazione pratica, come dimostrato dai primi sistemi in commercio.

I sistemi di accumulo termico risultano di fondamentale importanza in qualunque settore produttivo al fine di incrementarne l'efficienza energetica. Inoltre sono necessari nell'ottica di una diffusione capillare di impianti alimentati da energia termica da fonte rinnovabile.

L'impatto ambientale dei sistemi di accumulo a calore latente e termochimici è limitato. Infatti, i materiali impiegati (ad es. zeoliti, sali, paraffine) non presentano particolari problematiche dal punto di vista del consumo di materie prime e tantomeno del rilascio di elementi inquinanti. Le emissioni di CO₂ durante l'operatività dei sistemi di accumulo termico risultano nulle.

2.1.1.1 Operatività e problematiche dei TES

Mediante i sistemi di stoccaggio dell'energia termica, il calore viene trasferito al mezzo di accumulo durante il periodo di carica, e rilasciato in un secondo momento durante il processo di scarica. Più precisamente il processo completo prevede tre fasi: carica, conservazione, scarica.

Le caratteristiche più importanti di un sistema di accumulo sono:

- la durata, ovvero il tempo durante il quale l'energia può essere conservata con perdite accettabili;
- l'efficienza, data dal rapporto tra l'energia estratta durante la scarica e l'energia immagazzinata durante la carica; tale parametro può essere fortemente dipendente dalle condizioni di lavoro del sistema e dalla durata dell'accumulo.
- la densità di accumulo, vale a dire la quantità di energia immagazzinata nell'unità di volume (misurata in kWh/m³, ovvero 3600kJ/m³); la densità massima è relativa allo stoccaggio dalla temperatura minima di lavoro del sistema a quella massima; i materiali che presentano una grande variazione di energia interna per unità di volume minimizzano lo spazio richiesto; spesso per un materiale viene fornita la capacità di accumulo che è la quantità di energia immagazzinata nell'unità di peso (misurata in kWh/t), dalla quale è possibile ottenere la densità di accumulo moltiplicando per la densità del materiale (in t/m³).

Un accumulo efficiente dovrebbe avere *lunga durata* ed *elevata densità* di accumulo; inoltre dovrebbe *minimizzare le perdite* termiche e consentire un *elevato recupero* di energia durante l'estrazione dall'accumulatore.

Tutti i sistemi di stoccaggio sono soggetti a fatica e usura durante l'utilizzo, provocando invecchiamento e degrado termico; la "vita utile" si riferisce al numero di anni per cui ci si può aspettare che l'unità di stoccaggio funzioni con le caratteristiche per cui è stata progettata in determinate condizioni operative; a volte ci si riferisce al numero di cicli che il sistema può eseguire.

Le principali esigenze operative sono le seguenti:

- è necessario che un sistema di accumulo possa operare con *stabilità* nell'intervallo di temperature richiesto dall'applicazione o, meglio ancora, in un intervallo di temperature più ampio possibile;
- in alcune applicazioni è importante un'elevata *efficienza* di trasmissione del calore, per velocizzare i processi di accumulo e scarica
- il materiale di stoccaggio usato dev'essere *economico*, *disponibile* in grandi quantità e compatibile con un conveniente progetto del sistema;
- vanno tenuti in conto altri aspetti, quali la pressione di vapore, la tossicità, la resistenza alla corrosione.

2.1.1.2 Classificazione dei TES

I TES possono essere classificati in diversi modi, a seconda di una serie di caratteristiche; per approfondimenti si veda ad esempio [4], [17] e [18].

Classificazione per **intervallo di temperatura di esercizio**; i diversi range di temperatura corrispondono per lo più a differenti ambiti di applicazione, anche se studi ed autori diversi individuano limiti diversi:

- LTTES (Low temperature TES), accumulo termico a bassa temperatura, di norma fra 10°C e 100/150/200°C: di interesse per impianti cogenerativi, riscaldamento e raffrescamento degli ambienti e degli edifici, collettori solari, processi industriali.
- MTTES (Medium Temperature TES), accumulo termico a media temperatura, con temperature tra i 100/150°C e i 250/400°C: sono specificamente di interesse per gli impianti solari a concentrazione e il solar cooling, oltre che utilizzati in vari processi industriali.
- HTTES (High temperature TES), accumulo termico ad alta temperatura, di norma superiori ai 250/400°C: recupero del calore di scarto da processi industriali (produzione di materiali da costruzione, miniere o impianti metallurgici); tecnologie per energie rinnovabili (solare termico a concentrazione).

- CTES (Cold TES), accumulo termico del freddo, con temperature inferiori ai 20°C: nell'industria alimentare e nella distribuzione per la conservazione dei cibi; nel raffrescamento degli ambienti, in caso di non sincronia tra domanda e fornitura di freddo.

Ogni tecnologia può funzionare solo in uno specifico intervallo di temperatura di esercizio, che dipende principalmente da proprietà fisico-chimiche del mezzo utilizzato per l'accumulo. L'utilizzo di sistemi cascade con differenti materiali a temperature di fusione via via crescenti può massimizzare l'efficienza del processo di scambio termico e viene proposto in qualche configurazione impiantistica.

Classificazione basata sulla **modalità con cui avviene l'accumulo del calore**.

- Calore sensibile: avviene una *variazione di temperatura* del mezzo di accumulo, liquido (acqua fino a 100°C, olio, sali fusi, metalli liquidi) o solido (roccia, mattoni, metalli, sabbia, terreno). L'energia termica in tali sistemi è direttamente proporzionale alla temperatura che raggiunge il materiale, per cui più alta è tale temperatura, più alta sarà la quantità di energia termica accumulata. E' però necessario considerare che:
 - anche le perdite termiche sono direttamente proporzionali alla temperatura;
 - i valori massimi di temperatura devono essere mantenuti al di sotto della temperatura di transizione di fase.
- Calore latente: avviene un *cambiamento di fase* del mezzo di accumulo, da solido a liquido e viceversa (o solido-solido con passaggio da una fase cristallina ad un'altra); i materiali vengono comunemente definiti PCM, phase change materials. e sono sia inorganici (per lo più sali idrati), sia organici, sia eutettici (combinazione di due o più materiali con simili punti di fusione e congelamento); il sistema opera in un intervallo di temperature che include la temperatura di fusione, e quindi è da considerare anche il contributo del calore sensibile accumulato dal materiale prima e dopo il cambiamento di fase.
- Energia di legame: avviene l'assorbimento/rilascio di energia chimica di legame mediante spostamento dell'equilibrio di reazione dei reagenti che costituiscono il mezzo di accumulo. Nei sistemi ad adsorbimento ad esempio, una fonte di calore promuove la dissociazione (processo endotermico) di una coppia funzionante, le cui sostanze possono essere immagazzinate separatamente. quando entrano di nuovo in contatto, il calore viene rilasciato (processo esotermico); l'energia può quindi essere immagazzinata praticamente senza perdite, purché le sostanze siano tenute separate, visto che calore non viene accumulato in una forma sensibile o latente ma piuttosto come energia potenziale. Pur sembrando la tecnologia forse più promettente, risulta tuttavia la meno sviluppata.

I sistemi SHTES presentano minori difficoltà di progettazione per quanto concerne la trasmissione del calore e la scelta dei materiali; di contro i sistemi LHTES, a parità di energia termica immagazzinata, hanno dimensioni decisamente inferiori ad un sistema a SHTES, anche se presentano un costo sicuramente superiore.

Classificazione per intervallo di **tempo di accumulo**, in base al periodo di stoccaggio richiesto.

- Accumulo termico a breve termine: sistemi con capacità di stoccaggio variabile da poche ore ad un massimo di una settimana, con utilizzo legato a compensare le variazioni di domanda orarie o al massimo giornaliero entro la settimana; solitamente l'energia termica in questi sistemi viene mantenuta a temperature abbastanza alte da permettere uno scambio diretto con l'utilizzatore alla temperatura richiesta.

- **Accumulo termico a lungo termine o stagionale:** sistemi con capacità di stoccaggio di alcuni mesi; normalmente l'obiettivo è l'accumulo di calore durante l'estate per il riscaldamento invernale di abitazioni o l'accumulo di freddo invernale per il raffrescamento estivo, e tal fine sono accoppiati a collettori solari, pompe di calore o impianti cogenerativi. L'accumulo termico stagionale a calore sensibile è una tecnologia matura: di solito gli impianti lavorano con temperature medio-basse, e sono costituiti da accumuli d'acqua di grosso volume, interrati o integrati con il sottosuolo; l'accumulo termico stagionale a calore latente e quello chimico sono caratterizzati da alte densità di accumulo termico, ma il costo e/o le problematiche associate alla stabilità a lungo termine delle proprietà termofisiche dei materiali utilizzabili, ad oggi, ne hanno limitato l'applicazione a piccoli impianti dimostrativi, perlopiù in scala di laboratorio.

Infine, conta sicuramente la **dimensione** dei sistemi di accumulo, considerando che ogni tecnologia ha dimensioni ottimali che la rendono più adatte a determinate applicazioni.

2.1.1.3 Confronto fra i diversi tipi di TES

Nella Tabella 1, ripresa da [4], sono riportate alcune caratteristiche tecniche per i principali materiali utilizzati negli accumuli termici.

Tabella 1. Caratteristiche tecniche dei materiali utilizzate per i TES

Type of TES	TES technology	Range of capacities	Range of power	Operating temperature	Round-trip efficiency	Storage period	Energy density	Lifetime (years or no. of cycles)
Sensible	WTES	kWh to 1 GWh	kW to 10 MW	10 to 90°C	50 to 90%	Hours to months	15-80 kWh/m ³ ⁽¹⁾	15-40 years
	UTES	MWh to GWh	MW to 100 MW	5 to 95°C	up to 90%	Weeks to months	25-85 kWh/m ³	50 years
	Solid state	10 kWh to GWh	kW to 100 MW	-160 to 1300°C	>90%	Hours to months	0.4-0.9 kWh/m ³ ·K (heat capacity) ⁽²⁾	> 5 000 cycles
	Molten salts	MWh to 5 GWh	100 kW to 300 MW	265 to 565°C ⁽⁴⁾	>98%	Hours to days	70-200 kWh/m ³	> 20 years
Latent	Ice thermal energy storage	kWh to 100 MWh	kW to 10 MW	-3 to 3°C	>95%	Hours to days	92 kWh/m ³	> 20 years
	Sub-zero temperature PCM	kWh to 100 kWh	kW to 10 kW	down to -114°C	>90%	Hours	30-85 kWh/m ³	> 20 years
	Low-temperature PCM	kWh to 100 kWh	kW to 10 kW	up to 120°C	>90%	Hours	56-60 kWh/m ³	300-3 000 cycles
	High-temperature cPCM	10 kWh to GWh	10 kW to 100 MW	up to 1 000°C	>90%	Hours to days	30-85 kWh/m ³	> 5 000 cycles
Thermo-chemical	Chemical looping (calcium looping) ⁽⁵⁾	MWh to 100 MWh	10 kW to 1 MW	500 to 900°C	45-63%	Months	800-1200 kWh/m ³	>30 years
	Salt hydration	10 kWh to 100 kWh	N/A	30 to 200°C	50% (open systems) 60% (closed systems)	Months	200-350 kWh/m ³	20 years
	Absorption Systems	10 kWh to 100 kWh	10 kW to 1 MW	5 to 165°C	COP: 0.7-1.7	Hours to days	180-310 kWh/m ³	50 years

Fonte: Irena

Sempre in [4], vengono schematizzati i tipici regimi di funzionamento, in termini di *Temperatura di esercizio* e *Tempo di accumulo*, per le principali tecnologie di accumulo termico, schema riportato in Figura 1.

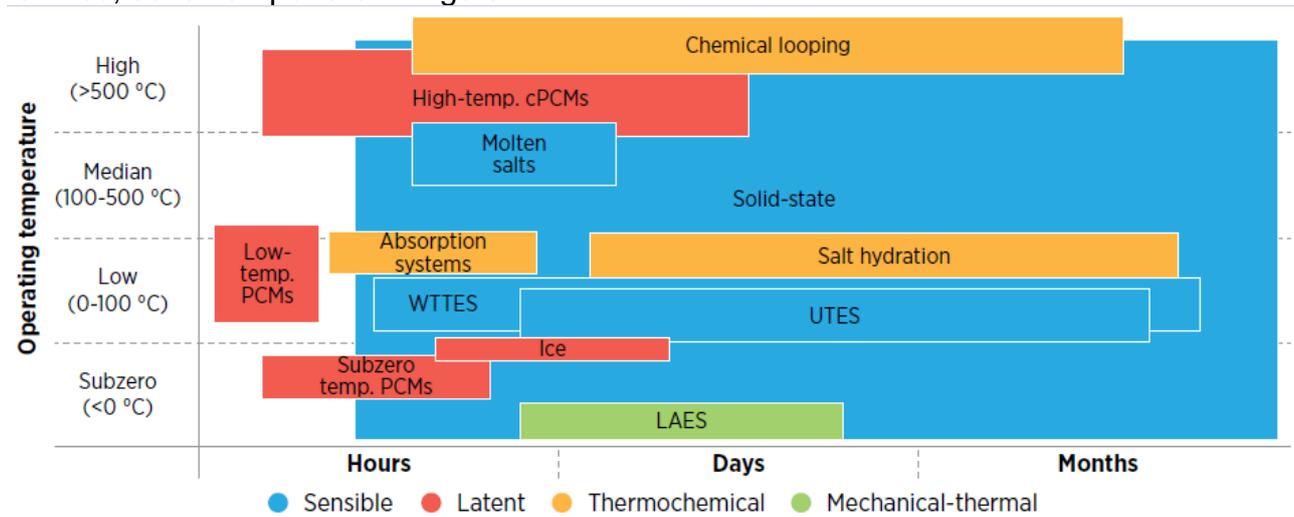


Figura 1. Temperature di funzionamento e intervalli di tempo per le diverse tecnologie TES [4]

Come si vede, considerando solo questi due obiettivi, i sistemi a calore sensibile appaiono i più versatili; il principale problema degli stessi è il volume necessario se i salti di temperatura disponibili sono piccoli.

Di contro gli altri sistemi, con maggiore densità di accumulo anche per piccole differenze di temperatura, e in alcuni casi con maggiore velocità di scambio termico, non riescono a coprire tutte le possibili esigenze; in particolare i sistemi a calore latente non sembrano ancora adatti per accumuli di lungo periodo e/o di elevate dimensioni, e sono abbastanza rigidi (ogni singolo sistema) sul range di temperatura di utilizzo; mentre i sistemi termochimici non coprono tutti i range di temperatura, hanno dimensioni ancora contenute ed efficienze non elevate.

2.1.2 I sistemi di accumulo a calore latente o LHTES

2.1.2.1 Generalità sugli LHTES

I primi passi della ricerca si sono concentrati sui PCM inorganici (per lo più sali idrati), meno costosi e più sicuri. Tuttavia alcuni svantaggi hanno orientato gli sviluppi successivi su materiali organici, benché i costi crescano insieme all'insorgenza di alcuni problemi di infiammabilità e tossicità.

Un problema rilevante rimane il comportamento dei PCM a lungo termine, ossia dopo un certo numero di cicli di solidificazione e fusione che in molti casi ne compromettono la performance. Un'altra difficoltà sta nel riuscire ad incrociare la zona di transizione della sostanza impiegata con l'intervallo operativo di temperatura del sistema.

Infine il costo dei sistemi di accumulo a calore latente, se da un lato cresce per l'impiego dei PCM, dall'altro rimane contenuto per la riduzione di ingombro dell'intero impianto, perciò i sistemi a LHTES possono risultare in alcuni casi competitivi.

I principali vantaggi dei sistemi a calore latente sono come visto l'elevata densità energetica e la possibilità di fornire molta energia a una temperatura costante.

Secondo [17], la diffusione dei sistemi di accumulo **a calore latente** è ancora limitata a pochi esempi in particolari settori, sviluppati nell'ambito di progetti di ricerca per applicazione nei settori del riscaldamento e raffrescamento solare domestico. Inoltre, ad esempio, sono impiegati e commercializzati per il mantenimento di temperature controllate per il trasporto

di beni deperibili (es. vaccini, medicine, derrate alimentari), sia di piccola taglia sia per container di grandi dimensioni. Per quanto riguarda l'accumulo in grandi impianti, sono stati realizzati sistemi sperimentali alimentati da energia solare sia per applicazioni in impianti a concentrazione CSP (capacità accumulo 200 kWh) che per applicazioni domestiche (nel range della decina di kWh).

Le principali caratteristiche desiderabili per un PCM possono essere schematizzate come segue:

- **Proprietà termiche:** temperatura di cambiamento di fase adatta all'intervallo operativo desiderato; elevato calore latente per unità di volume e di massa; elevato calore specifico; elevata conduttività termica sia per la fase liquida, sia per la fase solida.
- **Proprietà fisiche:** bassa variazione di densità e di volume e bassa tensione di vapore alla temperatura operativa; basso grado di sottoraffreddamento¹ durante la solidificazione; elevata velocità di nucleazione², per evitare il sottoraffreddamento della fase liquida e per assicurare che fusione e solidificazione avvengano alla medesima temperatura; elevata velocità di accrescimento dei cristalli cosicché il sistema possa incontrare la richiesta di recupero del calore dal sistema di accumulo; stabilità fisica dopo un certo numero di cicli.
- **Proprietà chimiche:** stabilità chimica; completa reversibilità del ciclo di fusione/solidificazione; assenza di decomposizione chimica dopo un elevato numero di cicli; riproducibilità della cristallizzazione senza degradazione; compatibilità con i materiali costruttivi di contenimento e trasporto (non corrosività); non tossicità, non infiammabilità, non rischio di esplosione.
- **Fattori economici:** disponibilità sul mercato; basso costo.

Le trasformazioni liquido-gas e solido-gas non sono appropriate per applicazioni TES per le elevate variazioni di volume che intervengono durante il passaggio di stato.

2.1.2.2 Materiali utilizzati per gli LHTES

I materiali PCM utilizzati per gli LHTES possono essere organici o inorganici.

PCM organici: possono sciogliersi e solidificarsi molte volte, cristallizzano con poco o nessun sottoraffreddamento e di solito sono *non corrosivi*; di contro, a confronto con altri materiali, hanno bassa densità energetica e bassa conducibilità termica. I due gruppi principali sono:

- le **cere di paraffina**, costituite da una miscela di n-alcheni a catena lineare $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$; la cristallizzazione della catena (CH_3) rilascia calore latente; le paraffine sono sicure, atossiche, affidabili, prevedibili, poco costose, non corrosive e disponibili in un range di temperature elevato: $-5 \div 120^\circ\text{C}$; è possibile aggiungere additivi per incrementare la conducibilità termica (particelle di grafite, rame, argento, alluminio, etc.);

1 Si indica con "sottoraffreddamento", la solidificazione di una parte del materiale ad una temperatura inferiore al punto di congelamento

2 Il termine nucleo si riferisce a una piccolissima porzione di materia in cui ha inizio il cambiamento di fase; una volta che il nucleo si è formato, si accresce e il processo può continuare finché la transizione di fase non è avvenuta completamente; i solidi cristallini sono in genere costituiti da più cristalli, che si formano durante il processo di cristallizzazione; il fenomeno della nucleazione aumenta il numero dei cristalli presenti in un solido, mentre il fenomeno dell'accrescimento aumenta le dimensioni di questi cristalli; se la velocità di nucleazione è molto elevata rispetto alla velocità di accrescimento, allora il solido presenterà una struttura più vicina allo stato amorfo, mentre se la velocità di accrescimento è molto elevata rispetto alla velocità di nucleazione, il solido presenterà una struttura più vicina a quella di solido monocristallino.

- i PCM organici senza paraffina sono numerosi (esteri, acidi grassi, alcoli e glicoli), con proprietà molto varie; tali materiali hanno alto calore di fusione, ma purtroppo anche infiammabilità, bassa conducibilità termica e instabilità alle alte temperature; è possibile aggiungere additivi ignifughi.

PCM inorganici: hanno capacità di accumulo di calore e conducibilità termiche elevate; l'entalpia di fusione non si degrada con i cicli, hanno sottoraffreddamento minimo, sono economici, abbondanti e non infiammabili; la loro principale problematica è la stabilità termica; I due tipi principali sono i seguenti:

- i Sali idrati, hanno numerose caratteristiche positive: elevato calore latente di fusione per unità di volume, conducibilità termica relativamente elevata (quasi il doppio di quella della paraffina), bassa corrosività e compatibilità con la plastica; di contro gli svantaggi includono la possibile fusione incongruente³ e l'elevato sottoraffreddamento, che possono essere affrontati in diversi modi (ad esempio aggiungendo agenti addensanti, mediante agitazione meccanica, incapsulando il PCM per ridurre la separazione, ecc.).
- I metalli a basso punto di fusione e le loro leghe; sono scarsamente utilizzati a causa della loro bassa entalpia di fusione per unità di peso, anche se hanno un'elevata entalpia di fusione per unità di volume e un'elevata conducibilità termica.

PCM eutettici: sono una combinazione di due o più materiali con simili (congruenti) punti di fusione e congelamento; gli eutettici quasi sempre si sciolgono e si congelano senza separazione e hanno conducibilità e densità termiche elevate. È possibile variare la percentuale in peso di ciascun materiale ottenere diversi punti di fusione della miscela risultante; per questo motivo sono una tipologia promettente di PCM, anche se attualmente sono meno diffusi rispetto agli altri gruppi.

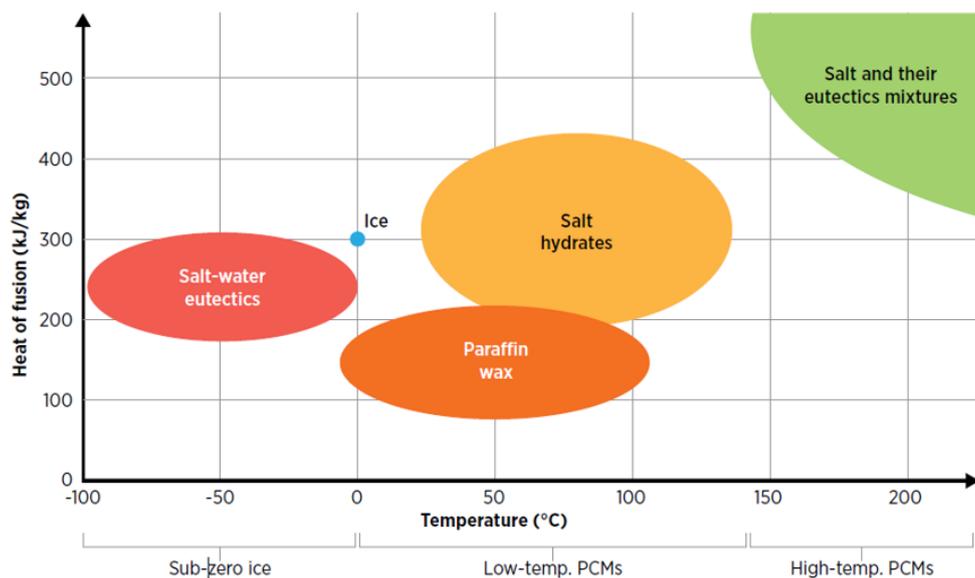


Figura 2. Proprietà dei PCM [4]

In [4] si trova uno schema, riportato in Figura 2, che riassume qualitativamente due le principali caratteristiche dei diversi PCM, temperatura di fusione e calore di fusione; si nota come elevata flessibilità nelle caratteristiche si può ottenere attraverso i PCM eutettici, sia

³ Al punto di fusione, i cristalli di idrato si suddividono in sale anidro e acqua, o in idrato e acqua; un problema con la maggior parte degli idrati salini è quello dello scioglimento incongruente causato dal fatto che l'acqua di cristallizzazione rilasciata non è sufficiente a sciogliere tutta la fase solida presente; vista la differenza di densità, l'idrato (o sale anidro) si deposita sul fondo del contenitore.

per incrementare il range di temperature operative, sia per ottenere elevata densità di energia.

2.1.2.3 Contenimento dei PCM

Il contenimento dei PCM nelle fasi liquide e solide, in genere va studiato anche per prevenire la possibile variazione nella composizione chimica del materiale per interazione con l'ambiente circostante, per aumentarne la maneggevolezza e per fornire la superficie adatta per il *trasferimento di calore*; infatti è necessario massimizzare la conduttività termica (e quindi l'efficienza dei processi di carica e scarica dei PCM), visto che la densità di accumulo di calore dei PCM è maggiore rispetto ad altri materiali di accumulo.

Esistono diverse soluzioni per il contenimento dei PCM (descritte ad esempio in [19]), fra cui:

- macro e micro-incapsulamento dei PCM all'interno di involucri o reticoli di grafite, carburo di silicio (SiC), in rivestimenti con film di nickel, al fine di aumentare la superficie di trasmissione del calore per unità di volume;
- intelaiature metalliche di acciaio o acciaio inossidabile, per ottenere una riduzione del tempo di fusione/solidificazione;
- contenimento dei PCM all'interno di tubi alettati;
- impregnazione di materiali porosi ad elevata conduttività, sia sotto forma di schiume metalliche (di rame, acciaio o alluminio), sia di materia di per sé porosa come la grafite; sembra essere uno degli approcci più adatti e promettenti, dato che i materiali impiegati risultano poco costosi, semplici da maneggiare, leggeri e abbondantemente disponibili.

2.1.2.4 Aspetti applicativi per i PCM

A seconda delle finalità del loro utilizzo possiamo classificare i PCM in diverse categorie.

- **PCM a temperatura inferiore a 0°C.** Possono essere monocomponenti o composti da una miscela eutettica, come l'acqua salata (ad esempio: acqua con il 27% di NaCl disciolto ha il punto di congelamento a -21,1°C). Sono utili per applicazioni in cui sono richieste temperature inferiori rispetto al raffreddamento standard degli ambienti, ad esempio per la refrigerazione nella catena del freddo. Nella maggior parte delle applicazioni il PCM è incapsulato, per evitare perdite, in moduli posizionati ad esempio in un serbatoio; questi quindi raffreddano un fluido termovettore che scorre attraverso il serbatoio, ad una temperatura specifica, assorbendo il calore da esso.
- **Accumuli termici con ghiaccio.** Il ghiaccio ha eccellenti proprietà: un elevato calore di fusione (334 kJ/kg), una buona capacità termica (4,2 kJ/kg·K), non è corrosivo, facilmente disponibile e poco costoso. Per immagazzinare l'energia fredda, l'elettricità non di punta o rinnovabile viene utilizzata per congelare l'acqua; per lo scarico, l'energia fredda viene trasferita tramite acqua o altro fluido termovettore, come il glicole.
- **PCM a bassa temperatura.** Vengono utilizzate solitamente le cere paraffiniche e gli idrati di sale inorganici, come il bromuro di stronzio, che hanno una temperatura di cambiamento di fase da 0°C a 120°C. Pro e contro di questi materiali sono già stati evidenziati nel *Paragrafo 2.1.2.2*.
- **PCM ad alta temperatura.** Alcune miscele di sali inorganici (come i carbonati o i sali di nitrato con elevata stabilità chimica), hanno temperature di cambio di fase elevate e prestazioni elevate in un ampio intervallo di temperature (500-800°C), con elevata densità di stoccaggio; tuttavia hanno una bassa conduttività termica ed è necessario l'uso di materiali di supporto porosi (schiume metalliche, materiali in carbonio poroso e strutture ceramiche) e l'aggiunta di additivi per incrementare la conduttività termica.

In [4] si trova uno schema, riportato in Figura 3, che riassume qualitativamente l'applicabilità dei sistemi LHTES nelle diverse situazioni: scala dimensionale, durata di accumulo e vettori energetici rilevanti.

Come già rilevato, i PCM attualmente disponibili sul mercato, sono di piccola dimensione, a eccezione dei sistemi ad alta temperatura e hanno durate d'accumulo brevi.

Type of TES	TES technology	Applicable scale			Storage period				Potential vectors					
		Small	District	Utility	Hours	Days	Weeks	Months	In			Out		
Latent	Ice thermal energy storage	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	H	C	P	H	C	P
	Sub-zero temperature PCM	Green	Green	Red	Green	Red	Red	Red	H	C	P	H	C	P
	Low-temperature PCM	Green	Red	Red	Green	Red	Red	Red	H	C	P	H	C	P
	High-temperature cPCM	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red	H	C	P	H	C	P

Figura 3. Applicabilità, durate di accumulo e vettori energetici rilevanti per tecnologie TES

2.2 Analisi statistica dell'Utilizzo dell'energia nell'industria manifatturiera italiana

2.2.1 L'industria manifatturiera

Nel presente rapporto si considererà l'industria manifatturiera, responsabile di circa il 20% dei consumi energetici italiani, in termini di energia primaria. Verranno analizzati i principali sottosettori seguendo la classificazione ATECO 2007, raggruppandoli secondo alcune macrocategorie logiche.

L'industria manifatturiera occupa circa il 70% degli addetti dell'intero settore industriale, anche se determina solo il 40% del valore della produzione, come si vede in Tabella 2; il settore con più occupati e valore della produzione è quello della fabbricazione Meccanica, seguito dalle industrie Alimentari, Tessili e Chimiche.

Tabella 2. Unità locali, Addetti, Valore della produzione per Settore economico

Italia 2018	Unità locali (Imprese attive)	N° addetti (media annua)	% su Indus.	Addetti / U.L.	Produzione (M€)	% su Indus.	Prod. / U.L.	Prod / Add.
INDUSTRIA	956.662	5.332.360		5,6	2.341.621		2,4	0,4
C: Attività Manifatturiere	419.233	3.722.500	69,8%	8,9	977.177	41,7%	2,3	0,3
Alimentari, Bevande e Tabacco	60.170	448.780	8,4%	7,5	139.015	5,9%	2,3	0,3
10: Industrie Alimentari	56.159	405.442	7,6%	7,2	115.555	4,9%	2,1	0,3
11: Industria delle Bevande	4.000	41.112	0,8%	10,3	22.472	1,0%	5,6	0,5
12: Industria del Tabacco	11	2.227	0,0%	202,4	988	0,0%	89,9	0,4
Tessili, Abbigliamento e Calzature	62.152	456.450	8,6%	7,3	82.418	3,5%	1,3	0,2
13: Industrie Tessili	13.998	113.675	2,1%	8,1	21.220	0,9%	1,5	0,2
14: Industrie Abbigliamento	32.171	197.577	3,7%	6,1	31.129	1,3%	1,0	0,2
15: Industrie Pelli, Cuoi, Calzature	15.983	145.198	2,7%	9,1	30.069	1,3%	1,9	0,2
Legno e Mobilio	45.476	231.468	4,3%	5,1	36.306	1,6%	0,8	0,2
16: industria legno e prodotti in legno (escl. mobili)	26.582	99.453	1,9%	16,9	13.690	0,6%	0,5	0,1
31: fabbricazione di mobili	18.894	132.015	2,5%	16,9	22.617	1,0%	1,2	0,2
Carta e Grafica	19.726	153.844	2,9%	7,8	34.624	1,5%	1,8	0,2
17: fabbricazione di carta e di prodotti di carta	4.316	72.773	1,4%	16,9	24.116	1,0%	5,6	0,3
18: stampa e riproduzione di supporti registrati	15.410	81.071	1,5%	5,3	10.508	0,4%	0,7	0,1
Chimica, Petrochimica e Raffinerie	18.709	366.624	6,9%	19,6	180.181	7,7%	9,6	0,5
19: Fabbricazione di Coke e prodotti derivanti dalla raffinazione del Petrolio	674	15.464	0,3%	22,9	39.593	1,7%	58,7	2,6
20: Fabbricazione di prodotti Chimici	5.758	109.334	2,1%	19,0	68.718	2,9%	11,9	0,6
21: fabbricazione di prodotti farmaceutici	734	61.495	1,2%	83,8	26.524	1,1%	36,1	0,4
22: fabbricaz. articoli in gomma e materie plastiche	11.543	180.330	3,4%	15,6	45.346	1,9%	3,9	0,3
Minerali non metalliferi	21.117	150.195	2,8%	7,1	30.375	1,3%	1,4	0,2
23.1/4: Vetri e ceramica	5.902	44.355	0,8%	7,5	7.592	0,3%	1,3	0,2
23.2-3/5-9: Materiali da costruzione	15.215	105.840	2,0%	7,0	22.783	1,0%	1,5	0,2
Metallurgia	4.009	115.806	2,2%	28,9	64.102	2,7%	16,0	0,6
24.1/2/3/51/52: Siderurgico	2.150	78.755	1,5%	36,6	43.425	1,9%	20,2	0,6
24.4/53/54: Metalli non ferrosi	1.859	37.051	0,7%	19,9	20.677	0,9%	11,1	0,6
Industrie Meccaniche	118.794	1.515.673	28,4%	12,8	371.292	15,9%	3,1	0,2
25-30: Meccanica	118.794	1.515.673	28,4%	12,8	371.292	15,9%	3,1	0,2
Altre manifatturiere (32-33)	69.080	283.659	5,3%	4,1	38.864	1,7%	0,6	0,1

Fonte: dati.istat.it

Le industrie sono molto diverse fra loro: gli addetti medi per unità locale variano dalle poche unità per le aziende Alimentari, Tessili, di Stampa e dei Minerali non metalliferi, alle decine per le aziende della Carta, Chimiche, Metallurgiche e Meccaniche, fino alle 200 per l'industria del Tabacco (che però sul complesso ha un'incidenza trascurabile). Per quanto riguarda il valore della produzione per unità locale, i valori più elevati si hanno per l'industria Chimica e Metallurgica e in particolare per l'industria della Raffinazione del petrolio (per la quale si ha anche il maggior rapporto fra valore della produzione e addetti).

Tali diversità si notano meglio nella suddivisione delle unità locali e degli addetti fra classi di addetti, come riportato nella Tabella 3; le 4 categorie di addetti corrispondono indicativamente con la definizione di "Microimprese", "Piccole Imprese", "Medie Imprese" e "Grandi imprese" ⁴.

⁴ Non c'è però coincidenza, sia perché nelle definizioni di legge si fa riferimento alle "imprese" e agli "occupati" invece che alle "unità locali" e agli "addetti" di cui alla Tabella 3, sia perché per tali definizioni si considerano anche alcune condizioni relative al fatturato.

Tabella 3. Unità locali e Addetti per Classe di addetti

Italia 2018	Unità locali (Imprese attive)				N° addetti (media annua)				
	Classe di addetti:	< 10	10 ÷ 49	50 ÷ 249	≥ 250	< 10	10 ÷ 49	50 ÷ 249	≥ 250
INDUSTRIA		89,5%	9,1%	1,3%	0,1%	31,8%	28,1%	19,3%	20,8%
C: Attività Manifatturiere		82,2%	15,1%	2,4%	0,3%	24,2%	32,5%	26,5%	16,8%
Alimentari, Bevande e Tabacco		85,7%	12,3%	1,8%	0,2%	33,3%	30,0%	23,4%	13,2%
10: Industrie Alimentari		86,2%	11,9%	1,7%	0,2%	35,0%	29,7%	22,7%	12,7%
11: Industria delle Bevande		78,6%	17,8%	3,3%	0,4%	18,9%	35,0%	30,1%	16,0%
12: Industria del Tabacco		0,0%	36,4%	45,5%	18,2%	0,0%	2,9%	29,7%	67,4%
Tessili, Abbigliamento e Calzature		82,2%	15,9%	1,7%	0,1%	30,7%	40,1%	21,2%	7,9%
13: Industrie Tessili		81,1%	16,2%	2,5%	0,2%	25,9%	38,9%	26,2%	9,0%
14: Industrie Abbigliamento		85,3%	13,5%	1,0%	0,1%	38,2%	38,6%	15,5%	7,8%
15: Industrie Pelli, Cuoio, Calzature		76,9%	20,5%	2,4%	0,2%	24,4%	43,2%	25,2%	7,3%
Legno e Mobilio		88,8%	10,2%	1,0%	0,1%	40,8%	36,1%	18,4%	4,7%
16: industria legno e prodotti in legno (escl. mobili)		92,2%	7,3%	0,5%	0,0%	53,6%	33,3%	11,9%	1,3%
31: fabbricazione di mobili		84,0%	14,2%	1,7%	0,1%	31,2%	38,2%	23,3%	7,3%
Carta e Grafica		83,5%	14,0%	2,3%	0,2%	27,4%	33,9%	29,4%	9,3%
17: fabbricazione di carta e di prodotti di carta		65,8%	26,3%	7,4%	0,5%	12,1%	31,5%	44,5%	12,0%
18: stampa e riproduzione di supporti registrati		88,5%	10,6%	0,9%	0,1%	41,1%	36,1%	15,8%	6,9%
Chimica, Petrochimica e Raffinerie		64,2%	27,3%	7,5%	1,0%	10,1%	29,2%	36,8%	23,8%
19: Fabbricazione di Coke e prodotti derivanti dalla raffinazione del Petrolio		61,4%	32,5%	4,0%	2,1%	8,6%	27,2%	17,6%	46,7%
20: Fabbricazione di prodotti Chimici		65,3%	25,7%	8,0%	1,0%	10,1%	29,2%	40,8%	19,9%
21: fabbricazione di prodotti farmaceutici		42,9%	23,6%	23,8%	9,7%	1,2%	7,0%	34,6%	57,2%
22: fabbricaz. articoli in gomma e materie plastiche		65,2%	28,0%	6,3%	0,5%	13,3%	37,0%	36,8%	12,9%
Minerali non metalliferi		86,1%	11,8%	1,9%	0,2%	30,8%	30,8%	27,3%	11,1%
23.1/4: Vetri e ceramica		88,3%	9,5%	1,9%	0,3%	26,4%	23,0%	30,0%	20,7%
23.2-3//5-9: Materiali da costruzione		85,2%	12,8%	1,9%	0,1%	32,7%	34,0%	26,2%	7,1%
Metallurgia		61,3%	26,9%	10,4%	1,4%	6,5%	19,7%	37,3%	36,5%
24.1/2/3/51/52: Siderurgico		57,8%	28,7%	11,8%	1,8%	4,9%	17,2%	33,3%	44,6%
24.4//53/54: Metalli non ferrosi		65,3%	24,9%	8,7%	1,1%	9,9%	24,9%	45,6%	19,5%
Industrie Meccaniche		70,0%	23,9%	5,3%	0,7%	12,3%	29,0%	31,8%	26,9%
25-30: Meccanica		70,0%	23,9%	5,3%	0,7%	12,3%	29,0%	31,8%	26,9%
Altre industrie manifatturiere		74,8%	21,0%	3,8%	0,5%	16,8%	32,2%	28,7%	22,2%
32-33: altre industrie manifatturiere		74,8%	21,0%	3,8%	0,5%	16,8%	32,2%	28,7%	22,2%

Fonte: dati.istat.it

Per i settori Alimentare, Tessile, Legno, Mobilio, della Stampa e dei Minerali non metalliferi, le unità locali con meno di 10 addetti sono la gran parte, attorno all'80%; di conseguenza la distribuzione degli addetti nelle prime tre classi individuate è sostanzialmente uniforme, con una restante quota attorno al 10% di addetti complessivi per aziende sopra i 250 addetti/UL.

Per le industrie Cartarie, Chimiche, Metallurgiche e Meccaniche, le unità locali con meno di 10 addetti sono ancora preponderanti, ma in modo inferiore e di conseguenza occupano nel complesso meno del 10% degli addetti; la gran parte degli addetti è quindi occupato in imprese medio-grandi.

Ciò si riflette anche nel valore della produzione per categoria di addetti riportata in Tabella 4, con questi ultimi settori che concentrano l'80-90% della produzione nelle unità locali Medio-Grandi; per gli altri settori tale valore scende, mantenendosi comunque elevato, attorno al 60%.

Queste differenze possono influenzare la propensione alla realizzazione di interventi innovativi di efficienza energetica.

Tabella 4. Unità locali e Addetti per Classe di addetti

Italia 2018	Unità locali (Imprese attive)				N° addetti (media annua)				
	Classe di addetti:	< 10	10 ÷ 49	50 ÷ 249	≥ 250	< 10	10 ÷ 49	50 ÷ 249	≥ 250
INDUSTRIA		89,5%	9,1%	1,3%	0,1%	31,8%	28,1%	19,3%	20,8%
C: Attività Manifatturiere		82,2%	15,1%	2,4%	0,3%	24,2%	32,5%	26,5%	16,8%
Alimentari, Bevande e Tabacco		85,7%	12,3%	1,8%	0,2%	33,3%	30,0%	23,4%	13,2%
10: Industrie Alimentari		86,2%	11,9%	1,7%	0,2%	35,0%	29,7%	22,7%	12,7%
11: Industria delle Bevande		78,6%	17,8%	3,3%	0,4%	18,9%	35,0%	30,1%	16,0%
12: Industria del Tabacco		0,0%	36,4%	45,5%	18,2%	0,0%	2,9%	29,7%	67,4%
Tessili, Abbigliamento e Calzature		82,2%	15,9%	1,7%	0,1%	30,7%	40,1%	21,2%	7,9%
13: Industrie Tessili		81,1%	16,2%	2,5%	0,2%	25,9%	38,9%	26,2%	9,0%
14: Industrie Abbigliamento		85,3%	13,5%	1,0%	0,1%	38,2%	38,6%	15,5%	7,8%
15: Industrie Pelli, Cuoio, Calzature		76,9%	20,5%	2,4%	0,2%	24,4%	43,2%	25,2%	7,3%
Legno e Mobilio		88,8%	10,2%	1,0%	0,1%	40,8%	36,1%	18,4%	4,7%
16: industria legno e prodotti in legno (escl. mobili)		92,2%	7,3%	0,5%	0,0%	53,6%	33,3%	11,9%	1,3%
31: fabbricazione di mobili		84,0%	14,2%	1,7%	0,1%	31,2%	38,2%	23,3%	7,3%
Carta e Grafica		83,5%	14,0%	2,3%	0,2%	27,4%	33,9%	29,4%	9,3%
17: fabbricazione di carta e di prodotti di carta		65,8%	26,3%	7,4%	0,5%	12,1%	31,5%	44,5%	12,0%
18: stampa e riproduzione di supporti registrati		88,5%	10,6%	0,9%	0,1%	41,1%	36,1%	15,8%	6,9%
Chimica, Petrochimica e Raffinerie		64,2%	27,3%	7,5%	1,0%	10,1%	29,2%	36,8%	23,8%
19: Fabbricazione di Coke e prodotti derivanti dalla raffinazione del Petrolio		61,4%	32,5%	4,0%	2,1%	8,6%	27,2%	17,6%	46,7%
20: Fabbricazione di prodotti Chimici		65,3%	25,7%	8,0%	1,0%	10,1%	29,2%	40,8%	19,9%
21: fabbricazione di prodotti farmaceutici		42,9%	23,6%	23,8%	9,7%	1,2%	7,0%	34,6%	57,2%
22: fabbricaz. articoli in gomma e materie plastiche		65,2%	28,0%	6,3%	0,5%	13,3%	37,0%	36,8%	12,9%
Minerali non metalliferi		86,1%	11,8%	1,9%	0,2%	30,8%	30,8%	27,3%	11,1%
23.1/4: Vetri e ceramica		88,3%	9,5%	1,9%	0,3%	26,4%	23,0%	30,0%	20,7%
23.2-3/5-9: Materiali da costruzione		85,2%	12,8%	1,9%	0,1%	32,7%	34,0%	26,2%	7,1%
Metallurgia		61,3%	26,9%	10,4%	1,4%	6,5%	19,7%	37,3%	36,5%
24.1/2/3/51/52: Siderurgico		57,8%	28,7%	11,8%	1,8%	4,9%	17,2%	33,3%	44,6%
24.4/53/54: Metalli non ferrosi		65,3%	24,9%	8,7%	1,1%	9,9%	24,9%	45,6%	19,5%
Industrie Meccaniche		70,0%	23,9%	5,3%	0,7%	12,3%	29,0%	31,8%	26,9%
25-30: Meccanica		70,0%	23,9%	5,3%	0,7%	12,3%	29,0%	31,8%	26,9%
Altre industrie manifatturiere		92,1%	7,1%	0,7%	0,1%	45,6%	31,8%	15,1%	7,6%
32-33: altre industrie manifatturiere		92,1%	7,1%	0,7%	0,1%	45,6%	31,8%	15,1%	7,6%

Fonte: dati.istat.it

2.2.2 Caratterizzazione dei consumi energetici nell'industria manifatturiera

Tabella 5. Bilancio Energetico Nazionale Italia – 2018 [1]

Classificazione		Consumi di energia 2018 (kTEP primari)								
BEN	ATECO	TOTALE	Electricity	Heat ***	Natural gas	Oil and petroleum products	Solid fossil fuels	Non-renewable waste	Renewables and biofuels	Other
ITALY - FINAL ENERGY CONSUMPTION		114.422	25.200	4.221	33.629	39.398	630	252	10.960	132
AGRICULTURE, FORESTRY & FISHING		3.033	502	11	137	2.299	0	0	84	0
INDUSTRY SECTOR ****		24.302	9.980	2.234	8.649	2.019	630	252	406	132
Mining, quarrying & Construction		478	175	1	246	55	0	0	1	0
Manufacturing industry		23.824	9.805	2.233	8.404	1.964	630	252	405	132
	Food, beverages & tobacco	2.800	1.078	382	1.130	162	0	0	48	0
	Textile & leather	1.127	440	39	576	60	11	0	0	0
	Wood & wood products	494	257	33	32	0	0	6	167	0
	Paper, pulp [& printing] **	2.061	729	666	618	47	0	0	0	0
	Chemical & petrochemical	3.278	1.244	633	942	373	1	77	7	0
	Non-metallic minerals	4.299	768	147	2.033	899	169	151	133	0
	Iron & steel	3.626	1.626	90	1.284	78	417	0	0	132
	Non-ferrous metals	714	217	0	403	62	31	0	0	0
	Machinery & Transport equip.	3.887	2.124	131	1.365	260	0	3	3	0
	Not elsewhere specified	1.539	1.323	111	21	23	0	15	47	0
COMMERCIAL, PUBLIC & TRANSPORT		55.031	9.117	735	8.343	32.880	0	0	3.956	0
HOUSEHOLDS		32.056	5.601	1.242	16.499	2.200	0	0	6.514	0

* Il dato sull'energia elettrica comprende anche i consumi del Mobilio (cfr. dati Terna); potrebbe quindi essere incluso anche per gli altri consumi

** Il dato sull'energia elettrica esclude i consumi della Grafica (cfr. dati Terna); potrebbe quindi essere esclusa anche per gli altri consumi

*** Solo il calore ricevuto da soggetti terzi è contabilizzato; per quello autoconsumato, vengono contabilizzati i vettori energetici utilizzati per produrlo

**** I dati escludono i consumi relativi al settore energetico, in quanto sottratti per giungere ai consumi finali

Fonte: BEN, Bilancio Energetico Nazionale 2018 (dgsaie.mise.gov.it/bilancio-energetico-nazionale)

I consumi energetici complessivi, comprendendo tutte le fonti ed i vettori energetici, sono disponibili da fonte Eurostat (BEN, Bilancio Energetico Nazionale, [1]), in termini di energia primaria, a livello di settore, come riportato in Tabella 5.

I settori complessivamente più energivori appaiono Minerali non metalliferi, Meccanica, Siderurgia e Chimica; non trascurabili sono comunque i consumi complessivi dei settori Alimentare e Cartario.

Raggruppando nella Tabella 6 tutti i consumi di combustibili non rinnovabili, si può individuare il peso dei consumi termici, derivati sia dall'utilizzo diretto di combustibili, sia dalla fornitura di calore. Si nota che il settore con maggiori usi termici è quello della lavorazione dei Minerali non metalliferi (per la produzione di Vetro, Ceramica e Materiali da costruzione), con più dell'80% dei consumi termici in termini di energia primaria; per gli altri settori i consumi termici si attestano attorno al 60-70%, ad esclusione del Siderurgico, della Meccanica e del settore del Legno, dove l'energia elettrica determina circa il 50-60% del fabbisogno in termini di energia primaria.

La gran parte delle necessità termiche è coperta tramite l'utilizzo diretto di combustibili non rinnovabili, ad eccezione dei settori della Carta e della Chimica, dove la quota di utilizzo di calore ottenuto da terzi è significativa, e del settore del Legno, con preponderanza di biocombustibili (solidi).

Tabella 6. Consumi per tipologia di vettore per settore [1]

Classificazione		Consumi di energia 2018 (kTEP primari)				
BEN	ATECO	TOTALE	Elettricità	Calore ***	Combust. non Rinn.	Biocomb.
Manufacturing industry		23.824	9.805 41,2%	2.233 9,4%	11.381 47,8%	405 1,7%
Food, beverages & tabacco	10, 11, 12	2.800	1.078 38,5%	382 13,7%	1.292 46,1%	48 1,7%
Textile & leather	13, 14, 15	1.127	440 39,1%	39 3,5%	647 57,5%	0 0,0%
Wood & wood products	16 [, 31] *	494	257 52,0%	33 6,7%	38 7,6%	167 33,7%
Paper, pulp [& printing] **	17 [, 18] **	2.061	729 35,4%	666 32,3%	665 32,3%	0 0,0%
Chemical & petrochemical	20, 21	3.278	1.244 37,9%	633 19,3%	1.394 42,5%	7 0,2%
Non-metallic minerals	23	4.299	767 17,9%	147 3,4%	3.252 75,6%	133 3,1%
Iron & steel	24.1/2/3/51/52	3.626	1.626 44,8%	90 2,5%	1.910 52,7%	0 0,0%
Non-ferrous metals	24.4/53/54	714	217 30,4%	0 0,0%	496 69,5%	0 0,0%
Machinery & Transport equip.	25-...-30	3.887	2.124 54,7%	131 3,4%	1.628 41,9%	3 0,1%

*, **, *** Vedasi note a tabella precedente

Fonte: BEN, Bilancio Energetico Nazionale 2018 (dgsaie.mise.gov.it/bilancio-energetico-nazionale)

Per quanto riguarda i consumi di energia elettrica, si hanno a disposizione anche le quote di autoconsumo, riportate nella Tabella 7 (fonte Terna [2]).

Tabella 7. Consumi di energia elettrica e Autoconsumo [2]

Classificazione		Consumi Energia elettrica			di cui Autoconsumo			
TERNA	ATECO	GWh	% Manif.	% su Italia	GWh	% su Cons.	% Au.Man.	% su Au.It.
ITALIA		303.443		100,0%	29.125	9,6%		100,0%
AGRICOLTURA		5.843		1,9%	494	8,4%		1,7%
INDUSTRIA *		126.432		41,7%	23.904	18,9%		82,1%
Cave, costruzioni, energia e acqua *		18.545		6,1%	4.112	22,2%		14,1%
Manifattura		107.887	100,0%	35,6%	19.791	18,3%	100,0%	68,0%
Alimentare	10, 11, 12	12.533	11,6%	4,1%	3.247	25,9%	16,4%	11,1%
Tessile, abbigl. e calzat.	13, 14, 15	5.120	4,7%	1,7%	395	7,7%	2,0%	1,4%
Legno e Mobilio	16, 31	2.989	2,8%	1,0%	449	15,0%	2,3%	1,5%
Cartaria	17	8.481	7,9%	2,8%	5.112	60,3%	25,8%	17,6%
Chimica	20, 21	14.464	13,4%	4,8%	2.729	18,9%	13,8%	9,4%
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	4.533	4,2%	1,5%	972	21,4%	4,9%	3,3%
Altri materiali da costruzione	23.2/3/5-9	4.394	4,1%	1,4%	445	10,1%	2,2%	1,5%
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	18.909	17,5%	6,2%	3.811	20,2%	19,3%	13,1%
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	2.528	2,3%	0,8%	15	0,6%	0,1%	0,1%
Meccanica e Mezzi di trasporto	25-...-30	24.704	22,9%	8,1%	1.656	6,7%	8,4%	5,7%
Lavorazione plastica e gomma	22	7.696	7,1%	2,5%	820	10,7%	4,1%	2,8%
Altre manifatture		1.539	1,4%	0,5%	140	9,1%	0,7%	0,5%
TERZIARIO		106.030		34,9%	3.565	3,4%		12,2%
DOMESTICO		65.138		21,5%	1.163	1,8%		4,0%

* Comprende anche i consumi relativi al settore energetico, che invece nel BEN sono sottratti per giungere ai consumi finali

Fonte: TERNA S.p.A. "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia - 2018"

Come si nota, i settori con maggiori consumi elettrici hanno anche realizzato numerosi impianti per la *Autoproduzione di energia elettrica*: l'autoconsumo si attesta attorno al 20% dei consumi elettrici totali, e in particolare per l'industria Cartaria arriva al 60%.

I settori con maggiori autoconsumi sono l'industria Cartaria e i settori Siderurgico ed Alimentare (da soli coprono il 60% degli autoconsumi dell'industria manifatturiera); non da trascurare per l'autoproduzione di energia elettrica sono anche i settori Chimica e Meccanica.

Incrocando in Tabella 8 i dati precedenti, si possono individuare i settori che potenzialmente sono più interessanti per l'applicazione di *Sistemi di accumulo di energia termica*, dove cioè si hanno elevati utilizzi di energia termica e/o elevata presenza di sistemi di autoproduzione di energia elettrica. La potenzialità di utilizzo dei sistemi di accumulo per ridurre la quota di dissipazione di acqua calda nei sistemi cogenerativi viene trattata più avanti nel documento.

Tabella 8. Consumi di energia e Autoconsumi per tipologia e settore

Classificazione		Consumi di energia 2018 (kTep primari)									
BEN	ATECO	TOTALE	Termici	Calore acquisito	% consumi	Combust non Rinn	Biocomb.	Elettrici	Autocons	% consumi	
		% Manifatt.									
Industria manifatturiera *		23.824	14.019	2.233	15,9%	11.381	405	9.805	1.818	18,5%	
Alimentare, Bevande, Tabacco	10, 11, 12	2.800	11,8%	1.723	382	22,2%	1.292	48	1.078	279	25,9%
Tessile, Abbigl. e Calzature	13, 14, 15	1.127	4,7%	686	39	5,7%	647	0	440	34	7,7%
Legno [e Mobilio] **	16 [, 31] **	494	2,1%	237	33	13,9%	38	167	257	155	60,3%
Cartaria [e Grafica] ***	17 [, 18] ***	2.061	8,7%	1.332	666	50,0%	665	0	729	440	60,3%
Chimica e Farmaceutica	20, 21	3.278	13,8%	2.034	633	31,1%	1.394	7	1.244	235	18,9%
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4								390	84	21,4%
Altri materiali da costruzione	23.2/3/5-9	4.299	18,0%	3.531	147	4,2%	3.252	133	378	38	10,1%
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	3.626	15,2%	2.000	90	4,5%	1.910	0	1.626	328	20,2%
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	714	3,0%	497	0	0,1%	496	0	217	1	0,6%
Meccanica e Mezzi di trasporto	25-...-30	3.887	16,3%	1.762	131	7,4%	1.628	3	2.124	142	6,7%
Altre industrie manifatturiere	[18,] 22, [31,] 32	1.539	6,5%	216	111	51,4%	58	47	1.323	83	6,2%

* I dati escludono i consumi relativi al settore energetico, comprendenti ad esempio le raffinerie (in Ateco 19)

** I dati sembrerebbero incorporare anche i consumi dell'industria del Mobilio (Ateco 31), almeno per la parte elettrica

*** I dati sembrerebbero escludere i consumi dell'industria della Stampa (Ateco 18), almeno per la parte elettrica

Fonte: Elaborazioni su dati BEN e TERNA

Per le tipologie di consumi di maggior interesse ai fini dell'accumulo termico, si mettono in evidenza nella Tabella 9 anche i valori unitari rispetto alle Unità locali, agli Addetti e al valore della Produzione.

Tabella 9. Valori unitari dei Consumi energetici

Classificazione		Consumi / Unità locale (Tep/UL primari)				Consumi / Addetto (Tep/Add primari)				Consumi / Produzione (Tep/M€ primari)			
BEN	ATECO	Consumi Totali	Consumi Termici	di cui Calore	Autocons elettrici	Consumi Totali	Consumi Termici	di cui Calore	Autocons elettrici	Consumi Totali	Consumi Termici	di cui Calore	Autocons elettrici
Alimentare, Bev. e Tab.	10, 11, 12	46,5	28,6	6,4	4,6	6,2	3,8	0,9	0,6	20,1	12,4	2,8	2,0
Tessile, Abbigl. e Calzat.	13, 14, 15	18,1	11,0	0,6	0,5	2,5	1,5	0,1	0,1	13,7	8,3	0,5	0,4
Legno	16	18,6	8,9	1,2	5,8	5,0	2,4	0,3	1,6	36,1	17,3	2,4	11,3
Cartaria e Grafica	17, 18	104,5	67,5	33,8	22,3	13,4	8,7	4,3	2,9	59,5	38,5	19,2	12,7
Chimica e Farmaceutica	20, 21	504,9	313,4	97,5	36,1	19,2	11,9	3,7	1,4	34,4	21,4	6,6	2,5
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	728,4	598,3	24,9	14,2	96,9	79,6	3,3	1,9	566,2	465,1	19,4	11,0
Altri materiali da costr.	23.2/3/5-9				2,5				0,4				1,7
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	1.686,5	930,3	41,8	152,4	46,0	25,4	1,1	4,2	83,5	46,1	2,1	7,5
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	384,0	267,1	0,1	0,7	19,3	13,4	0,0	0,0	34,5	24,0	0,0	0,1
Meccan. e Mezzi di trasp.	25-...-30	32,7	14,8	1,1	1,2	2,6	1,2	0,1	0,1	10,5	4,7	0,4	0,4

Fonte: Elaborazioni su dati BEN, TERNA e ISTAT

Analizzando le ultime due tabelle si può osservare che:

- I maggiori utilizzi di energia termica si hanno nel settore dei Minerali non metalliferi (per la produzione di Vetro, Ceramica e Materiali da costruzione), nell'industria Chimica e nel comparto Siderurgico; si tratta di settori che dal punto di vista del numero di addetti e del valore della produzione sono poco rilevanti nell'industria manifatturiera, e quindi appaiono caratterizzati da elevata intensità energetica; infatti risultano fra i settori a maggior consumo termico specifico per Unità locale e (in particolare la lavorazione dei Minerali non metalliferi) a maggior incidenza del consumo termico per unità di valore della Produzione.
- Utilizzi elevati di energia termica si hanno anche nell'industria Meccanica, Alimentare e cartaria; tali settori, essendo caratterizzato da un numero elevato di imprese, hanno un consumo termico specifico per Unità locale più basso e, a parte il settore cartario, anche una minore incidenza del consumo termico per unità di valore della Produzione.
- E' interessante analizzare la parte di consumi termici derivante dall'utilizzo di calore acquisito da soggetti terzi; i settori più rilevanti sono l'industria Cartaria e Chimica, che coprono rispettivamente metà e un terzo dei consumi termici; consistenti sono anche gli utilizzi termici del settore Alimentare, che soddisfano un quinto dei consumi termici; negli altri settori invece, la quasi totalità delle necessità termiche viene soddisfatta dalla combustione diretta in azienda. Lo spazio per introdurre recuperi termici è quindi elevato.
- Per quanto riguarda l'Autoproduzione di energia elettrica, i settori più rilevanti sono l'industria Cartaria e Siderurgica, seguiti dai settori Alimentare, Chimico e della Meccanica; l'industria cartaria ha raggiunto un livello di auto-produzione elevato, pari al 60%, mentre negli altri settori lo spazio per introduzione di impianti di generazione di energia elettrica, eventualmente co/tri-generativi, è ancora elevato.

2.2.3 Spesa per energia delle aziende

Ai fini della presente analisi, risulta particolarmente interessante il rapporto RSE del 2018 "Industria: efficienza energetica, competitività e prospettive internazionali" [3]; fra le altre cose, sono stati analizzati dati economici relativi a un campione significativo di industrie manifatturiere italiane.

Le imprese sono state selezionate in base alla disponibilità di dati relativi al valore della produzione ed ai ricavi per l'anno 2016. In questo modo sono dunque comprese nel campione, per i settori analizzati in questo studio, più di 60 mila imprese, il 17% del totale italiano, con una copertura che sale al 30% per le aziende meccaniche e al 40% per il settore

metallurgico, come si vede nella Tabella 10. Evidenziamo come i dati si basino sul numero di “Imprese”, e quindi differiscano leggermente rispetto a quelli presentati nei *Paragrafi 2.2.1* e *2.2.2*, dove le statistiche erano basate sulle “Unità locali”.

Tabella 10. Campione studio RSE 2018 [3]

		Imprese attive			Consumi (kTep primari)			Consumi unitari (Tep/impresa)		
		Totali	Campione		Totali	Campione		Totali	Campione	
Industria Manifatturiera		377.730	63.575	16,8%	23.824	19.480	82%	63	306	486%
Alimentare	10, 11, 12	54.866	6.471	11,8%	2.800	2.181	78%	51	337	660%
Tessile, abbigl. e calzat.	13, 14, 15	57.302	7.796	13,6%	1.127	943	84%	20	121	615%
Cartaria e grafica	17, 18	18.065	2.982	16,5%	2.061	671	33%	114	225	197%
Chimica *	20 [, 21]	4.581	2.538	55,4%	3.278	3.844	117%	716	1.514	212%
Vetro e ceramica	23.1/4	5.462	721	13,2%	4.299	2.121	74%	787	2.941	435%
Materiali da costruzione	23.2-3/5-9	12.551	2.172	17,3%		1.056			486	
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	1.651	721	43,7%	3.626	3.333	92%	2.196	4.622	210%
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	1.532	623	40,7%	714	622	87%	466	998	214%
Meccanica	25-30	104.378	29.688	28,4%	3.887	3.850	99%	37	130	348%
Altre manifatture		117.342	9.863	8,4%	2.033	861	42%	17	87	504%

* Il settore Chimico, è stato definito da RSE in questo studio in modo diverso rispetto al BEN, risultando apparentemente i consumi complessivi del campione superiori a quelli nazionali

Come si vede dalla tabella, il campione copre però circa l'80% dei consumi, essendo costituito tendenzialmente dalle imprese più grandi; i consumi specifici per impresa del campione, sono infatti mediamente superiori di 5 volte ai consumi specifici medi italiani; il rapporto è più alto per i settori che come visto hanno mediamente in Italia aziende più piccole (Alimentare, Tessile, dei Materiali non metalliferi e in parte Meccanica), e attorno a 2 per gli altri settori, per il quale quindi il campione è tendenzialmente più rappresentativo; il fatto che per molti settori il campione non sia rappresentativo della realtà in quanto costituito da imprese mediamente di maggiori dimensioni, non è rilevante per il presente studio; infatti, come già evidenziato, le potenzialità di intervento sono più difficilmente attuabili per le micro e piccole imprese, e quindi è più importante concentrarsi sulle imprese medio-grandi.

Anche in questo studio il settore Chimico è stato sicuramente definito in modo diverso rispetto al BEN: i consumi complessivi del campione risultano infatti superiori a quelli nazionali.

Lo studio RSE stima, per il campione di imprese considerato, la spesa per energia ad azienda e l'incidenza della stessa in rapporto ai costi di produzione, riportate in Tabella 11.

Tabella 11. Spesa per energia delle imprese (campione RSE in [3])

		Spesa per energia (k€/impresa)			Spesa su Costi produzione (%)		
		Elettricità	Termico	Totale	Elettricità	Termico	Totale
Alimentare	10, 11, 12	220	72	292	1,7%	0,5%	2,2%
Tessile, abbigl. e calzat.	13, 14, 15	93	28	121	1,4%	0,4%	1,8%
Cartaria e grafica	17, 18	115	58	173	1,5%	0,8%	2,3%
Chimica	20 [, 21]	877	265	1.142	4,2%	1,3%	5,4%
Vetro e ceramica	23.1/4	693	708	1.401	6,0%	6,1%	12,1%
Materiali da costruzione	23.2-3/5-9	260	96	356	5,0%	1,9%	6,9%
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	2.237	612	2.849	8,2%	2,3%	10,5%
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	474	210	684	2,3%	1,0%	3,3%
Meccanica	25-30	110	24	134	1,4%	0,3%	1,7%
Altre manifatture		94	14	108			

Fonte: RSE, 2018

Come già evidenziato analizzando i consumi unitari per unità locale e in rapporto al valore della produzione, i settori in cui la spesa per energia impatta maggiormente sui costi della produzione sono quelli della lavorazione dei Minerali non metalliferi e il Siderurgico, con in misura minore l'industria Chimica e della lavorazione dei Metalli non ferrosi.

L'analisi RSE permette inoltre di mettere in evidenza come fra i Minerali non metalliferi siano le industrie del Vetro e della Ceramica quella con maggior impatto dei costi energetici termici; i consumi termici costituiscono per queste industrie il 6% dei costi di produzione, mentre per la produzione dei Materiali da costruzione e Siderurgia l'energia elettrica ha la maggiore incidenza.

Analizzando i costi dell'energia per singola azienda, nei settori più energivori si hanno spese medie annuali per l'energia termica di centinaia di migliaia di Euro ad azienda e di alcune decine di migliaia di Euro negli altri settori; sono valori che permettono di ipotizzare un interesse da parte delle imprese all'efficienza energetica in ambito termico, e quindi di prefigurare un potenziale di introduzione anche degli accumuli termici.

Lo studio RSE riporta poi la spesa per energia e la sua incidenza sui costi, anche suddivisa per dimensione d'azienda⁵, vedasi Tabella 12.

Tabella 12. Spesa per energia per dimensione d'impresa (campione RSE in [3])

Dimensioni d'impresa:	Spesa per energia complessiva (k€/impresa)					Spesa su Costi produzione (%)					
	Micro	Piccole	Medie	Grandi	Tutte	Micro	Piccole	Medie	Grandi	Tutte	
Alimentare	10, 11, 12	31	80	368	2.377	292	2,2%	2,0%	1,9%	1,7%	2,2%
Tessile, abbigl. e calzat.	13, 14, 15	26	52	241	1.531	121	1,9%	1,8%	1,4%	1,3%	1,8%
Cartaria e grafica	17, 18	27	78	356	2.262	173	2,3%	2,1%	2,0%	1,8%	2,2%
Chimica	20 [, 21]	74	224	1.012	6.589	1.142	6,2%	5,6%	4,6%	4,2%	5,4%
Vetro e ceramica	23.1/4	154	330	1.786	10.788	1.401	14,4%	12,1%	10,2%	9,0%	12,1%
Materiali da costruzione	23.2-3/5-9	84	213	1.043	4.258	356	7,6%	6,6%	6,0%	5,2%	6,9%
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	130	430	2.005	14.794	2.849					10,5%
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	50	139	626	4.043	684	3,9%	3,6%	2,6%	2,4%	3,3%
Meccanica	25-30	15	51	246	1.927	134	1,8%	1,7%	1,4%	1,2%	1,7%
Altre manifatture		27	56	263	1.548	108					

Fonte: RSE, 2018

Si nota come l'incidenza della spesa per energia sui costi di produzione non vari di molto a seconda della dimensione d'impresa, andando solo leggermente a incrementarsi per le imprese più piccole.

Il valore della spesa per l'energia per azienda chiaramente varia al variare della dimensione dell'impresa; per le imprese grandi si tratta di parecchio milioni di euro l'anno in ogni settore; nei settori Siderurgico, Vetro e Ceramica, Materiali da costruzione e Chimico si ha una spesa media sopra il milione di euro anche per le imprese medie.

Lo studio riporta infine la spesa per dimensione d'azienda relativamente ai soli consumi di gas naturale e permette di ricavarne anche il costo medio, come riportato in Tabella 13.

Il valore della spesa per gas naturale per azienda per le imprese grandi è pari ad alcuni milioni di euro l'anno per i settori Vetro e Ceramica e Siderurgico, e comunque superiore al milione di euro per le industrie Chimiche dei Metalli non ferrosi e dei Materiali da costruzione; per le imprese medie in tali settori e per le imprese grandi degli altri settori si ha in ogni caso una spesa media di alcune centinaia di migliaia di euro all'anno.

⁵ Classe di addetti: Microimprese: <10. Piccole imprese: 10-49. Medie imprese: 50-249. Grandi imprese ≥250.

Tabella 13. Spesa e costo medio del gas naturale per le imprese (campione RSE in [3])

Dimensioni d'impresa:	Spesa per Gas naturale (k€/impresa)				Costo medio del gas naturale * (c€/Sm ³)			
	Micro	Piccole	Medie	Grandi	Micro	Piccole	Medie	Grandi
Alimentare 10, 11, 12	10	20	90	540			33	26
Tessile, abbigl. e calzat. 13, 14, 15	10	10	60	310			40	26
Cartaria e grafica 17, 18	10	30	120	710		43	32	25
Chimica 20 [, 21]	20	60	210	1.540		43	28	24
Vetro e ceramica 23.1/4	80	160	820	5.580	38	30	25	23
Materiali da costruzione 23.2-3/5-9	20	60	250	1.010		40	29	24
Siderurgico 24.1/2/3/51/52	30	80	350	3.130	43	32	28	23
Metalli non ferrosi 24.4/53/54	20	50	180	1.210		45	29	24
Meccanica 25-30	0	10	50	310			45	26
Altre manifatture	10	10	50	260			36	27

* I costo medio non è stato calcolato per spese inferiori a 30 k€/impresa, essendo i valori di spesa approssimati alla decina di kEuro

Fonte: RSE, 2018

Il prezzo stimato del gas, com'è naturale, scende al crescere della dimensione d'impresa e quindi al crescere dei consumi per utente.

Risultati simili si hanno per l'energia elettrica, riportati in Tabella 14.

Tabella 14. Spesa e costo medio dell'energia elettrica per le imprese (campione RSE in [3])

Dimensioni d'impresa:	Spesa per Energia elettrica (k€/impresa)				Costo medio dell'Energia elettrica (c€/kWh)			
	Micro	Piccole	Medie	Grandi	Micro	Piccole	Medie	Grandi
Alimentare 10, 11, 12	21	60	278	1.837	18	17	15	12
Tessile, abbigl. e calzat. 13, 14, 15	16	42	181	1.221	19	18	15	13
Cartaria e grafica 17, 18	17	48	236	1.552	18	17	15	13
Chimica 20 [, 21]	54	164	802	5.049	18	15	14	10
Vetro e ceramica 23.1/4	74	170	966	5.208	17	15	14	10
Materiali da costruzione 23.2-3/5-9	64	153	793	3.248	18	15	14	12
Siderurgico 24.1/2/3/51/52	100	350	1.655	11.664	16	14	14	9
Metalli non ferrosi 24.4/53/54	30	89	446	2.833	18	16	14	12
Meccanica 25-30	15	41	196	1.617	18	17	15	11
Altre manifatture	17	46	213	1.288	18	17	15	13

Fonte: RSE, 2018

2.2.4 I settori di maggior interesse potenziale per l'accumulo termico

Le analisi svolte nel presente *Paragrafo 2.2*, permettono di individuare i settori dove potenzialmente concentrare l'attenzione per una possibile diffusione di sistemi TES; si tratta solo di un inquadramento preliminare, con l'individuazione dei settori dove gli usi termici sono o possono essere rilevanti e dove le caratteristiche delle imprese sembrano permettere la diffusione di innovazione tecnologica e di sistema.

- I settori con maggiori **consumi termici** complessivi risultano il Chimico, il Metallurgico (in particolare la *Siderurgia*), e la lavorazione dei Minerali non metalliferi (in particolare la produzione di *Vetro e Ceramica*); tali settori risultano anche quelli a maggior intensità energetica e quindi anche a maggior spesa unitaria per impresa; il Chimico e il Metallurgico sono caratterizzati da unità locali mediamente grandi, sia in termini di addetti che di produzione ad unità, e quindi potenzialmente sono anche quelli più facilmente coinvolgibili in programmi innovativi di efficienza energetica.
- Consumi termici rilevanti si hanno anche nei settori Alimentare, Cartario e Meccanico e in parte anche *Tessile*; settori però con minore spesa per impresa e per l'Alimentare e il Tessile anche caratterizzati da molte Micro e Piccole imprese, più difficilmente disposte a introdurre nuove tecnologie.

- È però da rilevare come nei settori Alimentare, Tessile e della produzione di Vetro, Ceramica e Materiali da costruzione, sebbene mediamente frammentati, non è da trascurare la quota di produzione, e quindi presumibilmente di consumi termici, legata alle imprese medio-grandi, che sebbene siano solo circa l'1,5-2% del totale, determinano circa i 2/3 della produzione.
- L'utilizzo di **calore fornito da terzi** è diffuso soprattutto nei settori Cartario, Chimico e Alimentare; è probabile che laddove sia presente questa fornitura, lo sia perché il calore è disponibile in modo sostanzialmente allineato alle necessità; non è però da escludere la possibilità di migliorare la fornitura e/o ridurre i costi attraverso l'utilizzo di sistemi per l'accumulo termico.
- L'**autoproduzione di energia elettrica** per le esigenze di processo è diffusa soprattutto nei settori Cartario, Siderurgico e Alimentare; in molti casi sono presenti impianti di cogenerazione, che spesso non lavorano in modo ottimale per il disallineamento fra le esigenze elettriche e termiche; attraverso l'utilizzo di sistemi per l'accumulo termico, è pensabile si possa migliorare il regime di funzionamento dei cogeneratori, incrementando la produzione elettrica e/o riducendo gli sprechi termici. In aggiunta è da considerare l'enorme spazio presente negli altri settori per l'introduzione di sistemi di cogenerazione.

Le considerazioni qui riportate si basano sull'ipotesi che fra i fattori determinanti per identificare le applicazioni più promettenti per i sistemi di accumulo ci siano: la dimensione media di impresa (e quindi propensione all'innovazione e all'adozione di tecnologie di efficienza energetica); la spesa energetica e il consumo di energia termica in particolare; l'autoproduzione di energia, e la conseguente disponibilità di calore di recupero e relative dissipazioni per mancanza di contemporaneità tra i bisogni e la disponibilità.

Questi sono tutti fattori importanti; vi sono però due ulteriori fattori determinanti per il problema: la natura dei processi produttivi, distinguendo i processi continui dai processi batch; la compresenza di esigenze di riscaldamento e raffreddamento di flussi di processo. Il primo fattore è determinante perché nel caso di processi continui, anche se energivori, è generalmente limitata l'esigenza di accumulare calore da "traslare" temporalmente per usi all'interno del processo; gli accumuli di calore trovano invece applicazione interessante nei processi batch, dove il fabbisogno e l'eventuale surplus di calore possono essere ciclici e non necessariamente in fase. La presenza, anche non contemporanea, di fabbisogno di energia termica e frigorifera è invece un elemento che va a detrimento dell'applicabilità degli accumuli con sistemi a cambiamento di fase; lo vedremo nel dettaglio con un esempio di applicazione di sistemi di recupero in un caseificio nel *Paragrafo 2.5* dedicato ad alcune possibili applicazioni.

2.3 Modalità di utilizzo dell'energia termica e frigorifera nell'industria manifatturiera

Nell'industria la necessità di energia termica e frigorifera è fondamentale in molti settori; gran parte di tale esigenza è coperta dall'utilizzo diretto di combustibili non rinnovabili o di energia elettrica; nel dettaglio, il settore industriale utilizza energia in diversi modi:

- Generazione di calore/freddo di processo (acqua calda/fredda, vapore e necessità diretta di calore) a vari livelli di temperatura, bruciando combustibili in loco.
- Acquisizione del calore/freddo da reti di teleriscaldamento.
- Acquisizione di energia elettrica dalla rete.
- Generazione di elettricità, calore e freddo in loco tramite impianti di co/tri-generazione.
- Generazione di elettricità e/o calore/freddo di processo utilizzando impianti a fonti rinnovabili.

Come visto, la *produzione di calore di processo in loco tramite combustibili non rinnovabili* rappresenta per il settore manifatturiero italiano circa il 50% del consumo totale di energia primaria (percentuale che sale oltre al 70% e oltre per la lavorazione dei Metalli non ferrosi e dei Minerali non metalliferi); un altro 10% è relativo all'*utilizzo diretto di calore proveniente da acquisizione da altri soggetti* (percentuale che sale al 20% per il settore Chimico e oltre il 30% per l'industria Cartaria e del Legno); il restante 40% dei consumi è dovuto all'*utilizzo di energia elettrica*.

Negli anni si è fatto strada un uso più efficiente dell'energia, attraverso il recupero e *riutilizzo del calore di scarto*, la *produzione di calore tramite fonti rinnovabili* (solare termico e termodinamico, biomasse, pompe di calore) e la *produzione combinata di energia elettrica e calore/freddo* tramite co/tri-generazione.

Per tutte queste tecnologie sono presenti problemi di **disallineamento fra disponibilità di calore e necessità di utilizzo** in termini di:

- *sfasamento temporale*: il calore/freddo può essere disponibile in momenti diversi rispetto alle necessità o comunque in quantità non coincidenti;
- *distanza*: il calore/freddo può essere disponibile in un sito diverso da quello di possibile utilizzo e i due siti potrebbero non essere agevolmente collegabili con un sistema di tele-riscaldamento/raffrescamento;
- *disaccoppiamento del livello di temperatura* fra calore disponibile e necessità di processo.

In molti di questi casi di disallineamento, l'esigenza di introdurre in modo massiccio sistemi di accumulo termico è evidente.

Nonostante il suo alto potenziale, il *calore di scarto industriale (IWH)* è attualmente sottoutilizzato secondo [4]. Ciò può essere dovuto, da un lato, a difficoltà tecniche ed economiche nell'applicazione dei metodi convenzionali di recupero del calore e, dall'altro, i disallineamenti prima evidenziati tra l'energia rilasciata e il calore richiesto. L'accumulo di energia termica (TES) è una tecnologia in grado di risolvere il disallineamento esistente recuperando l'IWH e conservandolo per un uso successivo. A seconda della distanza tra la sorgente IWH e la richiesta di calore, i sistemi TES possono essere posizionati in loco, oppure l'IWH può essere trasportato mediante sistemi mobili TES, verso una richiesta di calore fuori sito.

L'industria è il settore più in ritardo nell'integrazione con le *rinnovabili*, sempre secondo [4], con solo il 14% del consumo finale di energia a livello mondiale. La maggioranza del calore rinnovabile oggi proviene dalla biomassa e la capacità solare termica installata nel settore industriale in tutto il mondo è piccola (<1 GW_{th}) ed è limitata alla produzione di calore a bassa temperatura.

I TES possono essere utilizzati per immagazzinare calore a bassa temperatura generato sia attraverso pompe di calore alimentate elettricamente, sia da impianti solari termici in loco. Disaccoppiando l'uso di calore dalla generazione si ottiene flessibilità e uso intelligente dell'energia e si consente a una domanda continua di essere soddisfatta da una generazione rinnovabile intermittente. C'è un nascente, ma crescente, utilizzo di serbatoi accumulo di energia con acqua (WTTES o TTES) in combinazione con impianti solari termici per la generazione di calore e stoccaggio a bassa temperatura, prevalentemente nei settori minerario, alimentare e tessile.

Irena in [4] stima entro il 2050 una crescita di quattro volte dell'utilizzo dell'energia rinnovabile nel settore industriale, attraverso l'implementazione di generazione solare termica e pompe di calore per le necessità termiche legate a temperature inferiori e il maggiore utilizzo di biomasse per impianti di cogenerazione in loco che possono generare calore a media e alta temperatura, vedasi Tabella 15.

Può esserci quindi un ruolo fondamentale per le soluzioni TES latenti e termochimiche in futuro per aiutare a facilitare l'integrazione delle energie rinnovabili.

Tabella 15. Previsioni sulla diffusione delle rinnovabili nell'industria al 2050 [4]

Renewable source	2015	2050 ⁽¹⁾
Solar thermal installed capacity	0.1 GW _{th}	134 GW _{th}
Geothermal heat	0.02 EJ/yr	4.11 EJ/yr
Biomass heat	8 EJ/yr	20.2 EJ/yr
Heat pumps	0.2 million units	80 Million units
Hydrogen derived from renewables	N/A	7 EJ/yr

Note: (1) The 2050 values correspond to a Paris Agreement-aligned scenario, based largely on renewable energy sources and steadily improved energy efficiency.
Note: N/A denotes that no main needs were identified.
 Source: IRENA, 2018.

Sempre Irena in [4] evidenzia come nei processi di integrazione delle rinnovabili nel settore industriale, sia per la generazione di energia elettrica, sia per la fornitura di energia termica, sorgano vari problemi:

- l'industria, in un mercato globale competitivo, richiede un basso costo dell'energia;
- gli attori industriali sono generalmente avversi al rischio e quindi nuove integrazioni tecnologiche e le necessità di interruzione dei cicli, pongono ostacoli alla diffusione delle energie rinnovabili;
- la variabilità nella produzione di energia da parte delle fonti rinnovabili di calore ed elettricità non corrisponde alla necessità di forniture continue di energia o calore di processo per alcune applicazioni industriali;
- o di contro, la necessità di produrre in modo continuo energia elettrica in impianti cogenerativi, non corrisponde alle necessità variabili di calore di processo per applicazioni industriali;
- la localizzazione delle infrastrutture esistenti può essere limitante, a causa della disponibilità di sole / vento o delle restrizioni di rete;
- per processi ad alta temperatura (> 400 ° C), non esiste un modello tecnico e commerciale realizzabile attualmente per utilizzare direttamente il calore degli impianti solari termici; ciò limita l'integrazione delle energie rinnovabili nei processi

che richiedono temperature elevate, soprattutto dove la richiesta è variabile nel tempo.

L'implementazione dei TES potrebbe aiutare ad affrontare tutti questi problemi.

Nei processi e nella produzione a bassa temperatura i TES possono essere utilizzati per immagazzinare il calore generato da impianti solari termici variabili in loco e calore proveniente da pompe di calore alimentate da energia rinnovabile variabile. A media e alta temperatura i TES possono essere utilizzati insieme a impianti di cogenerazione alimentati a biomasse in modo da disaccoppiare la fornitura di calore ed energia elettrica all'impianto industriale. In tutti i casi si consentirebbe un maggiore utilizzo sia di elettricità sia di calore rinnovabili, importati o generati in loco.

Nei mercati in cui esiste un costo variabile dell'elettricità i TES potrebbero essere utilizzati anche in combinazione con pompe di calore per spostare la domanda di elettricità e fornire risparmi sui costi ai siti industriali.

L'energia termica necessaria nelle industrie può essere classificata in tre tipologie:

- calore a bassa temperatura, fra 10°C e 150°C: riscaldamento e raffreddamento degli ambienti; processi industriali quali: bollitura, pastorizzazione, sterilizzazione, pulizia, asciugatura, lavaggio, sbiancamento, tintura, cottura, decapaggio (pulizia dello strato superficiale);
- calore a media temperatura, di norma tra i 150°C e i 250/400°C: processi industriali quali: essiccazione, distillazione, trattamenti termici, lavaggio a vapore, tintura, fusione di nitrati;
- calore ad alta temperatura, di norma superiori ai 250/400°C: produzione di materiali da costruzione o impianti metallurgici e più in generale processi di trasformazione dei materiali;

In aggiunta esiste la necessità anche di:

- energia frigorifera, con temperature inferiori ai 20°C: conservazione dei cibi e medicinali, raffreddamento degli ambienti, raffreddamento di processo.

Irena in [4] stima che, a livello mondiale, le necessità di energia termica si suddividano fra i 3 livelli di temperatura individuati nel seguente modo:

- calore a bassa temperatura, 10-150°C: 30%
- calore a media temperatura, 150-400°C: 22%
- calore ad alta temperatura, >400°C: 48%

Se tali percentuali valessero anche per l'Italia, i consumi termici per livello di temperatura risulterebbero come da Tabella 16.

Tabella 16. Stima indicativa dei consumi termici per livello di temperatura

Classificazione		Consumi di energia 2018 (kTep primari)			Quota per livello di temperatura = mondo			Consumi termici per livello di temperatura (kTep primari)		
TERNA	ATECO	Termici	Calore	% consumi	Bassa	Media	Alta	Bassa	Media	Alta
Manifattura		14.019	2.233	15,9%	30%	22%	48%	4.206	3.084	6.729

Fonte: elaborazioni su dati BEN e IRENA

Gli utilizzi in Italia potrebbero differire da quelli medi mondiali stimati da Irena. Nei paragrafi seguenti si stima la suddivisione dei consumi termici per livelli di temperatura per alcuni settori manifatturieri, con riferimento al contesto nazionale italiano.

2.3.1 Settori con prevalenza di utilizzi termici a bassa temperatura

L'utilizzo di calore a Bassa e Media temperatura sembra quello con più potenzialità per il **recupero del calore** di processo di scarto; le necessità sono innumerevoli e variabili a seconda del settore manifatturiero; la Tabella 17 riassume le principali.

Tabella 17. Temperature necessarie per tipici processi industriali

Settore industriale	Processo produttivo	Temperatura °C
Alimentare e bevande	Lavaggio	80-150
	Pastorizzazione	80-110
	Sterilizzazione	130-150
	Essiccazione	130-240
	Cottura	80-100
Tessile	Lavaggio	80-100
	Trattamento termico	80-130
	Candeggio	60-100
	Tintura	100-160
Lavanderie industriali	Lavaggio a vapore	150
Cartario	Candeggio ed essiccazione	130-180
Chimica	Trattamento termico	150-180
	Bollitura	95-100
	Distillazione	110-300
	Essiccazione	150-180
Plastica	Estrusione ed essiccazione	150-180

Fonti varie

È importante rilevare come l'utilizzo del calore recuperato o prodotto con fonti rinnovabili, con annessi sistemi di accumulo, potrebbe avvenire anche a temperature inferiori a quelle necessarie nei processi, per **preriscaldare** i fluidi di processo o direttamente i prodotti alimentari, riducendo la quota di calore che dev'essere fornita tramite combustione diretta.

2.3.1.1 Il settore dell'industria Alimentare

Il settore dell'industria Alimentare (che convenzionalmente raggruppa anche i settori delle Bevande e del Tabacco) si dedica alla lavorazione e trasformazione di prodotti provenienti da attività primarie quali l'agricoltura, la zootecnica, la silvicoltura e la pesca, realizzando semilavorati o prodotti finiti destinati al consumo più o meno immediato da parte degli esseri umani o degli animali.

Nella Tabella 18 sono riportati i dati relativi ai sottosettori di cui è composta l'industria Alimentare.

Tabella 18. Unità locali, Addetti, Valore della produzione per Settore Alimentare

Italia 2018	Unità locali (Imprese attive)	N° addetti (media annua)	% su Aliment.	Addetti / U.L.	Produzione (M€)	% su Aliment.	Prod. / U.L.	Prod / Add.
Industrie Alimentari, Bevande e Tabacco	60.170	448.780		7,5	139.015		2,3	0,3
10: Industrie Alimentari	56.159	405.442	90,3%	7,2	115.555	83,1%	2,1	0,3
101: lavorazione e conservazione di carne e produzione di prodotti a base di carne	3.801	59.927	13,4%	15,8	22.715	16,3%	6,0	0,4
102: lavorazione e conservazione di pesce, crostacei e molluschi	503	5.641	1,3%	11,2	2.393	1,7%	4,8	0,4
103: lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi	2.130	33.422	7,4%	15,7	11.774	8,5%	5,5	0,4
104: produzione di oli e grassi vegetali e animali	3.477	11.282	2,5%	3,2	7.472	5,4%	2,1	0,7
105: industria lattiero-casearia	3.941	44.707	10,0%	11,3	19.602	14,1%	5,0	0,4
106: lavorazione delle granaglie, produzione di amidi e di prodotti amidacei	1.268	10.300	2,3%	8,1	6.997	5,0%	5,5	0,7
107: produzione di prodotti da forno e farinacei	34.907	173.982	38,8%	5,0	19.737	14,2%	0,6	0,1
108: produzione di altri prodotti alimentari	5.529	58.501	13,0%	10,6	19.762	14,2%	3,6	0,3
109: produzione di prodotti per l'alimentazione degli animali	603	7.679	1,7%	12,7	5.102	3,7%	8,5	0,7
11: Industria delle Bevande	4.000	41.112	9,2%	10,3	22.472	16,2%	5,6	0,5
12: Industria del Tabacco	11	2.227	0,5%	202,4	988	0,7%	89,9	0,4

Fonte: dati.istat.it

L'alimentare è il settore fra i più rilevanti dell'industria manifatturiera in termini di valore della produzione, di addetti e di consumi energetici; in termini di valore della produzione i sottosectori più rilevanti sono quelli della Carne, Lattiero-Caseario, prodotti da Forno e Bevande, tutti attorno al 15% del valore complessivo; seguono i settori della Frutta e Ortaggi, degli Oli e Grassi, delle Granaglie e dei prodotti per Animali.

Tutti questi settori hanno valori di addetti e produzione ad u.l. e produzione ad addetto simili; si discosta solo il settore dei Prodotti da forno e farinacei, caratterizzato da moltissime piccole aziende, con un valore unitario della produzione molto basso.

In termini energetici, abbiamo visto nel *Paragrafo 2.2* il settore alimentare determini più del 10% dei consumi, sia termici che elettrici; sia l'autoconsumo elettrico, sia l'utilizzo di calore acquisito da terzi superano il 20% dei rispettivi consumi.

Essendo un settore caratterizzato da numerose piccole aziende, i consumi specifici sono mediamente bassi, attorno ai 30 Tep/UL e 10 Tep/M€ di valore della produzione, in termini di consumi termici primari, determinando una spesa media attorno ai 10 mila €/anno per energia termica⁶.

Si nota che sebbene numericamente poche, le imprese medio-grandi coprono gran parte del settore in termini di valore della produzione e quindi sono responsabili anche di una quota significativa dei consumi energetici; per tali aziende si è stimato una spesa annuale unitaria per energia termica attorno alle centinaia di migliaia di Euro; concentrandosi quindi su poche imprese medio grandi è possibile individuare un forte potenziale di intervento per l'utilizzo efficiente del calore e per l'installazione di sistemi TES, a fronte di un sicuro interesse economico delle aziende.

Per individuare quali sottosectori incidono maggiormente sui consumi energetici, sono a disposizione dei dati da [5]; si tratta di dati di consumo relativi al 2009, sicuramente non più attendibili in termini assoluti⁷, ma utili per avere una suddivisione indicativa dei consumi; sono purtroppo però dati relativi solo al settore strettamente Alimentare, codice Ateco 10, e quindi non è possibile effettuare dei calcoli precisi partendo dai dati BEN e Terna del 2018,

⁶ La spesa media del campione RSE in [3] è risultata di 72 k€/impresa, ma si è visto che i consumi medi unitari delle imprese del campione sono 6,6 volte superiori a quelli medi del settore.

⁷ Sia i consumi termici che elettrici complessivi appaiono diminuiti in 10 anni

disponibili solo per l'insieme dei codici 10, 11 e 12; si può comunque presumere che la gran parte dei consumi sia relativa al settore 10, e all'interno dello stesso si può concludere che i maggiori consumi termici (quasi il 30%) sono relativi al sotto-settore 10.7 "Prodotti da forno e farinacei"; seguono poi, indicativamente allo stesso livello, i sottosettori Carne, Frutta-Ortaggi e Lattiero-Caseario, che comportano ciascuno circa il 15% dei consumi; gli altri settori hanno minore incidenza.

Il settore alimentare si distingue dagli altri comparti industriali per la molteplicità dei processi di lavorazione, la grande diversificazione dei prodotti e le relative quote di energia utilizzate per produrli.

Lo schema generale dei processi dell'industria alimentare si può ricondurre a queste fasi:

- ricezione, preparazione e trattamento delle materie prime;
- somministrazione di calore per cottura, pastorizzazione, sterilizzazione, deidratazione;
- raffreddamento, stabilizzazione a freddo degli alimenti e congelamento;
- operazioni post processo come imballaggio e conservazione, processi di servizio come il trattamento rifiuti e acque reflue.

Più nel dettaglio, è possibile ricondurre i processi di lavorazione dell'industria alimentare a uno "schema generale di processi"; in Figura 4 si riporta lo schema elaborato in [5], che contiene anche una "Matrice di correlazione" tra processi di lavorazione e settori di produzione dell'industria alimentare secondo codice di identificazione ATECO 2007, in termini di rilevanza di consumi elettrici e termici.

All'interno di questa catena produttiva, a incidere sul fabbisogno energetico complessivo sono soprattutto i trattamenti termici per il lavaggio, la cottura e la sterilizzazione (oltre al riscaldamento degli ambienti).

Poi vi sono i consumi di elettricità relativi in particolare alla produzione di freddo per la conservazione, all'aria compressa e ai processi di confezionamento dei prodotti.

Vista la numerosità delle lavorazioni e dei sottosettori coinvolti, appare arduo determinare i consumi termici legati ad ogni fase di lavorazione. Analizzando nel dettaglio [6] si può però concludere come:

- la gran parte delle lavorazioni necessitano di calore a "bassa temperatura", da 10°C a 150°C, spesso inferiore ai 100°C; indicativamente tale tipologia di calore dovrebbe coprire almeno l'80% delle necessità;
- in alcune lavorazioni serve calore a "media temperatura", solitamente 150-300°C, per determinati processi di distillazione, essiccazione (con vapore surriscaldato), tostatura e cottura (ad es. frittura in olio), deodorizzazione dell'olio, ecc.
- i processi che richiedono calore ad "alta temperatura", sopra i 400°C sono invece legati a casistiche molto specifiche (come disidratazione ad alta temperatura o affumicamento) o al trattamento degli scarti di processo (alcune tecniche per l'ossidazione termica o catalitica dei gas di scarico, separazione di sostanze nei reflui e simile); occorre considerare che se anche si tratta di processi residuali rispetto agli altri, la necessità di alte temperatura comporta in proporzione necessità di energia termica specifica molto più elevata; si può comunque ritenere che i consumi non superino il 10% dei consumi termici totali del settore alimentare.

Processi	Consumi Elettrici	Consumi Termici	C.10.1	C.10.2	C.10.3	C.10.4	C.10.5	C.10.6	C.10.7	C.10.8	C.10.9
A. Ricevimento e preparazione materiale											
Ricevimento e immagazzinamento dei materiali											
Smistamento/elezione, classificazione, pulitura e trattamenti											
Sbucciatura											
Lavaggio											
Scongelamento											
B. Processi di riduzione delle dimensioni, miscelazione e stampo											
Taglio, affettatura, tritamento, macinazione, spappolamento e pressatura											
Miscelamento, omogeneizzazione e miscelazione											
Macinazione e schiacciatura											
Stampo e pressatura											
C. Processi per la separazione											
Estrazione											
Scambio ionico											
Purificazione											
Centrifugazione and sedimentazione											
Filtrazione											
Separazione mediante membrane											
Cristallizzazione											
Rimozione mediante neutralizzazione di acidi grassi liberi											
Candeggiatura											
Rimozione degli odori mediante stripping con vapore											
Decoloratura											
Distillazione											
D. Processi di trattamento											
Anmollo											
Dissoluzione											
Solubilizzazione											
Fermentazione											
Coagulazione											
Germinazione											
Messa in salamoia, essiccazione, sottoceto											
Affumicazione											
Addensamento											
Trattamento con solfati											
Carbonatazione											
Carbonazione											
Operazioni di copertura e rivestimento											
Invecchiamento											
E. Processi di cottura											
Fusione											
Scottatura											
Cottura e Bollitura											
Cottura al forno											
Arrostimento											
Frittura											
Indurimento											
Pastorizzazione, Sterilizzazione e UHT											
F. Processi di concentrazione mediante calore											
Evaporazione (liquido/liquido)											
Essiccazione (liquido/solido)											
Deidratazione (solido/solido)											
G. Processi di rimozione del calore											
Raffreddamento e stabilizzazione con il freddo											
Congelamento											
Liofilizzazione e disidratazione per congelamento											
H. Operazioni post processo											
Imballaggio											
Conservazione in atmosfera artificiale											
U. Processi di servizio											
Pulitura e Disinfestazione											
Generazione calore, vapore e consumo di energia											
Uso dell'acqua											
Generazione di vuoto											
Refrigerazione											
Generazione di aria compressa											
Trattamento rifiuti solidi											
Trattamento acque reflue											

Figura 4: Matrice di correlazione fra Processi e Sottosettori dell'Alimentare [5]

Il recupero dei flussi di calore può avvenire ad esempio da:

- acque di scarico dei cicli di lavaggio
- gas di scarico di essiccatori e caldaie a vapore
- condense del vapore
- aria degli ambienti di lavoro

Il Recupero di calore può essere effettuato semplicemente utilizzando scambiatori di calore oppure installando apposite pompe di calore, che permettono di incrementare la temperatura del calore disponibile.

2.3.1.2 Il settore dell'industria Tessile

Il settore dell'industria Tessile (che convenzionalmente raggruppa anche i settori dell'Abbigliamenti, Pelli, Cuoio e Calzature) è una delle catene industriali più lunghe e complesse dell'industria manifatturiera. È un settore frammentato ed eterogeneo dominato dalle PMI, nel quale però sono molto diffusi i "distretti" industriali (fenomeno caratteristico dell'Italia degli anni '60-70), legati alle comunità locali, in una catena di filiere altamente specializzate. È proprio attraverso questo fenomeno, che si è vista la concentrazione in aree circoscritte di diverse conoscenze e competenze professionali, specifiche di determinati prodotti e lavorazioni, diverse dall'impresa di grandi dimensioni e dalle microimprese artigianali. In Italia quasi metà delle aziende è localizzata in Lombardia (principalmente Varese, Milano e Como, seguite da Bergamo a Brescia) e Toscana (importante il distretto di Prato); non sono da trascurare Piemonte (con il distretto di Biella), Veneto (distretto di Verona) ed Emilia-Romagna (Distretto Carpi-Modena).

L'industria tessile è composta da un ampio numero di sottosectori, che coprono l'intero ciclo produttivo, dalla produzione delle materie prime (fibre sintetiche) al semilavorato (filati, tessuti e tessuti a maglia con i loro processi di finissaggio) e prodotti finali (tappeti, tessili per la casa, abbigliamento e tessuti per uso industriale). Nella Tabella 19 sono riportati i dati relativi ai sottosectori di cui è composta l'industria Tessile.

Tabella 19. Unità locali, Addetti, Valore della produzione per Settore Tessile

Italia 2018	Unità locali (Imprese attive)	N° addetti (media annua)	% su Tessile	Addetti / U.L.	Produzione (M€)	% su Tessile	Prod. / U.L.	Prod / Add.
Industrie Tessili, Abbigliamento e Calzature	62.152	456.450		7,3	82.418	3,5%	1,3	0,2
13: Industrie Tessili	13.998	113.675	24,9%	8,1	21.220	0,9%	1,5	0,2
131: preparazione e filatura di fibre tessili	1.617	16.033	3,5%	9,9	3.712	0,2%	2,3	0,2
132: tessitura	1.876	26.249	5,8%	14,0	6.328	0,3%	3,4	0,2
133: finissaggio dei tessuti	1.961	19.800	4,3%	10,1	2.145	0,1%	1,1	0,1
139: altre industrie tessili	8.544	51.593	11,3%	6,0	9.034	0,4%	1,1	0,2
14: Industrie Abbigliamento	32.171	197.577	43,3%	6,1	31.129	1,3%	1,0	0,2
15: Industrie Pelli, Cuoio, Calzature	15.983	145.198	31,8%	9,1	30.069	1,3%	1,9	0,2

Fonte: dati.istat.it

Il Tessile è fra i settori più rilevanti dell'industria manifatturiera in termini di addetti e di valore della produzione e non trascurabile in termini di consumi energetici; in termini di valore della produzione si rileva una suddivisione abbastanza simile fra i 3 sottosectori principali. Tutti i sottosectori hanno valori di addetti e produzione a u.l. e produzione ad addetto simili.

In termini energetici, come visto nel *Paragrafo 2.2*, il settore tessile determina circa il 5% dei consumi dell'industria manifatturiera, sia termici che elettrici; sia l'autoconsumo elettrico, sia l'utilizzo di calore acquisito da terzi sono poco diffusi, attorno al 5% dei rispettivi consumi.

Essendo un settore caratterizzato da numerose piccole aziende, i consumi specifici sono mediamente bassi, attorno ai 10 Tep/UL e 10 Tep/M€ di valore della produzione, in termini di consumi termici primari, determinando una spesa media attorno ai 5 mila €/anno per energia termica⁸.

Si nota che sebbene numericamente poche, le imprese medio-grandi coprono gran parte del settore in termici di valore della produzione e quindi sono responsabili anche di una quota significativa dei consumi energetici; per tali aziende si è stimato una spesa annuale unitaria per energia termica dell'ordine di grandezza delle centinaia di migliaia di Euro;

⁸ La spesa media del campione RSE in [3] è risultata di 28 k€/impresa, ma si è visto che i consumi medi unitari delle imprese del campione sono 6,15 volte superiori a quelli medi del settore.

concentrandosi quindi su poche imprese medio grandi è possibile sicuramente individuare un forte potenziale di intervento per l'utilizzo efficiente del calore e per l'installazione di sistemi TES, a fronte di un sicuro interesse economico delle aziende.

La filiera tessile inizia con la produzione o la raccolta della fibra grezza; successivamente sono da considerare vari processi, come, ad esempio, produzione di fibre sintetiche, filatura, tessitura, maglieria, ecc. In tutte le fasi del processo produttivo avvengono vari "processi di rifinitura", cioè pretrattamento, tintura, stampa, finitura e rivestimento, compreso il lavaggio ed essiccazione; la sequenza dei trattamenti è molto variabile e dipende dalle esigenze dell'utente finale.

Per individuare quali sottosettori incidono maggiormente sui consumi energetici, sono a disposizione dei dati da [7]; si tratta di dati di consumo relativi al 1996, sicuramente non più attendibili in termini assoluti⁹, ma utili per avere una suddivisione indicativa dei consumi fra i sottosettori; la stima effettuata, partendo da dati BEN e Terna 2018, è riportata in Tabella 20.

Tabella 20. Stima della suddivisione dei consumi energetici nei sottosettori dell'industria Tessile

Classificazione		Consumi di energia 2018 (suddivisione su dati 1996*) (kTep primari)							
TERNA	ATECO	TOTALE	% Tessile	Termici	% Tessile	Elettrici	% Tessile	Autocons	% consumi
Tessile, Abbigl. e Calzature	13, 14, 15	1.127	100,0%	686	100,0%	440	100,0%	34	7,7%
Tessile e maglieria	13	925	82,1%	625	91,0%	300	68,1%	25	8,5%
Filatura	13.1	225	20,0%	172	25,0%	53	12,1%		
Tessitura	13.2	267	23,7%	206	30,0%	61	13,8%		
Finissaggio	13.3	271	24,1%	233	34,0%	38	8,6%		
Maglieria e altre tessili	13.9	162	14,4%	14	2,0%	148	33,6%		
Confezione Abbigliamento	14	67	5,9%	14	2,0%	53	12,1%	3	6,6%
Cuoio e pelletteria	15.1	90	8,0%	41	6,0%	49	11,2%	4	8,9%
Calzature	15.2	45	4,0%	7	1,0%	38	8,6%	1	1,9%

* I dati stimati sulla base della suddivisione dei consumi del 1996 sono riportati in colore blu

Fonte: Elaborazioni su dati BEN e Terna 2018 tramite dati CESI 1996

Si nota come i consumi termici siano concentrati nel settore Tessile, e in particolare nei sottosettori della Tessitura, della Filatura e del Finissaggio; settori che prevedono numerose lavorazioni, differenziate secondo il tipo di fibra trattata (cotone, lana, fibre acriliche, sintetiche, artificiali e miste, lino, seta), l'impresa, il processo adottato e il prodotto finale (i principali sono i filati e i tessuti a maglia o catena trama, a cui vanno aggiunti i pettinati di lana, peli e misti). La tessitura e il finissaggio/nobilizzazione sono le operazioni più energivore, includendo più cicli di asciugatura e lavaggio.

Riguardo alla nobilitazione le operazioni sono: tintura, stampaggio e finitura tessile; la tintura e la finitura tessile hanno elevati assorbimenti di energia; Il finissaggio è un'operazione complessa che può richiedere il ripetersi di diverse operazioni per ottenere la qualità desiderata.

L'energia termica viene utilizzata principalmente per aumentare la temperatura dei bagni (ad esempio pretrattamenti, lavaggi, sbiancamento, tintura, ecc.) e nelle operazioni di asciugatura, essiccazione e stagionatura; i principali consumi avvengono quindi per il riscaldamento dell'acqua e la produzione di vapore: il principale combustibile utilizzato è il gas naturale.

⁹ Sia i consumi termici che elettrici erano doppi rispetto agli attuali

A tali lavorazioni tessili vanno aggiunte tutte le operazioni di trattamento delle acque, sia per lo smaltimento e scarico delle acque reflue, sia per un eventuale riciclo all'interno del ciclo di produzione.

Vista la numerosità delle lavorazioni, appare arduo determinare i consumi termici legati ad ogni fase di lavorazione. Analizzando nel dettaglio [8] si può però concludere come:

- la gran parte delle lavorazioni necessitano di calore a “bassa temperatura”, da 10°C a 150°C, spesso inferiore ai 100°C; indicativamente tale tipologia di calore dovrebbe coprire almeno l'80% delle necessità e probabilmente di più;
- in alcune lavorazioni serve calore a “media temperatura”, solitamente 150-200°C, per determinati processi di Tintura e Stampa su tessuti, o lavorazioni particolari (finitura con enzimi catalizzanti, ammorbidimento, trattamenti per l'idrorepellenza, test di prova);
- i processi che richiedono calore ad “alta temperatura”, sopra i 400°C sono invece legati essenzialmente al trattamento degli scarti di processo (alcune tecniche per ossidazione di composti nelle acque reflue, o il trattamento ed eventuale incenerimento dei fanghi reflui); si può ritenere che i consumi non superino il 10% dei consumi termici totale del settore tessile, e molto probabilmente siano residui.

2.3.1.3 Il settore Cartario

Il processo produttivo della carta si può suddividere nei seguenti principali step di processo:

- preparazione della pasta di cellulosa a partire dal legno, tramite processi meccanici o chimici;
- preparazione della pasta di cellulosa per la successiva lavorazione, sbiancamento;
- formazione del “foglio” e pressatura;
- disidratazione ed asciugatura;
- eventuale rivestimento e ulteriori trattamenti specifici (per tipologie speciali di carta).

La produzione di polpa di cellulosa è solitamente concentrata in pochi impianti di grandi dimensioni. Nelle cartiere di minori dimensioni, maggiormente diffuse nel contesto italiano, vengono importate balle di cellulosa pre-lavorate che vengono utilizzate come input al processo produttivo.

Il Cartario è fra i settori meno importanti dell'industria manifatturiera in termini di addetti e di valore della produzione, ma appare rilevante in termini di consumi energetici, principalmente per il sottosectore di fabbricazione della Carta e Cartone con poche industrie medio grandi.

Il processo di **produzione di carta e cartone**, che può essere sintetizzato nelle seguenti principali fasi:

- preparazione dell'impasto, comprensiva di riscaldamento dello stesso;
- fabbricazione del foglio, compreso di essiccazione dei fogli umidi;
- trattamenti superficiali e allestimento, compreso riscaldamento di sostanze e additivi e asciugatura;

I processi di produzione della carta richiedono significative quantità di energia, sotto forma sia di calore che di energia elettrica; gran parte dell'energia termica, sotto forma di vapore, viene utilizzata per i processi di *asciugatura della carta*, che generalmente consuma l'80-90% del vapore prodotto.

Altri impieghi di vapore si hanno in corrispondenza dei servizi ausiliari (depurazione acque, trattamento scarti) e dei servizi generali (riscaldamento e acqua calda sanitaria); si tratta tuttavia di consumi marginali rispetto a quelli sopra elencati e quindi generalmente trascurabili.

La necessità di utilizzare contemporaneamente energia sia elettrica che termica ha favorito la diffusione di sistemi cogenerativi; molti impianti (vetusti) sono però impianti a vapore con turbina a contropressione che generalmente sono caratterizzati da un rapporto elettricità/calore pari a 0,2, non sufficiente a coprire il fabbisogno elettrico di una moderna cartiera [9].

Visto quanto detto in merito al principale sottosettore di consumo in Italia e analizzando nel dettaglio [10] si può però concludere come:

- la gran parte delle necessità termiche sono relative a calore a “bassa temperatura”, da 10°C a 150°C, sotto forma di vapore, per l’essiccazione dei fogli di carta e cartone; indicativamente tale tipologia di calore dovrebbe coprire almeno l’80% delle necessità;
- per alcune tipologie di carta, tipicamente la carta per usi igienico-sanitari che dev’essere morbida ed assorbente, serve calore a “media temperatura”, solitamente 200-400°C;
- i processi che richiedono calore ad “alta temperatura”, sopra i 400°C sono invece legati essenzialmente al trattamento degli effluenti di processo; si può ritenere che i consumi non superino il 10% dei consumi termici totale del settore tessile, e molto probabilmente trascurabili.

In [9] sono evidenziate alcune possibilità di recupero termico specifiche per le cartiere:

- ha grosso potenziale l’impiego come combustibile dei fanghi e delle altre biomasse di scarto, considerando che nei fanghi è presente una significativa quantità di biomassa; purtroppo, al contrario di quanto avvenuto in altre realtà europee, tale utilizzo è attualmente di entità trascurabile in Italia, benché la tecnologia sia ormai matura e di assoluta garanzia in termini di tutela ambientale;
- molte cartiere hanno a disposizione grandi quantità di calore a bassa temperatura che viene solitamente smaltito tramite scarico in aria o acqua; questo calore può essere utilizzato per l’asciugatura dei biocombustibili (quali corteccia o altri scarti legnosi) ove utilizzati; spesso questi biocombustibili hanno un contenuto di umidità tale da richiedere l’aggiunta di combustibili tradizionali, aggiunta che potrebbe essere eliminata o almeno ridotta;
- ottimizzazione del recupero termico nei sistemi di asciugatura (particolarmente energivori), mediante recupero e riutilizzo del calore estratto dalle cappe;
- recupero termico dai ventilatori radiali utilizzati nei sistemi a vuoto (per le operazioni di asciugatura): a causa del processo di compressione l’aria in uscita raggiunge temperature tra 130 e 160°C; tramite uno scambiatore di calore aria-aria può essere recuperato fino al 75 dell’energia assorbita dai ventilatori.

Sebbene il settore cartario sia interessante in termini di temperature di utilizzo, la possibilità di utilizzare sistemi di accumulo è fortemente limitata dalla continuità del processo produttivo principale (la macchina continua), che non richiedono l’accumulo dell’energia recuperabile, che può essere direttamente riutilizzata.

2.3.2 Settori con prevalenza di utilizzi termici ad alta temperatura

I settori della lavorazione dei Metalli (Siderurgico e dei Metalli non ferrosi) e dei Minerali non metalliferi (per la produzione di Vetro, Ceramica, e Materiali da costruzione) sono caratterizzati da processi che si svolgono quasi tutti ad alte temperature; eventuali necessità di calore a temperature medio-basse sono quindi residuali.

È però da tenere presente che le lavorazioni in queste industrie, si svolgono tendenzialmente a ciclo continuo, con disponibilità di calore di recupero e necessità presenti

costantemente 24 ore su 24; la necessità di sistemi di accumulo termico appare quindi molto ridotta; di conseguenze tali settori non verranno approfonditi nel presente studio.

2.3.3 Altri settori

Gli ultimi settori manifatturieri con elevati consumi termici sono l'industria Chimica e le industrie Meccaniche, Elettriche, Elettroniche e dei Mezzi di trasporto. Si tratta di comparti estremamente eterogenei, nei quali è difficile quantificare i consumi per i diversi livelli di temperatura.

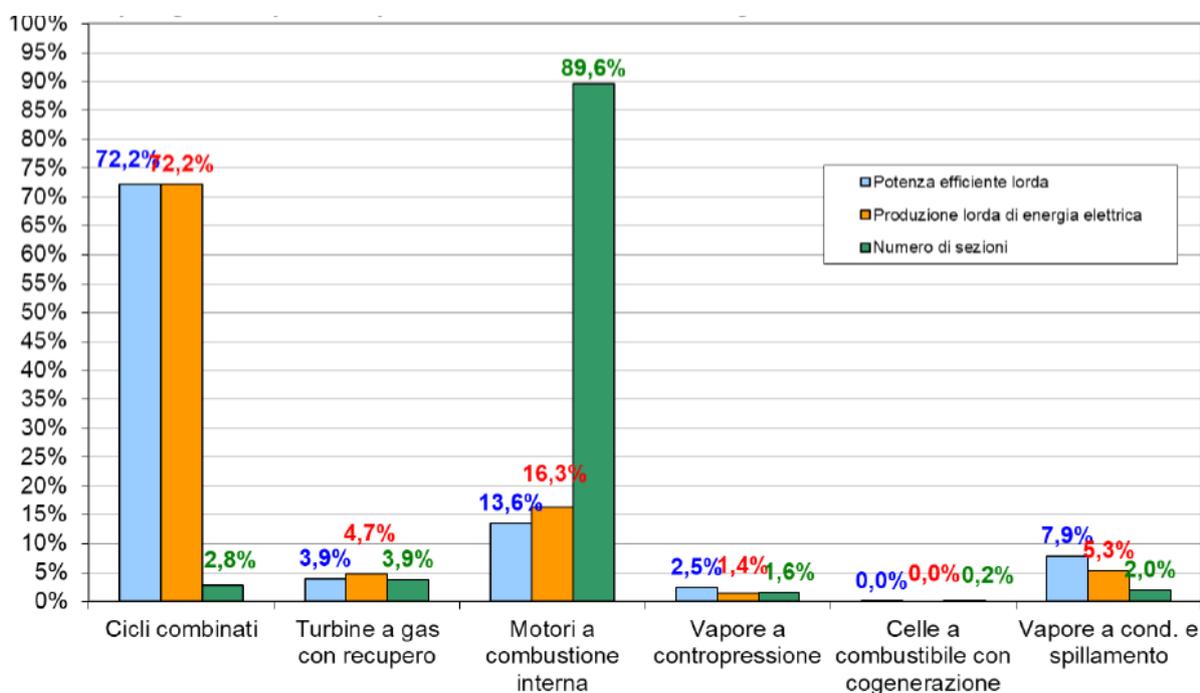
Rileviamo solo che nel settore della Chimica (per il quale sono presenti 9 BREF) i principali consumi termici si dovrebbero avere per la chimica inorganica di base, con necessità prevalentemente ad alte temperature, e per la chimica organica di base, dove i processi richiedono prevalentemente calore a medio-bassa temperatura. Nel documento si riporta una possibile applicazione di TES nel processo di produzione di resine liquide.

2.4 La Cogenerazione nell'industria manifatturiera

2.4.1 Il quadro nazionale della cogenerazione e della CAR

Innanzitutto, ricordiamo come la CAR, Cogenerazione ad Alto Rendimento, è stata definita dalla direttiva 2004/8/CE, successivamente sostituita dalla direttiva 2012/27/UE, con l'obiettivo di incrementare la domanda di calore utile e il risparmio di energia primaria. Non necessariamente tutti gli impianti di cogenerazione rientrano nell'ambito della cogenerazione ad alto rendimento, in quanto è necessario richiederne la qualifica al fine di ottenere benefici o incentivi, e non tutti gli impianti che potenzialmente hanno efficiente tali da essere qualificati come CAR, ne richiedono la reale qualifica. Inoltre, per gli impianti CAR, non tutta la produzione è classificabile come ad alto rendimento, ma solo quella prodotta nei momenti in cui gli impianti sono in condizione di funzionamento prossima al massimo recupero di calore utile.

Figura 5. Tipologie impianti produzione combinata di energia elettrica e calore in Italia nel 2018



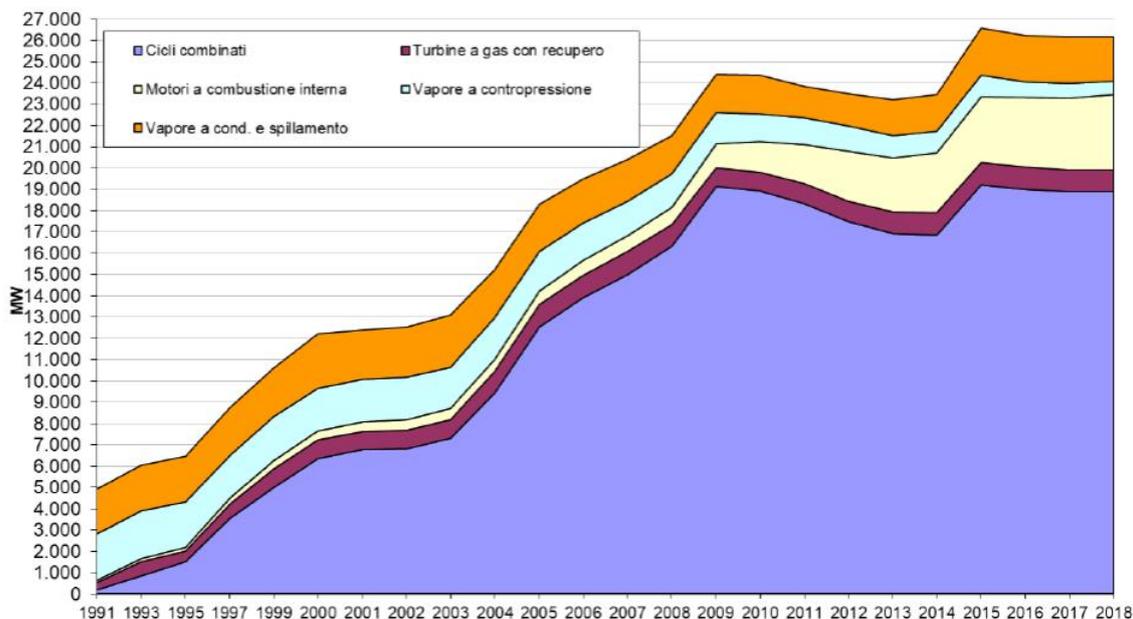
Fonte: ARERA 2020

Secondo quanto riportato da ARERA in [14], la produzione di energia elettrica da impianti di cogenerazione, nel 2018 è risultata pari a 104,9 TWh_e, derivante da impianti per una potenza efficiente lorda di circa 26,2 GW_e. Come si vede in Figura 5, In termini di Sezioni il

maggior contributo è dato da motori a combustione interna (quasi il 90% del totale), in termini di Potenza efficiente lorda e di Produzione, il ruolo predominante è svolto dai cicli combinati (72,2% in termini sia di potenza efficiente lorda sia di produzione). La capacità media di generazione elettrica è quindi alta per gli impianti a ciclo combinato e bassa per gli impianti a combustione interna.

La Figura 6 mostra l'aumento dell'incidenza, negli ultimi anni, dei motori a combustione interna (3,5 GW nel 2018 rispetto a 1,1 GW nel 2009): gli impianti che sfruttano tale tecnologia nascono per soddisfare le domande locali di calore e sono quindi intrinsecamente appropriati per la cogenerazione.

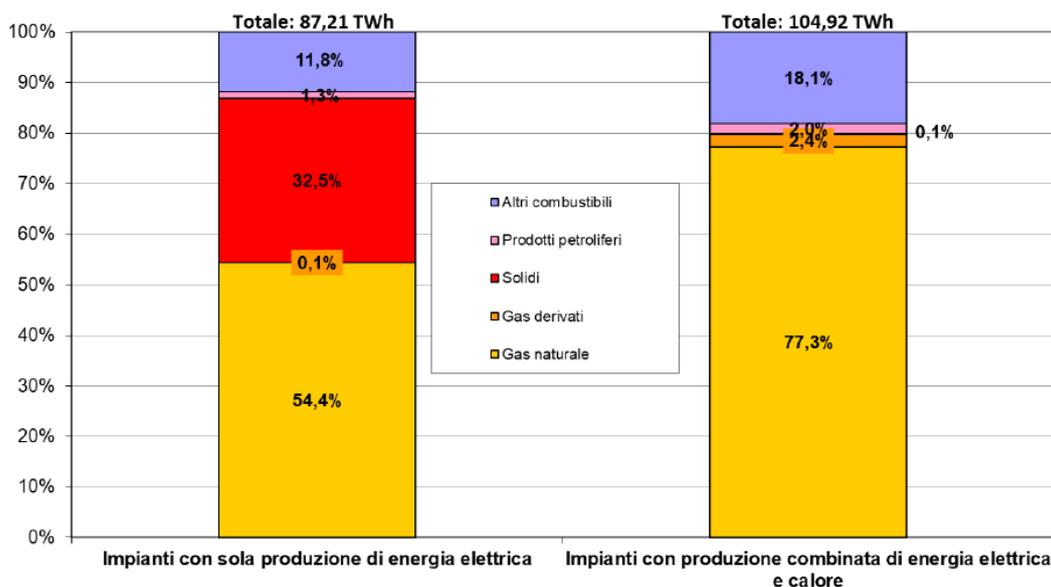
Figura 6. Impianti di cogenerazione: evoluzione della potenza installata dal 1991 al 2018



Fonte: ARERA 2020

La Figura 7 evidenzia l'utilizzo dei combustibili per la cogenerazione, con netta prevalenza dell'utilizzo di gas naturale.

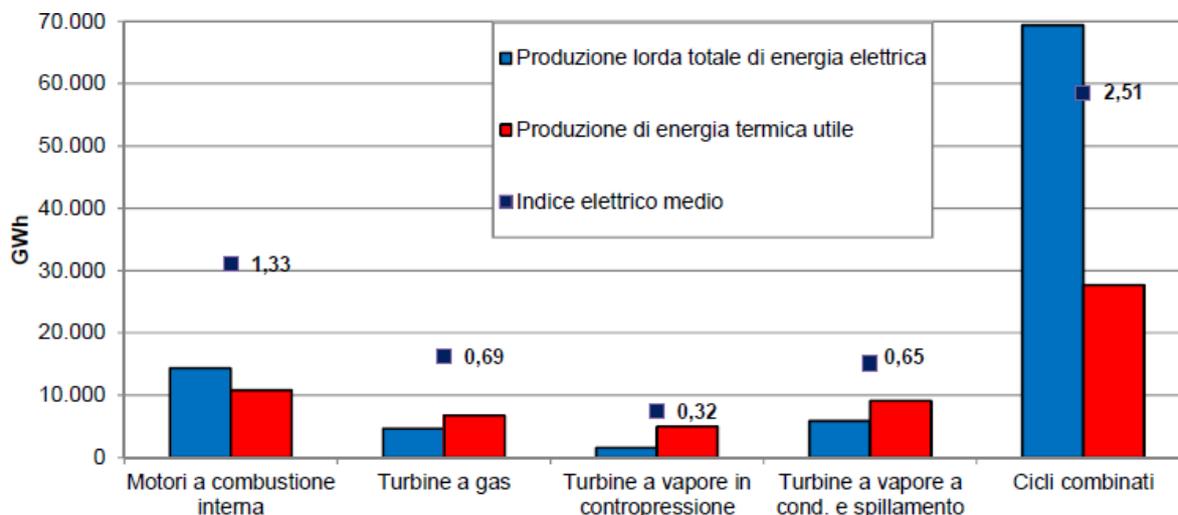
Figura 7. Incidenza dei combustibili utilizzati per la generazione termoelettrica in Italia nel 2018



Fonte: ARERA 2020

In [15] ARERA, per l'anno 2015, veniva riportata anche la produzione complessiva sia elettrica che termica per tipologia di impianto cogenerativo, come da Figura 8.

Figura 8. Produzione da cogenerazione per tecnologia impiantistica in Italia, 2015

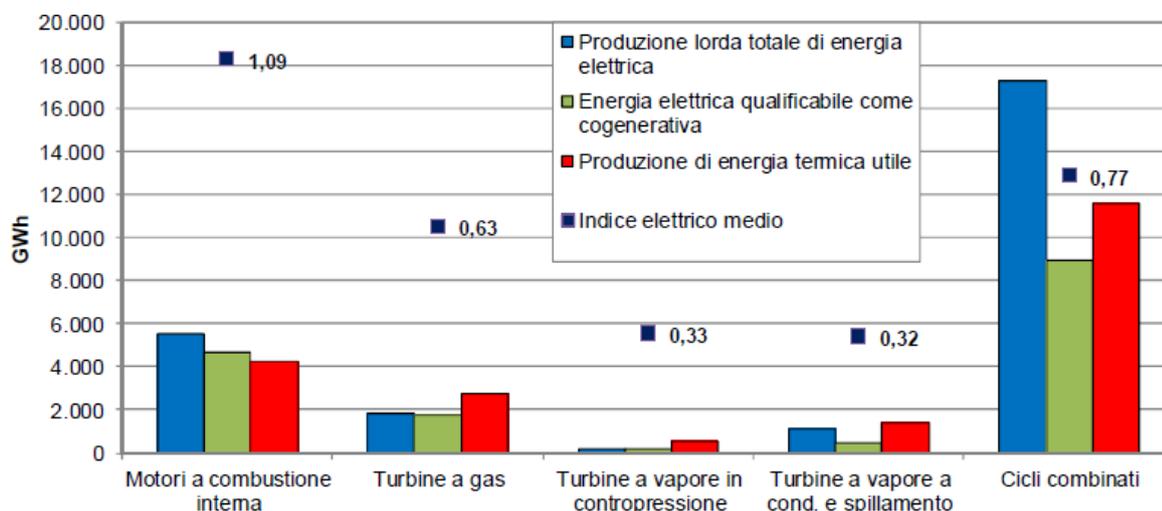


Fonte: ARERA 2017

Si nota in particolare una notevole differenza fra energia elettrica e termica prodotte per quanto riguarda i cicli combinati, dovuta al fatto che tali impianti sono spesso sbilanciati sulla produzione elettrica (ottenibile con elevati rendimenti).

Ciò viene rimarcato dall'analisi dei soli impianti qualificati come CAR; in [15] ARERA, sempre per l'anno 2015, si riporta anche la produzione elettrica complessiva dei soli impianti CAR, la quota CAR e l'energia termica prodotta da tali impianti, come da Figura 9.

Figura 9. Impianti CAR: produzione elettrica, quota ad alto rendimento e produzione termica, 2015



Fonte: ARERA 2017

Per i cicli combinati oltre alla differenza fra energia elettrica e termica prodotte, si nota anche il forte divario tra energia elettrica complessivamente prodotta ed energia elettrica qualificabile come cogenerativa ad alto rendimento, il che è indice del loro esercizio spesso in assetto diverso, con una elevata dispersione del calore, condizione che avviene meno per gli impianti a combustione interna. È infatti diffusa la pratica da parte degli operatori di installare cicli combinati presso utenze caratterizzate da una ridotta richiesta termica rispetto

al fabbisogno elettrico oppure, nel caso in cui l'obiettivo principale sia la produzione elettrica per l'esportazione verso la rete.

Tale conclusione si evidenzia anche guardando le efficienze di produzione, per gli impianti CAR e CHP+TLR¹⁰, riportate dal MiSE in [16] e riprese in Figura 10.

Figura 10. rendimenti elettrici e termici medi degli impianti CAR, 2017 ¹¹

	Rendimento elettrico medio	Rendimento termico medio	Perdite medie di conversione	$\eta_{\text{principio}}$ (%)
TOTALE	41,6%	25,6%	32,8%	67,2
C.C.	44,1%	21,4%	34,6%	65,4
T.G.	31,4%	49,3%	19,3%	80,7
T.V.Cp	19,7%	63,7%	16,5%	83,5
T.V.Cd	23,9%	34,2%	41,9%	58,1
M.C.I.	40,3%	31,0%	28,7%	71,3
M.T.G.	25,6%	45,0%	29,4%	70,6
Altro	30,4%	44,9%	24,8%	75,2

Fonte: MiSE 2019

Sempre il [16] è riportato il bilancio energetico complessivo degli impianti classificati come CAR e CHP+TLR per il 2017.

Si nota l'elevata quota di energia dispersa in impianti che comunque sono riconosciuti come "ad alto rendimento", come già evidenziato nella figura precedente, pari al 32,8%; inoltre è rilevante anche la quota di energia elettrica prodotta in regime di basso rendimento, pari al 20,3%, rispetto alla quota prodotta in regime di alto rendimento, pari al 21,3%. In pratica gli impianti CAR funzionano per circa metà del loro tempo (in termini di ore equivalenti di produzione) in regime di basso rendimento e quindi con elevata dispersione di energia; in ogni caso anche in regime di alto rendimento hanno una dispersione di energia che potrebbe essere ridotta.

10 Lo studio è stato condotto a partire dall'insieme delle informazioni contenute nelle richieste di unità di cogenerazione pervenute al GSE, per la produzione dell'anno 2017, ai fini del riconoscimento di Cogenerazione ad Alto Rendimento, ai sensi del D.M. 4 agosto 2011, e del riconoscimento di cogenerazione ai sensi della Delibera 42/02, per le unità di cogenerazione abbinate a una rete di teleriscaldamento qualificate ai sensi del D.M. 24 ottobre 2005 e s.m.i.

11 C.C.: turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore;

T.G.: turbina a gas con recupero di calore;

T.V.Cp.: turbina a vapore a contropressione;

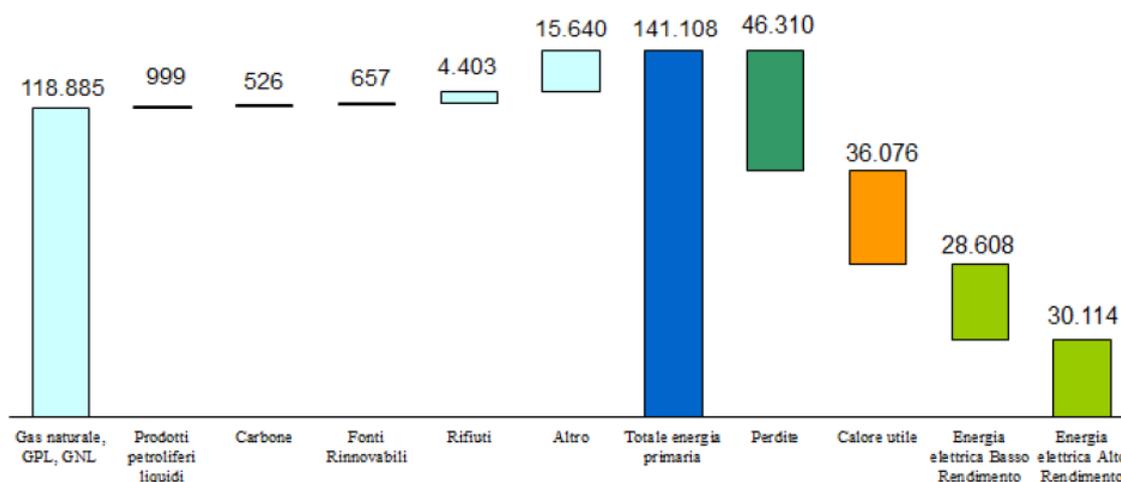
T.V.Cd.: turbina di condensazione a estrazione di vapore;

M.C.I.: motore a combustione interna;

M.T.G.: microturbine a gas;

Altro: motori Stirling, pile a combustibile, motori a vapore, cicli Rankine a fluido organico e ogni altro tipo di tecnologia o combinazione di tecnologie che non rientra nelle definizioni precedenti.

Figura 11. Bilancio energetico complessivo impianti CAR, GWh, 2017 ¹²



Fonte: MiSE 2019

Per gli impianti non riconosciuti come CAR la situazione è mediamente ancora peggiore, visto quanto precedentemente evidenziato nella Figura 8.

Considerando che come da Figura 6 fra il 2015 e il 2018 non ci sono state grosse variazioni negli impianti installati, si può riunire tutti i dati precedenti, anche se facenti riferimento ad anni diversi, per stimare la situazione complessiva italiana, come riportato in Tabella 21; per completare i dati mancanti, si introducono due ipotesi comunque calibrate sugli altri dati disponibili: rendimento medio elettrico del parco nazionale di cogenerazione pari al 40%, rendimento medio complessivo degli impianti CAR pari al 70%.

Tabella 21. Quadro generale sulla cogenerazione in Italia

	Potenza elettrica GW _e	Produzione elettrica TWh _e	Rendimento elettrico	Indice elettrico kWh _e /kWh _t	Produzione termica TWh _t	Rendimento termico	Produzione totale TWh	Energia primaria TWh _p	Rendimento complessivo
Cogenerazione in Italia									
TOTALE	26,2	104,9	40,0%	1,68	62,3	23,8%	167,2	262,3	63,8%
- cicli combinati	18,9	75,7		2,51	30,2		105,9		
- combustione interna	3,6	17,1		1,33	12,9		30,0		
- altro	3,7	12,1		0,63	19,3		31,3		
di cui CAR e CHP+TLR									
TOTALE	13,2	58,7	41,6%	1,63	36,1	25,6%	94,8	141,1	67,2%
- cicli combinati	10,5	46,1	44,1%	2,06	22,4	21,4%	68,5	104,5	65,5%
- combustione interna	1,7	7,6	40,3%	1,30	5,8	31,0%	13,4	18,8	71,3%
- altro	1,0	5,1	28,4%	0,64	7,9	44,3%	12,9	17,8	72,7%
di cui CAR									
TOTALE		26,0	39,1%	1,26	20,6	30,9%	46,6	66,6	70,0%
- cicli combinati		17,2		1,48	11,6		28,8		
- combustione interna		5,5		1,31	4,2		9,7		
- altro		3,3		0,69	4,8		8,1		

I dati ipotizzati o calcolati sulla base di questi sono riportati in blu

Fonte: Elaborazioni su dati ARERA e MiSE, 2015-2018

Com'è naturale per gli impianti CAR, a parità di efficienza elettrica, l'efficienza termica è mediamente più alta, attorno al 30%, rispetto alla media degli impianti in Italia, dove risulta inferiore al 25%.

¹² L' "energia elettrica prodotta a basso rendimento" è la quota di energia elettrica prodotta dagli impianti CAR in momenti in cui non sono rispettati criteri di cui all'Allegato II della Direttiva 2012/27/UE, quindi sostanzialmente con basso recupero energetico

Le maggiori inefficienze si hanno negli impianti a ciclo combinato, con indice elettrico (rapporto fra energia elettrica prodotta e calore recuperato) pari a 2,5 come media nazionale e in ogni caso 1,5 negli impianti CAR, segno che questi impianti sono stati installati soprattutto in funzione di una produzione elettrica ottimizzata, tendenzialmente ai fini della sua valorizzazione in rete. Gli impianti a combustione interna, e ancor più le altre tipologie tecnologiche, appaiono invece mediamente operati in modo più efficiente.

2.4.2 La Cogenerazione per il settore industriale

Innanzitutto, ricordiamo che nel BEN viene classificato come consumo di “calore” la quota di energia termica acquisita da altri soggetti da parte dei siti industriali; la quota di calore proveniente da impianti cogenerativi gestiti direttamente dai siti industriali non è conteggiata direttamente, ma attraverso il consumo di combustibili negli impianti.

Il GSE in [12] riporta una serie di dati relativi agli impianti CAR per i diversi settori dell'industria manifatturiera, relativi però, è da notare, al 2013.

Introducendo anche in questo caso l'ipotesi di un rendimento medio elettrico di questi impianti CAR, pari al 40%, si possono completare i dati mancanti con una buona approssimazione.

Tabella 22. Produzione cogenerativa da impianti CAR nel settore manifatturiero, 2013

Classificazione		Produzione elettrica TWh _e	di cui Alto Rend. TWh _e	di cui Autocons. TWh _e	Rendim. elettrico %	Indice elettrico kWh _e /kWh _t	Produzione termica TWh _t	Rendim. termico %	Produzione totale TWh _f	Energia primaria TWh _p	Rendim. Complessivo %	
BEN	ATECO											
Industria manifatturiera		24,84	11,30	6,76	40%	1,79	13,87	22%	38,70	62,09	62%	
	Aliment., Bev. e Tab.	1,90	1,50	1,10	40%	1,01	1,88	40%	3,78	4,75	80%	
	Tessile, Abbigl. e Calzat.	0,25	0,18	0,16	40%	1,15	0,22	35%	0,47	0,63	75%	
	Legno	0,20	0,12	0,18	40%	1,94	0,10	21%	0,30	0,50	61%	
	Cartaria e Grafica	4,40	3,30	3,00	40%	0,85	5,19	47%	9,59	11,00	87%	
	Chimica e Farmaceutica	12,70	4,57	0,90	40%	2,69	4,73	15%	17,43	31,75	55%	
	Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	0,45	0,27	0,40	40%	1,38	0,33	0,78	1,13	69%	
	Altri materiali da costr.	23.2/3/5-9	2,80	0,57	0,20	40%	4,52	0,62	9%	3,42	7,00	49%
	Siderurgico	24.1/2/3/51/52	0,04	0,03	0,02	40%	1,84	0,02	22%	0,05	0,09	62%
	Metalli non ferrosi	24.4/53/54	1,60	0,43	0,50	40%	3,48	0,46	12%	2,06	4,00	52%
	Meccan. e Mezzi trasp.	25...-30	0,50	0,33	0,30	40%	1,52	0,33	26%	0,83	1,25	66%
	Altre industrie manifatt.	22, 31, 32										

I dati ipotizzati o calcolati sulla base di questi sono riportati in blu

Fonte: Elaborazioni su dati GSE, 2013

Al 2013, circa metà della produzione elettrica da CAR nel settore manifatturiero era concentrata nell'industria Chimica; altre quote significative erano presenti nei settori Cartario, Siderurgico, Alimentare e Meccanico; negli ultimi anni ci sono state nuove installazioni, ma probabilmente questa ripartizione non è cambiata di molto. In aggiunta sono presenti nel settore manifatturiero altri impianti non CAR per i quali però non sono disponibili informazioni.

Dal punto di vista dell'efficienza, al 2013 appariva un rendimento medio complessivo di impianti CAR nel manifatturiero pari indicativamente al 62%, con un rendimento termico del 22%; appariva quindi una conduzione scarsamente efficiente degli impianti CAR, i quali funzionavano in regime di Alto rendimento per meno della metà del tempo (in termini di ore equivalenti). Si nota una quota di autoconsumo elettrico inferiore al 30% della produzione; questo indica come la gestione era finalizzata prevalentemente all'immissione in rete dell'energia elettrica autoprodotta, ben valorizzata, e quindi era presente una scarsa attenzione all'ottimizzazione interna della produzione, in particolare per la quota termica.

Questa situazione è confermata anche dall'analisi dei singoli settori: quelli con più alto rendimento termico, attorno al 40% (Cartario, Alimentare, Tessile), sono anche quelli con una quota di autoconsumo più elevata, ben oltre il 50%; i settori a più basso rendimento, attorno al 10-15% (Siderurgico, Chimico, Meccanico), hanno una bassa quota di

autoconsumo (addirittura sotto il 10% per Chimico e Siderurgico); la quota di funzionamento in Alto rendimento segue questa suddivisione, con tempi molto superiori al 50% per i primi settori e molto inferiori per gli altri; hanno un comportamento intermedio i settori del Legno, Minerali non metalliferi e Metalli non ferrosi, dove si ha una quota significativa di autoconsumo elettrico, con un rendimento termico comunque non elevato, fra il 20 e 30%.

Dal 2013 la situazione dovrebbe essere cambiata; in Tabella 21 (elaborazione da dati ARERA e MISE per il periodo 2015-2018) è riportato un rendimento termico medio degli impianti CAR attorno al 31%, contro il 22% stimato nel 2013, ed è ragionevole pensare che anche per gli impianti del settore manifatturiero, che ne costituiscono una quota rilevante, ci sia stato questo miglioramento gestionale.

Lo studio riporta anche la stima della potenza in cogenerazione complessivamente installata per settore, sempre relativa ai soli impianti CAR nel 2013.

Tabella 23. Potenza impianti CAR nel settore manifatturiero, 2013

Classificazione		Potenza elettrica	Produzione specifica	Potenza termica	Produzione specifica
BEN	ATECO	GW _e	MWh _e /a/kW _e	GW _t	MWh _t /a/kW _e
Industria manifatturiera		5,94	4,2	5,60	2,3
Aliment., Bev. e Tab.	10, 11, 12	0,41	4,7	0,47	4,6
Tessile, Abbigl. e Calzat.	13, 14, 15	0,08	3,3	0,08	2,9
Legno	16	0,04	5,0	0,04	2,6
Cartaria e Grafica	17, 18	0,94	4,7	1,49	5,5
Chimica e Farmaceutica	20, 21	3,19	4,0	2,15	1,5
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	0,09	4,9	0,11	3,6
Altri materiali da costr.	23.2/3/5-9	0,78	3,6	0,83	0,8
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	0,01	5,8	0,00	3,2
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	0,31	5,2	0,33	1,5
Meccan. e Mezzi trasp.	25-...-30	0,10	4,9	0,11	3,2
Altre industrie manifatt.	22, 31, 32				

Fonte: GSE, 2013

Non si hanno invece informazioni sugli impianti non CAR; è comunque probabile, visto anche i dati medi nazionali, che il miglioramento nella conduzione degli stessi sia inferiore.

Lo studio GSE [12] stima anche una potenziale diffusione della CAR nel settore manifatturiero; individua per ciascun settore industriale considerato i:

- **Potenziale tecnico CAR:** stima del massimo fabbisogno termico ed elettrico soddisfacibile da CAR nel settore industriale
- **Potenziale economico CAR:** stimare della quota parte del potenziale tecnico da CAR, sostenibile da un punto di vista economico.

Tali stime sono state eseguite sia a partire dai consumi energetici del 2013, sia dai consumi energetici stimati al 2023; la stima effettuata al 2023, con previsione di incremento dei consumi industriali di circa il 20% rispetto al 2013, non sembra però essere realistica, visto che dai dati disponibili dal BEN negli ultimi anni i consumi industriali sono risultati pressoché stabili, anzi leggermente decrescenti; di seguito quindi consideriamo le stime eseguite a partire dai consumi del 2013.

I risultati delle stime sono riportati per quanto riguarda le potenze elettriche e termiche installate in CAR in Tabella 24 e per quanto riguarda la produzione elettrica (solo quota in Alto rendimento) e il recupero termico in Tabella 25.

Tabella 24. Potenziale di installazione impianti CAR nell'industria manifatturiera

Classificazione		Potenza Elettrica CAR installata			Potenza Termica CAR installata		
		2013	Potenziale Tecnico	Potenziale Economico	2013	Potenziale Tecnico	Potenziale Economico
BEN	ATECO	GW _e	GW _e	GW _e	GW _t	GW _t	GW _t
Industria manifatturiera		5,94	12,30	7,93	5,60	13,73	8,35
Aliment., Bev. e Tab.	10, 11, 12	0,41	1,30	0,87	0,47	1,39	0,99
Tessile, Abbigl. e Calzat.	13, 14, 15	0,08	0,64	0,09	0,08	0,72	0,10
Legno	16	0,04	0,26	0,04	0,04	0,23	0,04
Cartaria e Grafica	17, 18	0,94	1,11	1,11	1,49	1,60	1,60
Chimica e Farmaceutica	20, 21	3,19	4,66	4,16	2,15	4,50	3,91
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	0,09	0,50	0,40	0,11	0,41	0,34
Altri materiali da costr.	23.2/3/5-9						
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	0,78	0,86	0,02	0,83	0,93	0,01
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	0,01	0,04	0,10	0,00	0,03	0,14
Meccan. e Mezzi trasp.	25-...-30	0,31	1,95	0,21	0,33	2,69	0,20
Altre industrie manifatt.	22, 31, 32	0,10	0,99	0,10	0,11	1,23	0,11

Fonte: GSE, 2016

Tabella 25. Potenziale produzione in CAR nell'industria manifatturiera

Classificazione		Produzione Elettrica CAR in A.R.			Produzione Termica CAR		
		2013	Potenziale Tecnico	Potenziale Economico	2013	Potenziale Tecnico	Potenziale Economico
BEN	ATECO	TWh _e	TWh _e	TWh _e	TWh _t	TWh _t	TWh _t
Industria manifatturiera		11,30	26,86	18,70	13,87	33,63	22,86
Aliment., Bev. e Tab.	10, 11, 12	1,50	3,67	2,87	1,88	4,83	3,47
Tessile, Abbigl. e Calzat.	13, 14, 15	0,18	1,46	0,20	0,22	1,61	0,24
Legno	16	0,12	0,53	0,13	0,10	0,47	0,11
Cartaria e Grafica	17, 18	3,30	3,77	3,77	5,19	6,08	5,62
Chimica e Farmaceutica	20, 21	4,57	10,52	8,98	4,73	12,39	10,77
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	0,27	1,43	1,23	0,33	1,22	1,06
Altri materiali da costr.	23.2/3/5-9						
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	0,57	0,67	0,67	0,62	0,75	0,75
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	0,03	0,17	0,09	0,02	0,12	0,06
Meccan. e Mezzi trasp.	25-...-30	0,43	3,59	0,44	0,46	5,02	0,46
Altre industrie manifatt.	22, 31, 32	0,33	1,04	0,33	0,33	1,15	0,33

Fonte: GSE, 2016

Come si vede a fronte di una potenzialità tecnica di installazione che potrebbe permettere più che di raddoppiare l'attuale disponibilità, solo una quota di incremento dell'ordine del 40% delle potenze installate è stata giudicata economicamente conveniente. Per quanto riguarda la produzione prevista la quota di incremento giudicata economicamente conveniente è stata stimata attorno al 65%.

2.5 Esempi applicativi per l'integrazione di LHTES nei settori industriali descritti

I Sistemi di accumulo con PCM sono caratterizzati dalla temperatura di fusione del materiale a cambiamento di fase. Possono quindi essere alimentati con calore di recupero a temperatura sufficientemente superiore a quella di fusione (almeno 5-10 °C, in funzione del dimensionamento delle superfici di scambio).

Questa caratteristica intrinseca dei sistemi a cambiamento di fase è limitante rispetto alla loro applicabilità; richiede infatti che il calore recuperato sia disponibile ad una temperatura minima pari alla temperatura di fusione opportunamente aumentata ai fini dello scambio termico; non vi è un limite superiore alla temperatura (salvo non vi siano problemi dovuti all'esposizione dei materiali a temperature non compatibili con le caratteristiche chimico fisiche degli stessi), anche se si pone una questione di "exergia", che sconsiglia, pena una perdita di valore del calore recuperabile, di alimentare gli accumuli a temperature di molto superiori a quelle ottimali. Questo limite può essere parzialmente risolto prevedendo l'utilizzo in cascata di accumuli con PCM a temperature di fusione diverse, per simulare la stratificazione di un serbatoio (anche se con un andamento "a gradini" e non continuo della temperatura).

Vi è poi un secondo aspetto che in molte industrie, in particolare nell'industria alimentare, è un aspetto rilevante e potenzialmente limitante.

Il calore di recupero di processo è spesso proveniente da flussi che devono essere raffreddati; è quindi necessario che il fluido termovettore diminuisca in modo significativo la propria temperatura. Quando si ottiene il raffreddamento mediante lo scambio in preriscaldamento di flussi freddi che richiedono di essere riscaldati, si ha infatti il duplice vantaggio di poter recuperare calore e di ridurre il fabbisogno di raffreddamento e i relativi consumi¹³. In questi casi in generale non è conveniente l'utilizzo di PCM.

Si individuano alcuni vantaggi importanti degli accumuli con materiali a cambiamento di fase: il primo è la compattezza rispetto ad accumuli di energia termica sensibile: il maggior calore specifico degli accumuli con PCM consente di limitare l'occupazione di spazio, di realizzare l'accumulo in prossimità del processo con cui si scambia calore, riducendo in questo modo le dispersioni termiche sulle linee. Si ha infine un vantaggio rilevante in termini di regolazione del sistema di recupero: la stabilità delle condizioni di temperatura dell'accumulo (determinate dal punto di fusione) garantiscono stabilità e stazionarietà nel funzionamento.

Queste considerazioni guidano alcune delle scelte indicate negli esempi riportati nel presente *Paragrafo 2.4*.

2.5.1 Industria Alimentare: utenze di calore e sistemi di recupero termico presenti in caseificio

Le informazioni e gli esempi presentati in questo capitolo sono tratti dall'esperienza diretta di ENERSEM, azienda spin off del Politecnico di Milano, che ha contribuito alla redazione del presente rapporto; per quanto riguarda il Grana Padano, dal lavoro svolto nell'ambito del progetto Life TTGG [11].

Gli esempi riportati sono particolarmente significativi perché, come si vedrà, da essi risulta chiaro come il potenziale teorico di applicabilità di sistemi TES a cambiamento di fase per l'accumulo di calore a bassa temperatura possa essere facilmente sovrastimato, se non si tiene in considerazione il tema, già più volte sollevato della compresenza di esigenze di raffreddamento e riscaldamento di fluidi di processo.

¹³ Siano essi consumi di acqua a perdere e relativi consumi di pompaggio, o consumi di acqua ed energia per raffreddamento in torre evaporativa, o infine consumi di raffreddamento con chiller

Le possibili fonti di calore di recupero in un caseificio sono di seguito elencate.

1. Recupero di calore dal siero: il siero è un sottoprodotto della lavorazione del latte. A fine cottura, il siero caldo deve essere raffreddato per essere accumulato in serbatoi e successivamente venduto tal quale oppure concentrato. Per quei formaggi che richiedono latte pastorizzato, il sistema di recupero è “internamente” bilanciato¹⁴, non si ha cioè un esubero di calore disponibile dal raffreddamento del siero. Per quei formaggi che invece richiedono latte crudo, come Grana Padano o Parmigiano Reggiano, il calore del siero è disponibile per il recupero. La temperatura di partenza del raffreddamento del siero varia, dai 52-54 °C del Grana Padano, ai circa 40 °C (o meno) di molti formaggi con lavorazione in polivalente.
2. Recupero termico dal cogeneratore: nei caseifici più grandi si possono trovare cogeneratori del tipo motore a combustione interna. Questo tipo di macchine è ampiamente diffuso nell'industria nazionale, in tutti i settori, anche grazie agli incentivi previsti per la cogenerazione ad alto rendimento. Oltre alla produzione di energia elettrica, da questa tipologia di generatore è possibile recuperare energia termica, sia sotto forma di vapore che di acqua calda. Il vapore prodotto è facilmente integrabile nella linea del vapore delle caldaie, quindi sempre totalmente recuperato. La quota parte di acqua calda è al contrario poco sfruttata, dunque spesso viene dissipata, anche in modo consistente. Per alcuni esempi, si veda il *Paragrafo 0*. La temperatura a cui è disponibile l'acqua calda è di circa 80-85°C.
3. Recupero delle condense del vapore: in tutti i caseifici è presente un generatore di vapore, dato che sia le lavorazioni in doppio fondo (formaggi duri) sia in polivalente richiedono l'utilizzo di vapore. Le condense possono essere recuperate direttamente e reintegrate in caldaia, oppure è possibile recuperarne il calore tramite uno scambiatore. Normalmente le condense sono disponibili a temperatura superiori agli 85-90 °C e vengono recuperate in centrale termica.
4. Recupero del calore dai fumi della caldaia: l'installazione di un economizzatore sul condotto di scarico dei fumi della caldaia permette di recuperare il calore contenuto nei fumi stessi, con produzione di acqua calda che può essere integrata in caldaia oppure sfruttata per altri usi. Normalmente si tratta di un recupero interno.

Di seguito vengono invece presentati i possibili utilizzi del calore di recupero, ricavabile dalle utenze sopra elencate.

1. Nella produzione di Grana Padano o di Parmigiano Reggiano: riscaldamento del latte prima dell'ingresso nei doppi fondi per la fase di cottura tipica di formaggi come Grana Padano o Parmigiano Reggiano, fino a una temperatura di 30 °C. L'intervento prevede l'installazione di uno scambiatore a piastre alimentato dal calore di recupero. Anche il latte lavorato nelle polivalenti può rappresentare un'utenza del calore di recupero, ma i livelli termici sono molto variabili in funzione della tipologia di formaggio prodotto, dunque il potenziale recupero deve essere valutato caso per caso.
2. Impianti CIP (Clean In Place): gli impianti CIP hanno il compito di lavare le linee di produzione tra i cicli di lavorazione; i lavaggi vengono effettuati alternativamente con soluzione acqua-soda oppure acqua-acido, mentre i risciacqui vengono effettuati con acqua; le soluzioni e l'acqua di risciacquo vengono scaldate a temperature variabili in funzione della fase di lavaggio in corso, in un intervallo compreso tra i 50°C e i 70°C; i CIP vengono alimentati a vapore. Il fabbisogno, o quantomeno parte di esso,

¹⁴ La maggior parte dei pastorizzatori incontrati nell'esperienza di consulenti energetici hanno una sezione di recupero di calore non ottimizzata e non sfruttano il calore proveniente dal raffreddamento del siero. Rimane quindi un forte potenziale di risparmio di energia conseguibile con la sostituzione/introduzione di alcune sezioni di scambio termico e con l'introduzione di serbatoi di accumulo.

potrebbe essere coperto da calore di recupero, integrando uno scambiatore a piastre a monte dell'ingresso di vapore ai fasci tubieri (che verrebbero utilizzati come backup). Per quantificare il fabbisogno totale dei CIP si utilizzano gli indicatori elaborati per il progetto LIFE TTGG [11], risultati dello studio dei CIP su altri caseifici. Si ottengono circa 16 kWh_t/t di latte lavorato.

3. Magazzini Grana Padano: le unità di trattamento aria dei magazzini (UTA), ad oggi solitamente alimentate a vapore o con caldaie a gas dedicate, possono essere alimentate con calore di recupero, previa verifica del dimensionamento delle batterie di scambio termico acqua/aria. Il fabbisogno di calore dei magazzini viene valutato a partire da un modello di calcolo sviluppato nell'ambito del progetto Life TTGG [11]. Risultano 5,5 kWh_t per ogni forma stagionata nei magazzini. Il calore viene normalmente fornito a temperature superiori ai 50°C (anche se con un dimensionamento più "generoso" delle batterie di acqua calda delle UTA, sarebbero sufficienti temperature inferiori ai 30 °C, caso testato in un caseificio di Grana Padano, dove le batterie calde delle UTA vengono alimentate con il calore di condensazione del chiller, a circa 26 °C).
4. Lavaggi del concentratore (ove sia prevista la concentrazione del siero): i lavaggi degli impianti di concentrazione vengono effettuati con acqua a circa 45-50°C, normalmente riscaldata tramite vapore.
5. Reintegro acqua caldaie a vapore: l'acqua fredda reintegrata nel circuito di produzione del vapore può essere preriscaldata tramite calore di recupero. Nell'ipotesi di poter preriscaldare l'acqua fino a 70-80°C, il risparmio può raggiungere il 5-10% del gas consumato dalla caldaia. Queste utenze vengono spesso alimentate con le condense recuperate in impianto.
6. Attivazione latte prima della scrematura: il latte per Grana Padano viene scremato per affioramento della panna; in molti caseifici il latte viene "attivato" per favorire il processo di affioramento, ovvero il latte viene riscaldato a una temperatura variabile stagionalmente tra 30°C e 40°C e immediatamente raffreddato. La fase di riscaldamento è in buona parte rigenerativa, ma il riscaldamento finale è fatto con vapore, facilmente sostituibile con calore di recupero.
7. Preparazione acqua calda sanitaria: in caseificio è presente un consumo non trascurabile di acqua calda sanitaria, utilizzata sia per i bagni e le docce ad uso del personale, sia per la sanificazione degli ambienti (pavimentazioni, scambiatori, ...). Il calore di recupero può essere integrato come preriscaldamento dell'acqua fredda in ingresso all'impianto di riscaldamento.
8. Lavatrici per il lavaggio delle ceste/tele e stampi impiegate nella lavorazione del formaggio (utenza minore).

Le utenze di calore sopra descritte possono essere classificate in funzione della loro continuità/discontinuità e differibilità nel tempo, come in Tabella 26. In presenza di utenze discontinue e differibili, è possibile massimizzare l'utilizzo del calore recuperato, ritardando l'avvio della lavorazione al momento in cui si prevede che il sistema di recupero sia sufficientemente carico per poter far fronte alla richiesta di calore.

Tabella 26. Differibilità delle utenze di calore nei caseifici

Utenza	Differibile	Grado di differibilità	Temperatura fonte di calore di recupero (o TES)
Preriscaldamento latte	NO	-	< 40 °C
CIP	SI	Medio	80 °C
Magazzini Grana Padano	SI	Basso	< 60 °C
Lavaggi concentratore siero	SI	Medio	80 °C
Reintegro acqua caldaie	NO	-	80 °C
Attivazione latte	NO	-	< 40 °C
Preparazione ACS	SI	Alto	< 60 °C
Lavaggio ceste e teli	SI	Alto	< 60 °C

A titolo di esempio, si riportano di seguito i risultati dell'analisi effettuata da ENERSEM in un **caseificio di produzione Grana Padano e Provolone Valpadana**.

Nel grafico in Figura 12 sono visualizzati i risparmi potenziali al variare della quota di calore recuperata. In questo caso specifico, le fonti disponibili per il recupero sono il raffreddamento del siero ottenuto dalla lavorazione del Grana Padano e il circuito di recupero di acqua calda del cogeneratore. Ogni utenza proposta, o combinazione di utenze, permetterà di raggiungere una certa quota di recupero, a cui corrisponde un potenziale risparmio. Per esempio, se si concretizzasse il recupero termico per le utenze descritte nel seguito, la quota sfruttata del calore disponibile sarebbe pari al 78%, a cui corrisponde un risparmio di gas naturale pari a circa 1'000'000 Sm³.

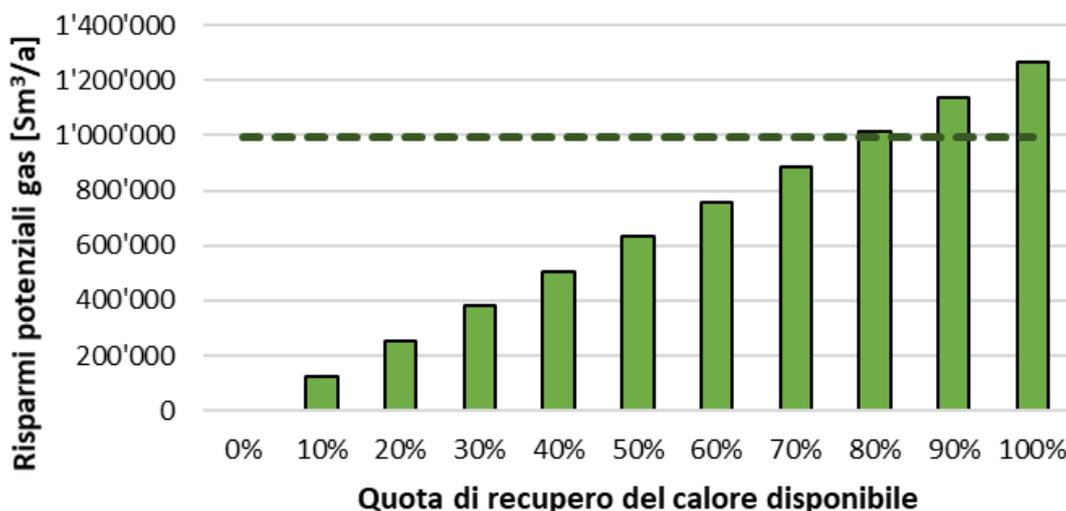


Figura 12. Andamento risparmio ottenibile al variare quota sfruttamento del calore disponibile

La Tabella 27 mostra le utenze individuate.

Tabella 27. Possibili utenze del calore di recupero per un caseificio reale

Utenza	Quota sul totale dei consumi termici di stabilimento
Preriscaldamento latte Grana Padano	5.8%
Preriscaldamento soluzioni CIP	8.0%
Magazzini di stagionatura Grana Padano	2.7%
Lavaggi concentratore del siero	1.4%
Reintegro acqua in caldaia	1.3%
TOTALE	19.1%

Si precisa che l’elenco dei possibili usi sopra presentato non esaurisce le possibilità di sfruttamento del calore di recupero disponibile. Come si evince dalla tabella, i risparmi identificati rappresentano meno del 20% del calore totale utilizzato nello stabilimento, che viene esplicitato in Figura 13.

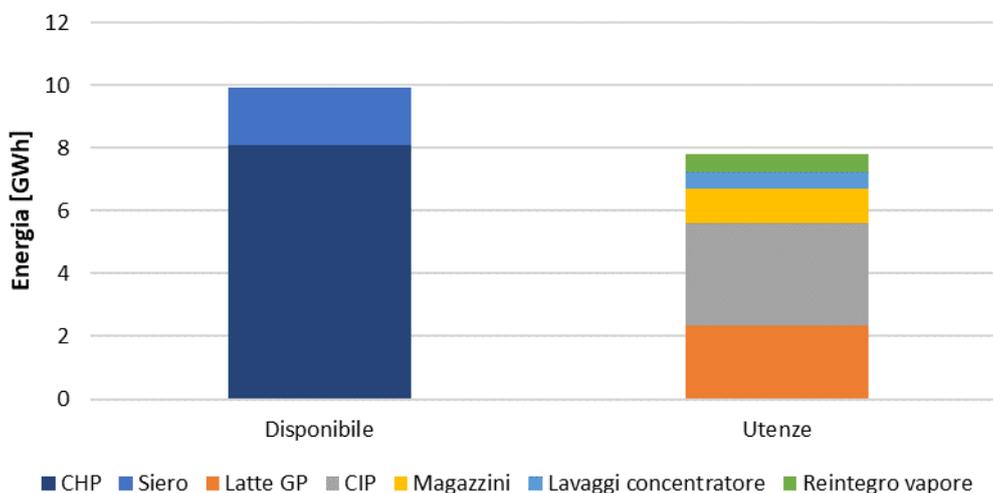


Figura 13. Disponibilità ed utilizzi di energia termica nel caseificio d’esempio

Vediamo ora una possibile configurazione di utilizzo di accumuli con materiale a cambiamento di fase per un’applicazione specifica in un caseificio di Grana Padano, evidenziandone i limiti rispetto all’utilizzo di serbatoi d’acqua come accumulo di energia termica. Si presenta prima la situazione attuale, poi un possibile recupero di calore sensibile (con un sistema di serbatoi di acqua), poi l’integrazione di un accumulo con PCM (che come vedremo, non risulta essere la scelta ottimale).



Figura 14. Sala lavorazione stabilimento Grana Padano: caldaie (tronco coniche) produzione formaggio

Il Grana Padano viene prodotto immettendo latte in contenitori, detti “caldaie” (recipienti tronco conici, con una doppia parete in rame, con intercapedine in cui viene iniettato vapore, mostrati in Figura 14), col seguente processo:

- inserimento del latte nelle cosiddette “caldaie” e riscaldamento sino alla temperatura di 54°C, alla quale deve essere mantenuto per 1 ora e mezza circa per la produzione vera e propria del Grana Padano; il riscaldamento e il successivo mantenimento in temperatura sono effettuati immettendo vapore nel mantello delle “caldaie”;
- a fine lavorazione, dalle “caldaie” si estrae il formaggio (poco meno del 10% della massa totale in ingresso); il siero rimanente, disponibile a circa 52-54 °C, viene raffreddato a circa 10°C per essere poi venduto, tal quale o, nei caseifici di dimensioni maggiori, concentrato, mediante un processo ad osmosi inversa.

Il processo **tipico** di raffreddamento del siero è suddiviso in diversi stadi:

- Preraffreddamento con acqua di torre
- Preraffreddamento con acqua di pozzo
- Raffreddamento finale con uno scambiatore di calore alimentato ad acqua gelida

A seconda dei casi, le sezioni alimentate ad acqua di torre e ad acqua di pozzo possono essere assenti, mentre la sezione alimentata ad acqua gelida è sempre presente.

L'ipotesi di intervento, come illustrato in Figura 15, prevede il recupero del calore del siero, attualmente dissipato in torre e/o con acqua di pozzo a perdere, per il preriscaldamento del latte in ingresso ai doppi fondi e per altre utenze alimentate mediante scambio con vapore generato in centrale termica.

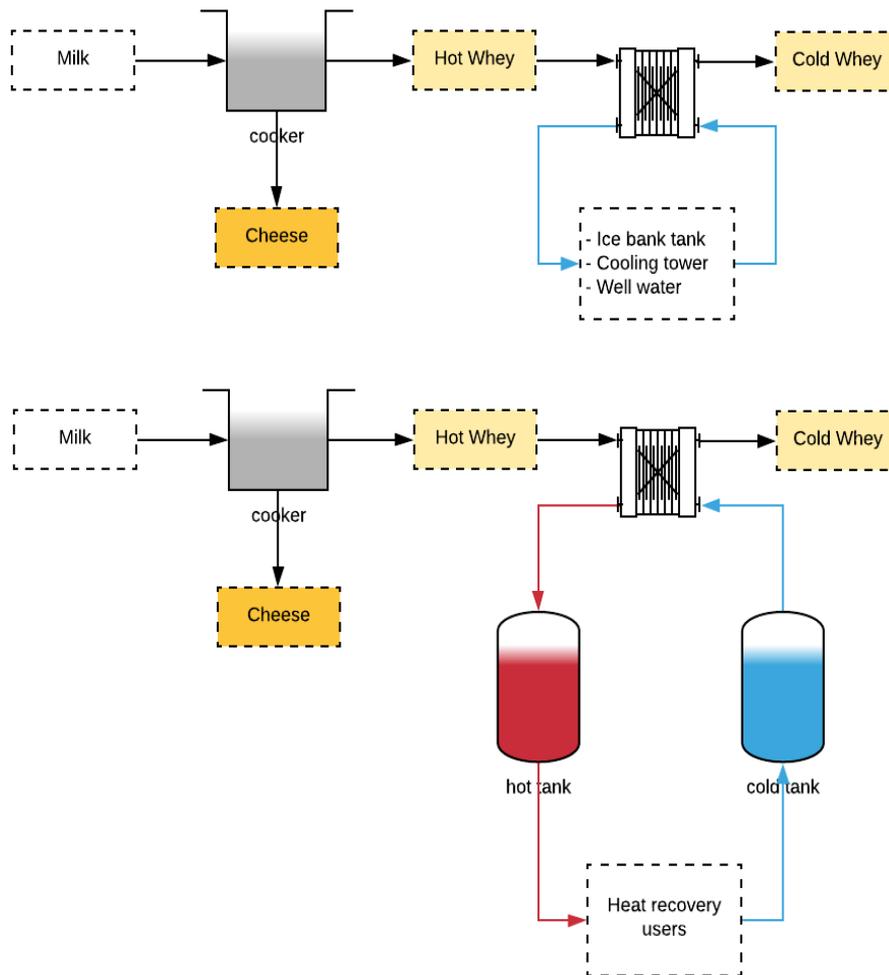


Figura 15. Configurazione raffreddamento siero in caseificio: senza (alto) e con (basso) recupero calore

La non contemporaneità dei processi impone la necessità di accumulare l'acqua del circuito di recupero in due serbatoi distinti, di volume opportuno (20 m³ per i più piccoli, fino a 70/100 m³ per i caseifici di grandi dimensioni).

Il funzionamento del sistema di recupero può essere riassunto nei seguenti passi:

- durante la fase di riempimento dei doppi fondi il serbatoio caldo si svuota, il fluido cede calore alle utenze e viene poi scaricato nel serbatoio freddo;
- nel momento in cui si attiva il processo di raffreddamento del siero avviene il procedimento opposto, ovvero il serbatoio freddo si svuota, il fluido assorbe il calore del siero e viene poi scaricato nel serbatoio caldo.

Alcuni caseifici analizzati nell'ambito del progetto Life TTGG [11] hanno già implementato il recupero di calore dal siero. Tuttavia, non è mai stata riscontrata l'applicazione della configurazione ottimale: in alcuni casi la sezione di recupero termico viene posta a valle del raffreddamento in torre, il che risulta in uno "spreco di calore nobile" a più alta temperatura, per utilizzare calore a più bassa temperatura di più difficile integrazione; in altri casi, dove il recupero di calore viene fatto a partire dal siero a 54 °C, si riscontra che il sistema non è bilanciato, in quanto l'unica utenza del caldo recuperato (il preriscaldamento del latte in ingresso alle caldaie) non esaurisce il calore disponibile dal siero, che viene quindi periodicamente disperso attraverso l'aggiunta di acqua fredda e conseguente "spurgo" di acqua calda dai serbatoi del sistema di recupero.

Il recupero di calore dal raffreddamento del siero costituisce un elemento fondamentale nel determinare i consumi specifici di calore [kWh/kg di latte lavorato]. Dei 18 caseifici analizzati nel progetto Life TTGG [11], 4 dei 5 caseifici a minor consumo specifico adottano un sistema di recupero di calore dal siero.

La configurazione possibile per l'integrazione di un accumulo con PCM è riportata in Figura 16.

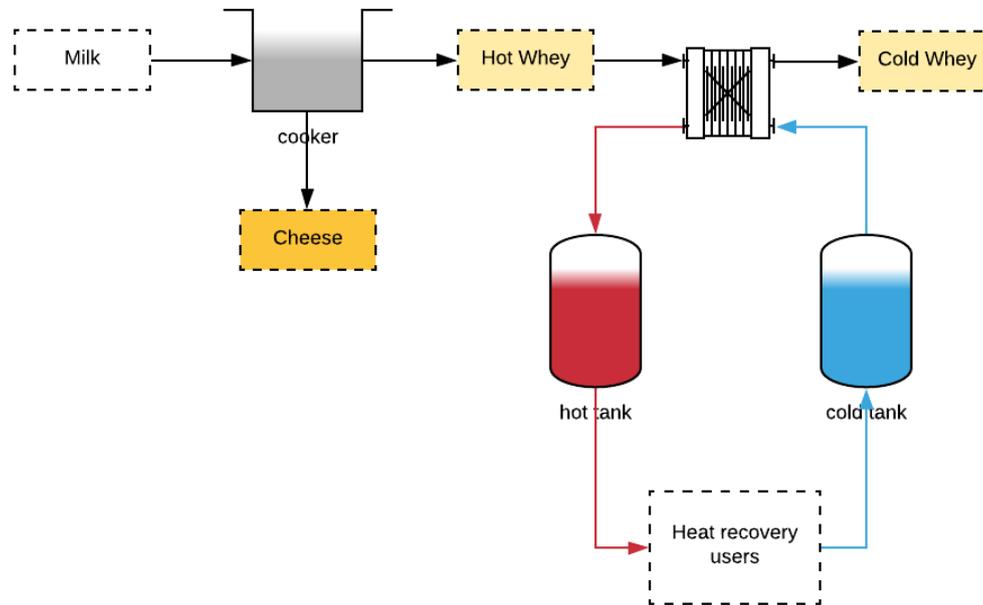


Figura 16. Configurazione per recupero calore dal siero in caseificio, con integrazione di accumulo PCM

La frapposizione del serbatoio con PCM in serie all'accumulo di acqua calda (a monte di questo) non è vantaggiosa, viene infatti penalizzata la temperatura disponibile per il recupero (immaginando che il calore possa essere recuperato a circa 35°C).

2.5.2 Dissipazione di calore da sistemi cogenerativi presenti in caseifici

La tipologia di cogeneratore che si incontra solitamente nei caseifici è il motore a combustione interna. Il recupero termico dal cogeneratore si concretizza secondo due modalità:

- produzione di vapore: sfruttando il calore ad alta temperatura dei fumi di scarico, è possibile generare vapore, che va ad integrarsi nella linea del vapore generato dalle caldaie di backup;
- produzione di acqua calda: dal raffreddamento della camicia del motore, quindi a temperatura più bassa, è possibile produrre acqua calda a una temperatura variabile tra 75°C e 90°C.

Il vapore da cogenerazione è facilmente integrabile e riutilizzabile nel processo produttivo, dato che già le utenze del caseificio sono originariamente pensate per essere alimentate a vapore. Nei casi osservati, la totalità del calore disponibile sotto forma di vapore viene recuperata.

L'utilizzo dell'acqua calda da cogenerazione risulta invece più complicato, richiedendo modifiche al layout impiantistico: deve infatti essere realizzata una rete di distribuzione dell'acqua calda che vada ad alimentare tutte le utenze individuate, e a ridosso di ognuna di queste è necessario installare uno scambiatore di calore, spesso posto a monte dell'esistente scambiatore alimentato a vapore che funge da backup. Nei casi analizzati, la quota di dissipazione del calore recuperabile raggiunge quote del **68%**.

Si riportano di seguito i risultati delle stime del calore di cogenerazione dissipato in due stabilimenti lattiero caseari lombardi. La situazione analizzata è piuttosto comune ed è riscontrabile nella nostra esperienza in diversi settori industriali.

2.5.2.1 Stabilimento 1

Nello stabilimento 1 si trova un cogeneratore a gas da 2.6 MW_e installato nei primi anni del 2000. Di seguito, i dati nominali da scheda tecnica:

- Potenza elettrica: 2.682 kW_e (eff. 44.3%)
- Totale termico: 2.550 kW_t (eff. 42.1%)
 - 1.026 kW_t vapore 8 bar
 - 1.524 kW_t acqua calda

Nella seguente tabella vengono riassunti i risultati mensili relativi al consumo di gas, alla produzione elettrica e termica e alle relative efficienze (PCI del gas utilizzato 9.80 kWh/Sm³).

Tabella 28. Risultati mensili cogenerazione stabilimento 1

Mese	Elettrica MWh _e	AC_rec MWh _t	VAP MWh _t	GAS kSm ³	eff_Ele	eff_Vap	eff_AC	eff_Tot
Gen	1.205	329	528	291	42%	19%	12%	72%
Feb	1.078	296	469	261	42%	18%	12%	72%
Mar	1.262	349	542	305	42%	18%	12%	72%
Apr	1.236	307	518	300	42%	18%	10%	70%
Mag	1.398	314	562	338	42%	17%	9%	69%
Giu	1.344	264	534	323	42%	17%	8%	68%
Lug	1.807	314	701	436	42%	16%	7%	66%
Ago	1.809	316	690	434	42%	16%	7%	66%
Set	1.736	335	693	432	41%	16%	8%	65%
Ott	1.670	286	724	400	43%	18%	7%	68%
Nov	1.609	305	693	391	42%	18%	8%	68%
Dic	1.528	308	689	377	41%	19%	8%	68%
Anno	17.684	3.722	7.342	4.288	42%	17%	9%	68%

Si nota una variazione di funzionamento a partire dall'inizio del mese di luglio, in cui sia il consumo di gas che la produzione di energia elettrica (totalmente auto consumata) e vapore subiscono un sensibile incremento, mentre il recupero termico sotto forma di acqua calda rimane sostanzialmente invariato. Questo significa che, mentre è ancora disponibile capacità di integrazione dell'energia elettrica e del vapore prodotto, lo sfruttamento dell'acqua calda ha raggiunto il suo livello di saturazione.

Considerando che la quota di recupero potenziale sotto forma di acqua calda è pari a circa il 25% dell'energia termica in ingresso (gas metano), si ottiene una dissipazione media del 17% dell'energia termica in ingresso, ovvero del 68% dell'acqua calda potenzialmente producibile. Considerando il funzionamento del cogeneratore registrato dal mese di luglio in poi (pieno carico e considerando la dipendenza della dissipazione dalla temperatura esterna, si stimano circa **8.1 GWh/anno** di calore dissipato totale, a cui corrisponde un indicatore della quota di dissipazione di acqua calda di **3,11 GWh/anno/MW_e** di installato.

I seguenti grafici in Figura 17 e Figura 18 mostrano la dissipazione per due settimane tipo (invernale ed estiva). Si nota nella settimana di agosto che nelle ore notturne la dissipazione raggiunge picchi del 100%.

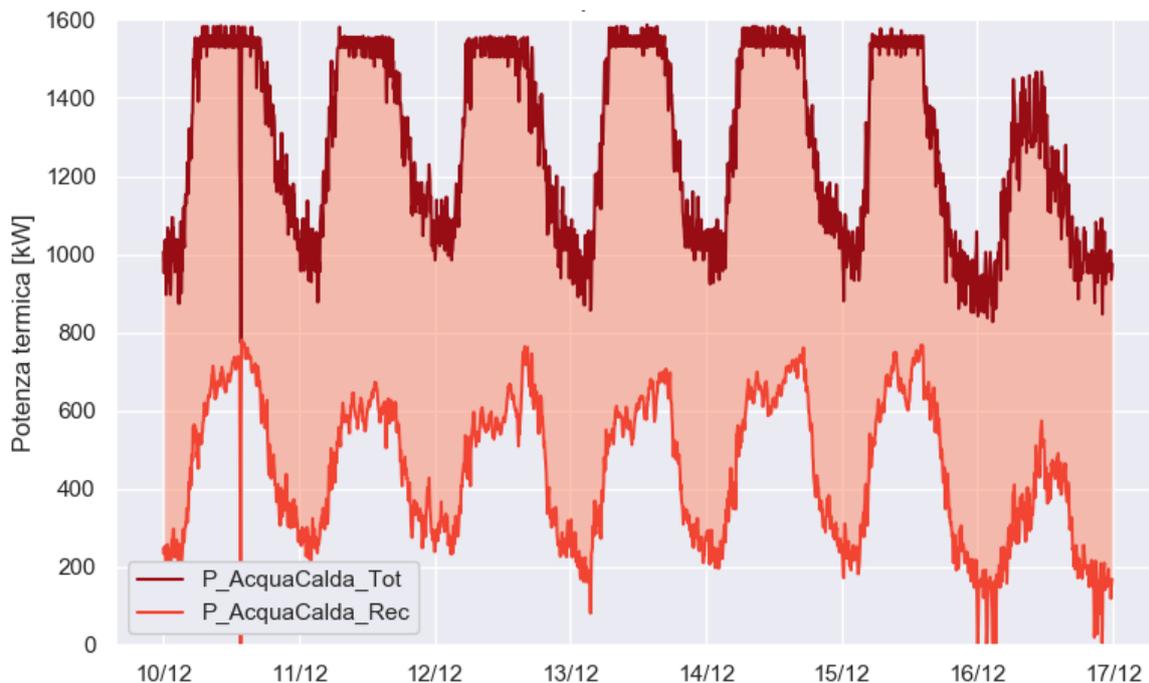


Figura 17. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, dicembre

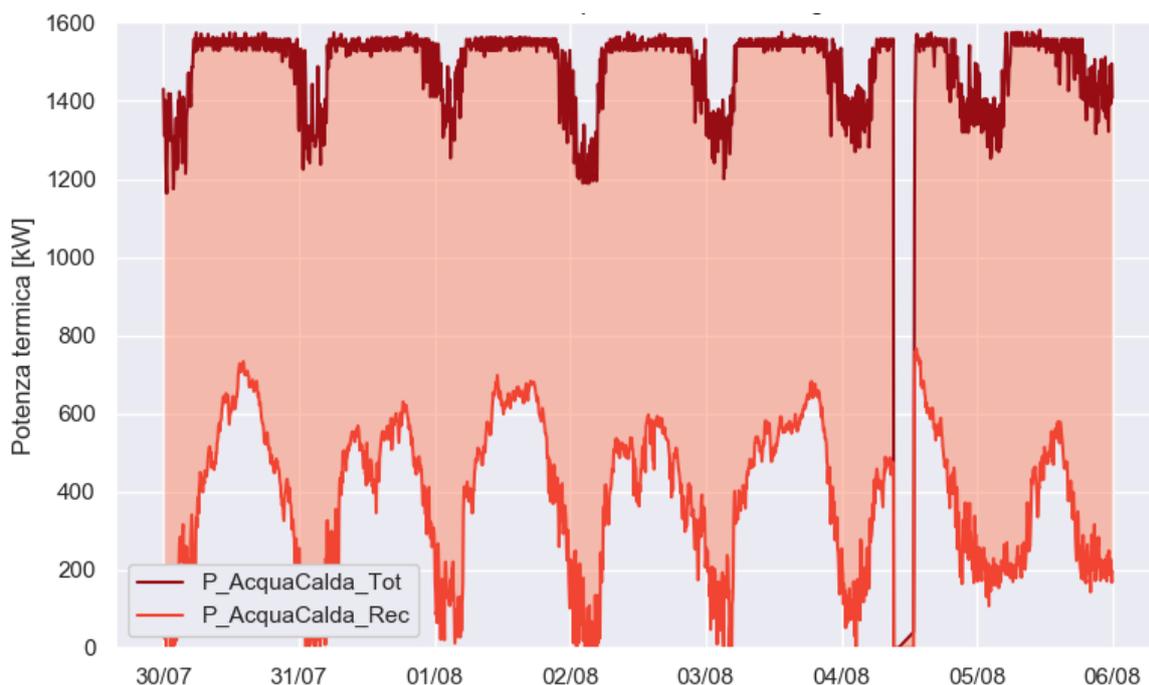


Figura 18. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, agosto

2.5.2.2 Stabilimento 2

Nello stabilimento 2 si trovano due cogeneratori da 320 kW_e l'uno. Si elencano i dati nominali riferiti al complesso dei cogeneratori:

- Potenza elettrica: $320 + 320 = 640 \text{ kW}_e$
- Produzione acqua calda: $344+344 = 688 \text{ kW}_t$

- Produzione di vapore: $125,05 + 125,05 = 251 \text{ kW}_t$

Nelle seguenti tabelle vengono riassunti i risultati mensili relativi al consumo di gas, alla produzione elettrica e termica e alle relative efficienze (PCI del gas utilizzato $9.80 \text{ kWh}_t/\text{Sm}^3$).

Tabella 29. Risultati mensili cogenerazione dello stabilimento 2

Mese	GAS_CHP 1 kNm ³	GAS_CHP 2 kNm ³	EE_CHP 1 MWh _e	EE_CHP 2 MWh _e	AC_CHP 1 MWh _t	AC_CHP 2 MWh _t	VAP_CH P MWh _t
Gen	62	70	197	208	199	249	130
Feb	52	62	171	191	170	223	103
Mar	58	70	189	223	177	245	121
Apr	61	71	196	222	181	221	133
Mag	66	-	210	-	236	-	62
Giu	68	47	216	145	152	102	117
Lug	71	0	234	0	255	0	47
Ago	67	38	216	38	173	109	37
Set	54	71	162	212	162	218	41
Ott	58	73	176	228	178	246	20
Nov	67	72	212	215	173	238	34
Dic	67	50	205	152	185	176	32
Anno	751	624	2385	1833	2241	2026	877

Tabella 30. Risultati mensili efficienza di cogenerazione dello stabilimento 2

Mese	e _{EE} CHP1	e _{AC} CHP1	e _{VAP} CHP1	e _{TOT} CHP1	e _{EE} CHP2	e _{AC} CHP2	e _{VAP} CHP2	e _{TOT} CHP2
Gen	32%	32%	10%	73%	30%	36%	10%	75%
Feb	33%	33%	9%	74%	31%	36%	9%	76%
Mar	33%	31%	9%	73%	32%	35%	9%	77%
Apr	32%	30%	10%	72%	31%	31%	10%	73%
Mag	32%	36%	9%	77%	-	-	9%	-
Giu	32%	22%	10%	64%	31%	22%	10%	62%
Lug	33%	36%	7%	75%	-	-	-	-
Ago	32%	26%	4%	62%	10%	28%	4%	42%
Set	30%	30%	3%	63%	30%	31%	3%	64%
Ott	30%	31%	2%	63%	31%	34%	2%	66%
Nov	31%	26%	2%	60%	30%	33%	2%	65%
Dic	31%	28%	3%	61%	30%	35%	3%	68%
Anno	32%	30%	6%	68%	29%	32%	6%	68%

I dati di dettaglio, di cui si mostra l'esempio dell'andamento di una settimana del 2017 nel grafico seguente, mostrano che la produzione elettrica dei cogeneratori, quando funzionano a pieno carico, è in linea con i dati nominali (320 kW_e ciascuno). Il recupero termico risulta

essere sensibilmente sbilanciato in favore del circuito di acqua calda, la produzione del vapore è leggermente inferiore a quanto atteso, anche a pieno carico elettrico.

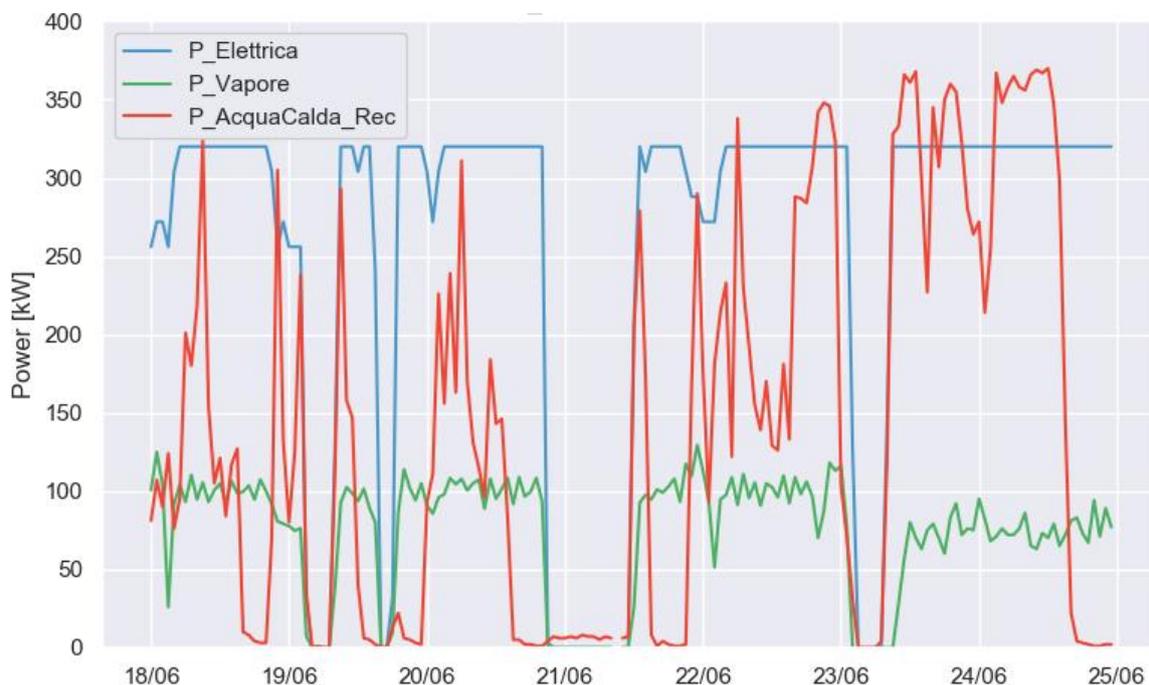


Figura 19. Andamento orario di produzione del cogeneratore

La seguente tabella mostra i risultati mensili della stima del calore dissipato, evidenziando a giugno 2017 una quota di dissipazione pari al 41% del calore totale disponibile per produzione di acqua calda.

Tabella 31. Calore dissipato dal cogeneratore

Mese	Dissipato kWh _t	Recuperat o kWh _t	Totale kWh _t	Dissipato %
Marzo	64'297	418'072	482'369	13%
Giugno	180'871	255'238	436'109	41%

Le seguenti figure mostrano la dissipazione termica per due settimane tipiche, relative al mese di marzo e giugno.

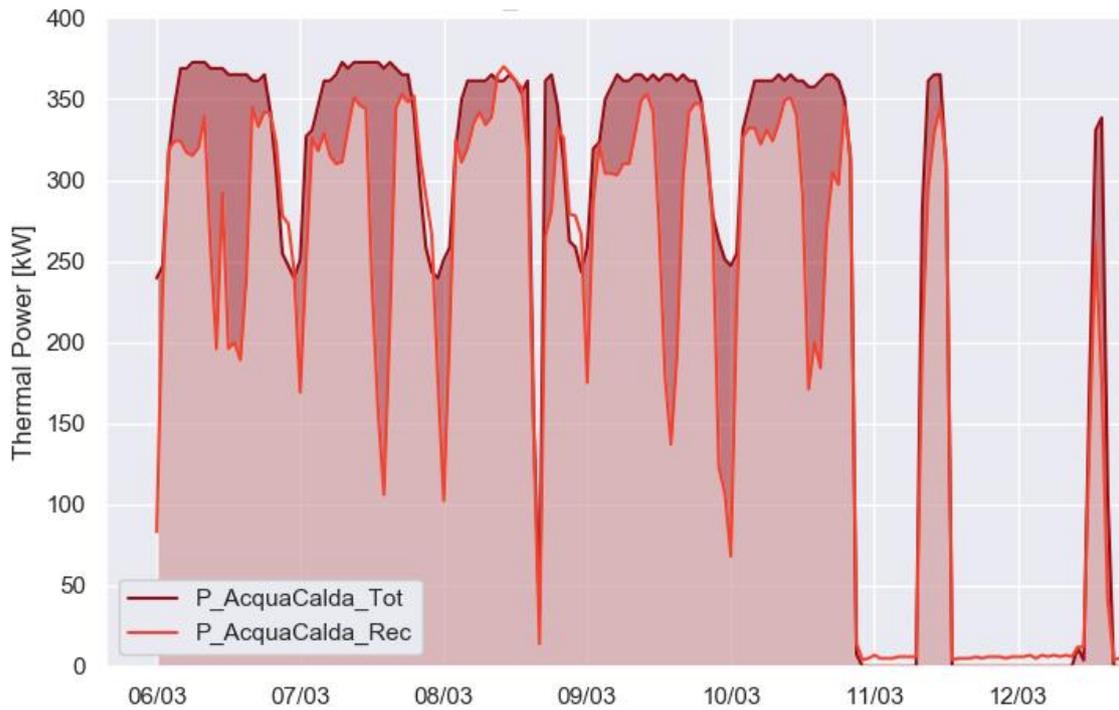


Figura 20. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, marzo

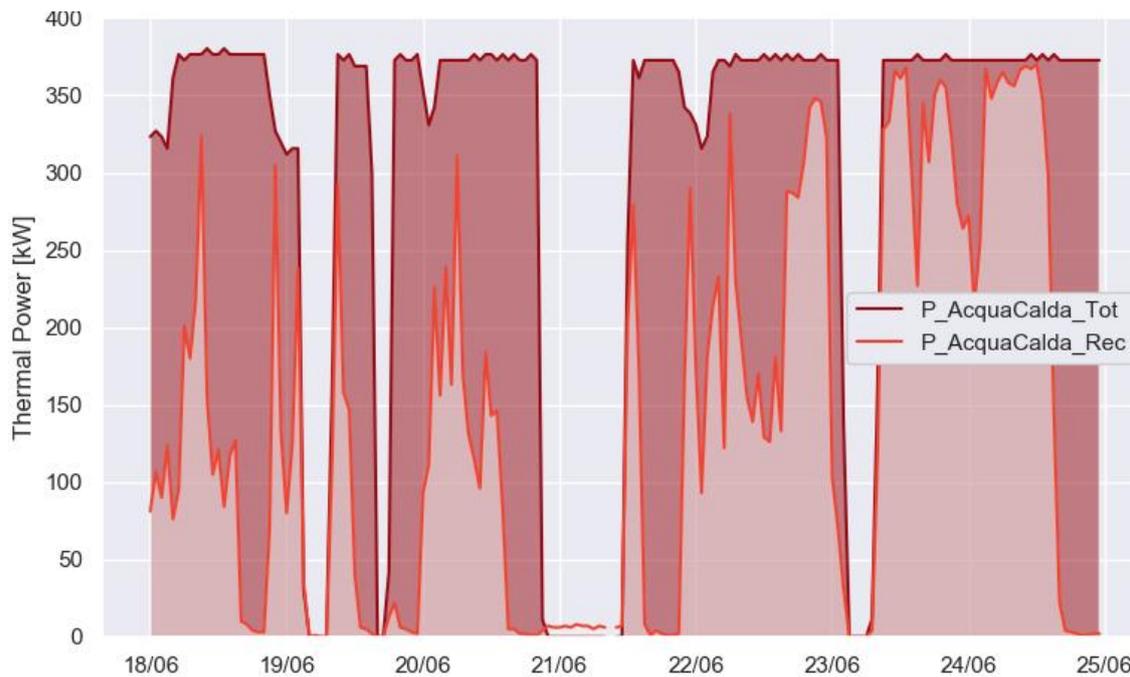


Figura 21. Acqua calda potenzialmente producibile e acqua calda recuperata dal cogeneratore, giugno

Le seguenti figure mostrano invece l'analisi della dissipazione come media oraria giornaliera. Questa vista risulta molto interessante perché permette di identificare i periodi della giornata in cui tipicamente il recupero termico dal cogeneratore non viene sfruttato. In questo modo, il responsabile tecnico dell'impianto è in grado di capire se in quegli stessi momenti possono esserci delle lavorazioni ad oggi alimentate a vapore che possono essere invece alimentate con l'acqua calda recuperata dal cogeneratore. Nel mese di marzo i picchi di dissipazione si notano di notte tra le 23:00 e le 01:00 e di giorno tra le 13:00 e le 15:00. Nel mese di giugno, fatta eccezione per le ore che corrispondono alla produzione (mattino), la dissipazione è sempre presente in modo importante.

Complessivamente si stimano circa **1,5 GWh/anno** di calore dissipato totale, a cui corrisponde un indicatore della dissipazione di acqua calda di **2,34 GWh/anno/MW_e** di installato.

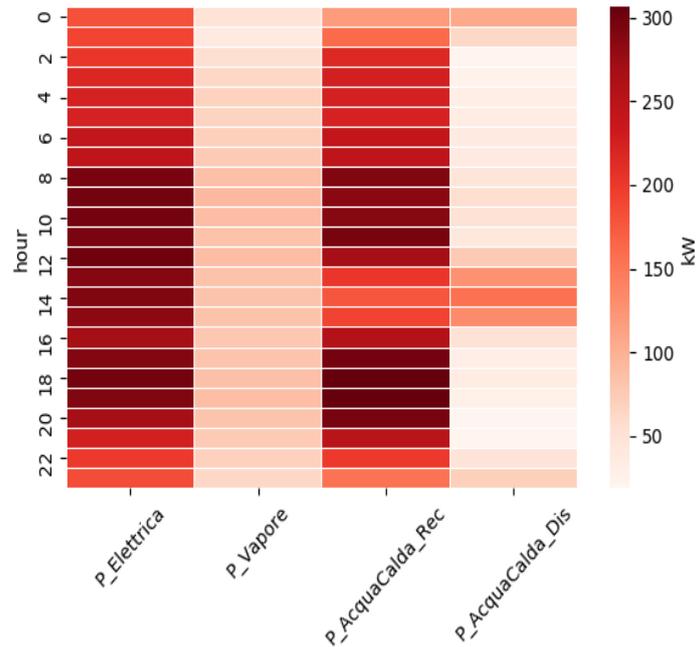


Figura 22. Potenze medie orarie giornaliere relative a un cogeneratore, mese di marzo

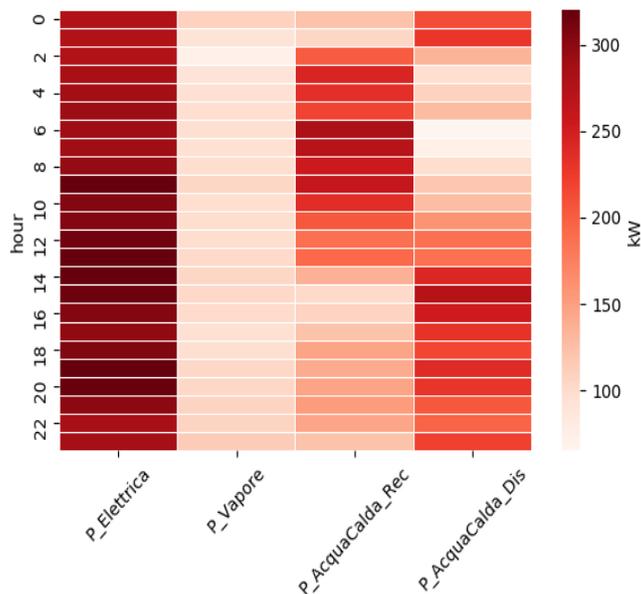


Figura 23. Potenze medie orarie giornaliere relative a un cogeneratore, mese di giugno

2.5.2.3 Stabilimento 3

Il terzo stabilimento analizzato è uno dei siti italiani di un Grande multinazionale dell'alimentare. La situazione riscontrata è decisamente migliore delle precedenti. L'impianto ha 2 cogeneratori per complessivi 4 MWe di potenza installata. La rete di acqua calda serve numerose utenze di stabilimento (più di 20), alcune di queste sono accumuli di acqua calda per usi di processo e lavaggio. La dissipazione attuale è di circa 0.35 GWht/MWe, di un ordine di grandezza inferiore rispetto ai due casi precedenti, grazie all'attenzione posta al dimensionamento del sistema in fase di progettazione dell'impianto e alla gestione oculata delle macchine e dei carichi differibili. Si evidenzia come sia possibile

ridurre ulteriormente tale dissipazione, portandosi ad un valore di circa 0,15-0,2 GWh/MWe 1 con modifiche nella gestione della temperatura di ritorno sul circuito di distribuzione.

2.5.3 Recupero termico in fase di riscaldamento e raffreddamento della resina liquida

L'esempio si riferisce ad uno stabilimento chimico di produzione di resine ureiche e melamminiche. Il processo avviene in otto reattori per la produzione della resina di alta qualità e colle.

La soluzione acquosa di Formaldeide o pre-condensato (UFC) viene alimentata direttamente ai reattori di produzione delle resine tramite delle tubazioni; l'Urea e la Melammina sono alimentate allo stato solido con coclee e nastri trasportatori; ogni reattore è dotato di un sistema di recupero degli sfiati, i quali sono poi convogliati agli impianti di abbattimento.

I reattori di produzione delle resine sono a pressione atmosferica, il calore non viene recuperato; si richiede energia solo per innescare la reazione che è fortemente esotermica e si sostiene da sola una volta avviata. Si innesca portando il liquido fino a 85°C, da una Temperatura di partenza di 15°C in inverno e 35°C in estate.

Segue una fase di raffreddamento per riportare la resina a Temperatura ambiente (leggermente superiore in alcuni casi). Il raffreddamento avviene:

- in torre di raffreddamento per le resine ureiche;
- con frigorifero per le resine melamminiche (necessitano di un raffreddamento veloce, per interrompere la reazione).

Il volume di resine liquide prodotte nello stabilimento di esempio è mostrato in Figura 24.

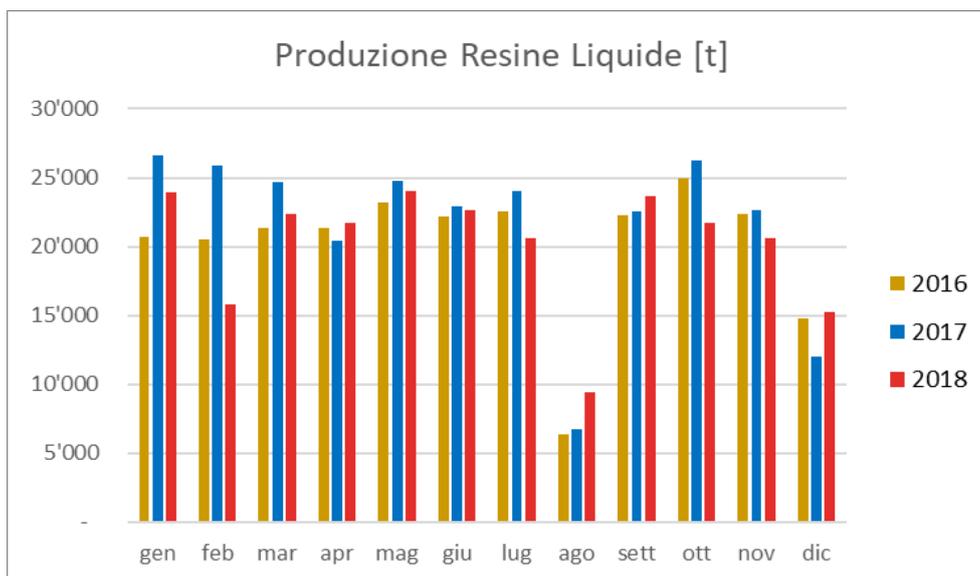


Figura 24. Produzione di resine liquide nello stabilimento di produzione resine d'esempio

Si analizza un possibile intervento di efficienza energetica, che consiste nell'installazione di uno scambiatore acqua tecnica/resina liquida e di n°2 serbatoi di acqua tecnica (uno freddo a 45°C; uno caldo a 85-90°C). L'acqua tecnica calda preriscalda la resina liquida con riduzione del fabbisogno di vapore; l'acqua così raffreddata viene accumulata in un serbatoio freddo e riscaldata in un secondo momento con vapore di dissipazione o altri possibili recuperi termici. Si prevede un risparmio del 72% del consumo di gas attuale delle caldaie. Nella nuova configurazione, si ipotizza che la regolazione del sistema di recupero avvenga sulla base delle informazioni di processo e della predizione del fabbisogno energetico nelle ore successive, per smussare il picco di consumo del reparto Resine liquide

(fabbisogno differibile) spostandolo in ore nelle quali il resto dello stabilimento abbia un fabbisogno di calore inferiore.

La produzione di resine è l'unico processo batch dello stabilimento. Il processo richiede un fabbisogno di calore a bassa temperatura ma molto intensivo, stimato tra 11 e 16 GWh/a.

Sono presenti tre picchi di consumo, corrispondenti all'inizio dei tre turni. Durante il giorno ci sono dei momenti quando il vapore recuperato non basta e serve l'integrazione delle caldaie, e altri dove c'è un eccesso di vapore a bassa pressione, scaricato in atmosfera: nel 2018, sono state stimate circa 30'000 t di vapore, cioè 21 GWh/a fino a 40°C.

Volume annuale di resine liquida: 241.696 t da riscaldare fino a 85°C. Ipotesi di preriscaldamento fino a 65°C con un salto termico medio di circa 40°C, con un risparmio stimato in circa 11 GWh/a.

Ipotesi di risparmio di 220.000 Sm³ (1.9 GWh/a) di gas della caldaia, i rimanenti 9 GWh/a di vapore a media pressione sono disponibili per altri usi di calore di processo.

Per realizzare l'intervento sono necessari due serbatoi di acqua tecnica (uno freddo a 45°C e uno caldo a 85-90°C). Non è possibile dimensionare correttamente il volume del serbatoio senza i tempi e le portate di fluido che dovranno essere rilevate per alcune giornate rappresentative della produzione. Si sono ipotizzati tre cicli di 3 ore al giorno, e quindi la necessità di due serbatoi da 80 m³ e da 50 m³, dal costo rispettivamente di € 80.000 e € 50'000.

Serve poi uno scambiatore di calore acqua tecnica/resina liquida in acciaio inox, di potenza circa 1000 – 1500 kW_t, con un costo stimato in € 30'000; e infine tubazioni, pompe, regolazione, impianti elettrici, con una spesa aggiuntiva stimata nel 20% del costo d'investimento.

Complessivamente si stima un investimento di € 192.000.

In alternativa al lay-out proposto, è possibile utilizzare un accumulo PCM, con temperatura di fusione di circa 70°C. In questo caso è sufficiente un unico accumulo, alimentato sia dal calore, sia dal vapore di recupero e utilizzato per preriscaldare la resina, come nell'ipotesi sopra descritta. Questa è un'applicazione interessante dell'accumulo a PCM, perché non vi è la necessità concomitante di raffreddare un fluido di processo (come era invece nel caso del raffreddamento del siero nella produzione di formaggio Grana Padano DOP).

Nel caso specifico, si ha inoltre un grande vantaggio dato dalla compattezza della soluzione con accumulo con materiale a cambiamento di fase. Si ha infatti un solo accumulo rispetto ai due necessari con la soluzione "standard", di minore dimensione (*compattezza, spazi, vicinanza con il processo, riduzione delle dispersioni*),

con maggiore sicurezza e stabilità di funzionamento).

2.6 Potenzialità di introduzione di sistemi d'accumulo termico LHTES

Visto i risultati ottenuti con le analisi di cui ai precedenti *Paragrafi 2.2 e 2.3*, è possibile provare a determinare, come ordini di grandezza, le potenzialità di recupero di calore e l'apporto che gli accumuli termici possono dare nell'industria manifatturiera; si tratta di valutazioni che andranno prese a puro titolo indicativo, basandosi su valutazioni potenziali per macro-settore e su ipotesi di prima approssimazione.

2.6.1 LHTES per facilitare il recupero termico del calore di scarto industriale

2.6.1.1 L'utilizzo del calore alle diverse temperature nell'industria manifatturiera

Considerando le analisi di cui al *Paragrafo 2.3* sui singoli settori dell'industria manifatturiera, si può pensare di ipotizzare una suddivisione dei consumi termici per i principali settori fra i diversi livelli di temperatura.

Le percentuali di suddivisione come visto, non derivano da un'analisi quantitativa, ma da una valutazione qualitativa; l'obiettivo è dare un ordine di grandezza alle quantità, non una stima precisa della situazione italiana. I risultati sono riportati in Tabella 32.

Tabella 32. Stima consumi termici per livello di temperatura

Classificazione		Consumi di energia 2018 (kTep primari)			IPOTESI quota per livello di temperatura			Consumi termici per livello di temperatura (kTep primari)		
BEN	ATECO	Termici	Calore acquisito	% consumi	Bassa 10-150°C	Media 150-400°C	Alta > 400°C	Bassa 10-150°C	Media 150-400°C	Alta > 400°C
Alimentare, Bev. e Tab.	10, 11, 12	1.723	382	22,2%	>80%	<20%	<10%	1400-1700	100-300	50-150
Tessile, Abbigl. e Calzat.	13, 14, 15	686	39	5,7%	>85%	<10%	<5%	600-650	30-70	10-30
Cartaria e Grafica	17, 18	1.332	666	50,0%	>80%	<20%	<5%	1100-1300	100-250	20-50
Chimica e Farmaceutica	20, 21	2.034	633	31,1%	10-40%	20-50%	30-60%	300-700	500-900	700-1100
Ceramiche e Vetrarie	23.1/4	3.531	147	4,2%	<10%	<10%	>90%	50-200	50-200	3200-3500
Altri materiali da costr.	23.2/3/5-9									
Siderurgico	24.1/2/3/51/52	2.000	90	4,5%	<10%	<10%	>90%	50-150	50-150	1800-2000
Metalli non ferrosi	24.4/53/54	497	0	0,1%	<10%	<10%	>90%	10-30	10-30	450-480

Fonte: Ipotesi su dati BEN e letteratura di settore, in particolare i BREF della Commissione Europea

A seconda della temperatura ottimale di funzionamento dei TES, sono messi in evidenza i settori su cui porre maggiore attenzione per le potenziali di diffusione:

- LTTES, accumuli termici a **bassa temperatura**, di norma fra 10°C e 150/200°C: principalmente Alimentare, Cartario e Tessile (per la gran parte delle lavorazioni), ma anche Chimico (prodotti organici), oltre che per il riscaldamento degli ambienti in tutti i settori.
- MTTES, accumuli termici a **media temperatura**, con temperature tra i 150/200°C e i 250/400°C: principalmente Chimico (in particolare per prodotti organici), ma anche Alimentare (distillazione, essiccazione, tostatura, cottura) e Cartario (asciugatura/essiccazione).
- HTTES, accumuli termici ad **alta temperatura**, di norma superiori ai 250/400°C: teoricamente le maggiori necessità appaiono dei settori della lavorazione dei Metalli (principalmente Siderurgico) e dei Minerali non metalliferi (Vetro, Ceramica e Materiali da costruzione), ma è da considerare che essendo tendenzialmente lavorazioni a ciclo continuo è pensabile che le necessità di accumulo siano scarse; è quindi più probabile l'interesse nel settore Chimico (in particolare per prodotti inorganici).
- CTES, accumulo termico del **freddo**, con temperature inferiori ai 20°C: nell'industria Alimentare e Chimica, compreso la distribuzione, oltre che in generale per il raffrescamento degli ambienti.

2.6.1.2 Potenzialità di riutilizzo del calore di scarto industriale e ruolo degli accumuli termici

Il calore di scarto da processi industriali è un vettore energetico legato alle inefficienze del processo produttivo e alle limitazioni termodinamiche insite nello sfruttamento del calore prodotto.

Il GSE in [12] ha stimato nel 2016 la “disponibilità di calore di scarto da siti industriali”, basandosi su dati di consumo energetico del 2013; è stata utilizzata una procedura di calcolo basata sul lavoro presentato in [13]; sono stati applicati ai consumi termici dei siti industriali dei fattori di sfruttamento potenziale dell’energia consumata, calcolando in tal maniera il calore di scarto teorico disponibile.

Visto che i parametri riportati in [13] fanno riferimento a studi condotti in UK, Svezia, Norvegia e a studi europei non precisamente tarati sulla situazione italiana, e considerata l’indisponibilità di dati puntuali che possano permettere di conoscere con estrema precisione il dato dei consumi energetici di ogni sito industriale, il GSE precisa che “*i valori ottenuti devono essere letti a puro titolo indicativo*”.

In ogni caso, prendendo come riferimento le percentuali calcolate dal GSE, per il potenziale di recupero e sfruttamento del calore, e applicandole ai consumi termici disponibili per il 2018, si può ottenere un ordine di grandezza attualizzato per ogni settore manifatturiero; i risultati sono riportati in Tabella 33.

Tabella 33. Stima del potenziale di recupero termico nell’industria manifatturiera italiana

Classificazione		Consumi Termici 2018 kTep	Fattore di recupero potenziale	Recupero potenziale di energia termica	
BEN	ATECO			kTep	GWh _t
Industria manifatturiera		14.019		1.852	21.522
	Alimentare, Bevande, Tabacco	1.723	7%	121	1.402
	Tessile, Abbigl. e Calzature	686	14%	96	1.117
	Legno	237	7%	17	193
	Cartaria e Grafica	1.332	7%	93	1.084
	Chimica e Farmaceutica	2.034	7%	142	1.655
	Ceramiche e Vetrarie	23.1/4		706	8.210
	Altri materiali da costruzione	23.2/3/5-9	20%		
	Siderurgico	24.1/2/3/51/52	15%	300	3.488
	Metalli non ferrosi	24.4/53/54	20%	99	1.154
	Meccanica e Mezzi di trasporto	25-...-30	14%	247	2.868
	Altre industrie manifatturiere	22, 31, 32	14%	30	352

Fonte: Elaborazioni su dati dati BEN, GSE, JRC

Come ci si poteva aspettare i maggiori potenziali si hanno nei settori della lavorazione dei Metalli e dei Materiali non metalliferi; valori comunque significativi si ottengono anche per i settori Alimentare, Tessile, Cartario e Chimico.

Si rimarca come questi valori riguardano potenziali tecnici, indicativamente interpretabili come potenziali “massimi” con le attuali tecnologie, ed inoltre come i coefficienti di recupero siano stati calcolati circa 10 anni fa, quindi una parte di potenziale ad oggi sia già stato acquisito; questo significa che da una parte i risparmi che si potranno effettivamente ottenere con il recupero dell’energia termica dovrebbero essere inferiori, dipendendo sia dalla convenienza economica (recupero degli investimenti e disponibilità di capitali), sia dalla presenza di barriere applicative (organizzative, culturali e legate a problematiche di processo); dall’altra però, l’innovazione tecnologica e la riduzione dei costi delle tecnologie di risparmio energetico nei prossimi anni, potrebbero incrementare il potenziale di risparmio.

Come precedentemente evidenziato, i settori della lavorazione dei Metalli e dei Materiali non metalliferi hanno tendenzialmente produzioni a ciclo continuo, con grosse possibilità di recupero energetico, ma con scarsa necessità di sistemi di accumulo, vista la contemporaneità fra recupero e potenziale utilizzo; è inoltre da tenere presente che anche

in caso di necessità, le esigenze sono legate al calore ad alta temperatura, situazione nella quale i sistemi LHTES sono tendenzialmente non ancora ad un livello di sviluppo commerciale ottimale rispetto ai sistema SHTES.

Di seguito ci si concentrerà quindi sugli altri settori economici dell'industria manifatturiera, dove sono preponderanti i recuperi e le necessità di *calore a bassa e media temperatura*, e dove sono diffusi i casi di *non contemporaneità*.

In prima battuta si può ipotizzare che il potenziale di recupero stimato, si suddivida fra i diversi livelli di temperatura in proporzione ai consumi precedentemente stimati per ogni livello, ricordando che la stima era indicativa con un range di minimo e massimo per ogni valore.

È da considerare che in molti casi il calore recuperato è *immediatamente e localmente necessario*, e quindi non c'è bisogno di introdurre sistemi di accumulo, o perlomeno non sono necessarie *capacità significative*; solo per una parte del calore recuperabile dovrebbe essere necessaria, per il suo utilizzo, la presenza di sistemi di accumulo termico.

Inoltre, in tal caso, una buona parte delle necessità può essere soddisfatta in modo tecnologicamente semplice ed economicamente conveniente con sistemi SHTES; quindi, è necessario considerare che solo una quota del calore recuperabile che necessità di accumuli termici, può giovare dei vantaggi tecnologici e/o economici dati dall'utilizzo di sistemi LHTES; l'obiettivo è principalmente quello di superare le non contemporaneità fra disponibilità e necessità di calore recuperato.

Stimare quanto sia questa quota richiederebbe delle analisi molto dettagliate e specifiche sui diversi tipi di lavorazione, per le varie tipologie di stabilimenti, per le diverse dimensioni; si tratta di valutazioni che esulano dal presente studio, nel quale ci si è potuti giovare efficacemente di alcuni studi su stabilimenti campione, interessanti, ma che non hanno la pretesa di essere rappresentativi di tutte le situazioni.

Abbiamo quindi deciso di introdurre un range indicativo per stimare la quota di calore recuperabile (a bassa e media temperatura, nei settori prima evidenziati), che potrebbe necessitare di sistemi di accumulo LHTES, pari al 5-15% per il settore Cartario e al 10-30% per gli altri settori; i risultati della stima sono riportati in Tabella 34.

Tabella 34. Stima dell'energia termica recuperabile che può necessitare di sistemi LHTES

Classificazione		Recupero potenziale di energia termica (GWh _t)				Necessità di accumuli termici a calore Latente, LHTES	Quota che necessità di Accumuli termici LHTES (GWh _t)	
BEN	ATECO	Totale	di cui:	Bassa T 10-150°C	Media T 150-400°C		Bassa T 10-150°C	Media T 150-400°C
Alimentare, Bevande, Tabacco	10, 11, 12	1.402	min: max:	1.121 1.262	140 210	10% 30%	112 378	14 63
Tessile, Abbigliam. e Calzature	13, 14, 15	1.117	min: max:	950 1.061	56 112	10% 30%	95 318	6 34
Cartaria e Grafica	17, 18	1.084	min: max:	867 1.029	54 163	5% 15%	43 154	3 24
Chimica e Farmaceutica	20, 21	1.655	min: max:	248 579	414 745	10% 30%	25 174	41 223
Totale per i 4 settori		5.258	min: max:	3.186 3.932	664 1.229		275 1.025	64 344

2.6.1.3 Potenzialità di installazione per sistemi LHTES per il recupero del calore di scarto industriale

Per passare dalle quantità di calore recuperabile che può necessitare di sistemi LHTES per poter essere ottenuto efficacemente, alle capacità termiche di sistemi di accumulo da installare, è necessario introdurre ulteriori ipotesi.

Consideriamo la possibilità di recuperare mediamente il calore per 300 giorni all'anno; dalle quote di recupero annuale si può quindi passare alle quote di potenziale recupero giornaliero.

È necessario inoltre ipotizzare un numero medio di cicli di carica e scarica dell'accumulo, su cui suddividere tali quote di recupero giornaliero; si è ipotizzato mediamente 4 cicli giornalieri; la scelta è stata fatta innanzitutto considerando situazioni tipiche in fabbrica per i settori analizzati; inoltre è stato valutato il numero di cicli minimo affinché l'installazione di un sistema LHTES sia economicamente conveniente: con un'efficienza di carica-scarica dell'80%, un prezzo tipico di mercato di tali sistemi, compreso l'installazione, e un costo medio del gas naturale attorno ai 30 c€/Sm³ (come deriva dall'analisi compiuta nel *Paragrafo 2.2.3*), il numero minimo di cicli giornalieri per ottenere la convenienza economica (considerando i bassi tempi di ritorno accettabili solitamente dalle imprese), si aggira attorno a 3; quindi i casi con una necessità di accumulo più elevata, con un numero di cicli giornaliero minore, sono sicuramente più promettenti, ma è meno probabile che vengano attuati, visto il costo dell'intervento, più difficilmente ripagabile con i risparmi.

In definitiva, la **capacità complessiva di accumulo per sistemi LHTES installabili in Italia**, al fine di facilitare il **recupero energetico del calore di processo nel settore Manifatturiero** è stimabile, prudenzialmente, in:

- **300-1000 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore a Bassa temperatura, 10-150°C
- **100-300 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore a Media temperatura, 150-400°C

Rimarchiamo come queste siano valutazioni del tutto indicative, da prendersi come ordini di grandezza, da cui partire per eseguire eventuali studi di approfondimento.

2.6.2 LHTES per facilitare il recupero termico nella cogenerazione nel settore manifatturiero

Nel *Paragrafo 2.4* si è evidenziato come nell'industria manifatturiera gli impianti cogenerativi installati siano operati in maniera mediamente poco efficiente, con rendimenti termici non ottimali e quindi con elevate dissipazioni di calore che potrebbero essere recuperate; se per l'industria manifatturiera si può stimare un rendimento termico medio attorno al 30%, si è visto che a fronte di parte degli impianti gestiti in modo ottimizzato, ne esistono parecchi con dissipazioni termiche elevate e potenzialmente recuperabili.

La situazione è confermata negli stabilimenti da noi analizzati, due dei quali sono stati descritti nel *Paragrafo 2.5.2*; in questi due esempi il 42% e il 68% del calore recuperabile veniva in realtà dissipato, con indici di dissipazione di 2,3 e 3,1 GWh_t/anno/MW_e installato.

I motivi per cui il calore dissipato è ancora elevato nella cogenerazione industriale, possono essere parecchi; i principali:

- scarsa attenzione all'ottimizzazione nella gestione degli impianti, per mancanza di priorità o per non adeguata preparazione dei gestori;
- problematiche impiantistiche, legate ad una non adeguata progettazione all'origine del sistema di recupero del calore, che può determinare dissipazioni forzate per evitare surriscaldamenti;
- non adeguatezza del sistema di distribuzione e riutilizzo del calore in fabbrica, che è sottodimensionato rispetto alle potenzialità di utilizzo;
- non contemporaneità fra disponibilità di calore recuperabile e necessità di processo.

Le prime tre problematiche necessitano di interventi impiantistici, gestionali e formativi nelle aziende.

Per la non contemporaneità si può intervenire in due modi:

- riprogrammare parte delle lavorazioni in modo da far coincidere necessità di energia elettrica e termica, sfruttando la differibilità di alcune operazioni (si veda ad esempio quanto riportato in Tabella 26 per i caseifici);
- installare opportuni sistemi di accumulo termico.

Nel caso di necessità di accumuli termici, una buona parte delle necessità può essere soddisfatta in modo tecnologicamente semplice ed economicamente conveniente con sistemi SHTES; quindi, è necessario considerare che solo una quota del calore recuperabile che necessita di accumuli termici, può giovare dei vantaggi tecnologici e/o economici dati dall'utilizzo di sistemi LHTES.

Dalle analisi svolte nel *Paragrafo 2.4.2* si è visto che potenzialmente si può incrementare il rendimento di recupero termico di dieci punti percentuali; ipotizzando che con i sistemi LHTES si possa contribuire ad 1 punto percentuale di questo incremento, si può stimare in via preliminare che il calore di conseguenza potenzialmente recuperabile sia dell'ordine di 1 TWh_t, considerando l'attuale presenza di impianti di cogenerazione; considerando le potenzialità di espansione CAR riportate nel *Paragrafo 2.4.2* ed estrapolandole all'intera cogenerazione industriale (anche non CAR), si può arrivare a circa 2 TWh_t, nel caso del potenziale tecnico, e circa **1,5 TWh_t**, nel caso del potenziale economico; l'ultima stima è forse la più adatta da considerare guardando agli sviluppi possibili nei prossimi anni.

Tale calore, sia sotto forma di acqua calda che sotto forma di vapore, è da considerarsi nella categoria di **calore a bassa temperatura** prima definita, (10-150°C).

Anche in questo caso, per passare dalle quantità di calore recuperabile che può necessitare di sistemi LHTES per poter essere ottenuto efficacemente, alle capacità termiche di sistemi di accumulo da installare, è necessario introdurre ulteriori ipotesi. Consideriamo precauzionalmente, la possibilità di recuperare mediamente il calore per 300 giorni all'anno e un numero medio di cicli giornalieri di carica e scarica dell'accumulo pari a 3.

In definitiva, la **capacità complessiva di accumulo per sistemi LHTES installabili in Italia**, al fine di facilitare il **recupero energetico del calore dissipato da impianti cogenerativi nel settore Manifatturiero** è stimabile, prudenzialmente, in:

- **1500 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore a Bassa temperatura, 10-150°C

A

valori dello stesso ordine di grandezza per la cogenerazione si arriva anche procedendo con un approccio bottom up, partendo dall'analisi di tre cogeneratori in tre industrie alimentari italiane.

Mentre nei primi due casi analizzati, dove vi sono ancora ampi margini di miglioramento dei sistemi in termini di collegamento di nuove utenze e di regolazione dei cogeneratori, l'indice di dissipazione è particolarmente elevato (circa 2-3 GWh_t/anno/MW_e installato), nel terzo caso, con minori margini di ottimizzazione, si ha un indice di circa 0.35 GWh_t/anno/MW_e, ulteriormente riducibile a circa 0,2 mediante interventi di ottimizzazione sulla regolazione delle portate circolanti nella rete di teleriscaldamento interna allo stabilimento.

Prendendo, in via prudenziale, il terzo caso come rappresentativo della situazione media nazionale e considerando che solo parte delle necessità di accumulo può giovare di sistemi LHTES, si può ipotizzare come valore medio di recupero della dissipazione da cogenerazione per tutti i settori manifatturieri, il valore di 0,1 GWh_t/anno/MW_e; applicando tale valore alla potenza installata (potenziale economico stimato nel *Paragrafo 2.4.2*), si arriva a risultati dello stesso ordine di grandezza del valore sopra indicato.

Rimarchiamo come queste siano valutazioni del tutto indicative, da prendersi come ordini di grandezza, da cui partire per eseguire eventuali studi di approfondimento.

2.7 Previsioni di sviluppo dei sistemi TES e LHTES

L'analisi più aggiornata sulle potenzialità di innovazione e diffusione sul mercato dei sistemi di accumulo termico è stata effettuata in [4], studio dal quale si prende spunto per buona parte delle considerazioni del seguente paragrafo, oltre che da [18].

In generale, alcuni trend dei prossimi 10 anni per i diversi sistemi TES e le loro possibilità di utilizzo nel settore industriale, sono i seguenti:

- per quanto riguarda i SHTES, ed in particolare i TTES, i costi tecnologici dovrebbero diminuire di quasi il 30%; insieme ai miglioramenti nell'integrazione, gestione e controllo di TTES esistenti, questo potrebbe incoraggiare una maggiore diffusione del solare termico per processi che richiedono calore a bassa temperatura per i processi;
- PCM ad alta densità energetica e soluzioni di accumulo a sali idrati, potrebbero aiutare a ridurre le dimensioni dei sistemi TES, espandendo le loro possibilità di applicazione;
- sono invece necessarie ulteriori ricerche per comprendere il potenziale a lungo termine dei sistemi termochimici integrati nei processi di produzione, in particolare per le necessità di calore di processo a temperature più elevate.

Più specificatamente i potenziali di innovazione previsti sono i seguenti:

- Breve termine (5 anni): riduzione dei costi e miglioramenti nell'integrazione, nella gestione e nel controllo dei *TTES esistenti*, potrebbero incoraggiare una maggiore diffusione della generazione solare termica per i processi che richiedono calore di processo a bassa temperatura.
- Medio termine (5-10 anni): le tecnologie a *stato solido* potrebbero fornire una forma di accumulo relativamente a basso costo per fornire elettricità e calore ai processi industriali. *HT-cPCM* ad alta densità energetica e soluzioni con *sali idrati*, potrebbero ridurre l'impronta spaziale dei sistemi TES, ampliando potenzialmente la loro gamma di applicazioni. Una migliore integrazione e gestione ne migliorerà anche l'efficienza.
- Lungo termine (> 10 anni): sistemi di stoccaggio *termochimici* integrati nei processi di produzione insieme alle energie rinnovabili potrebbero aiutare la decarbonizzazione dei processi che richiedono temperature più elevate per il calore di processo.

Lo schema riportato in Figura 25, aiuta a schematizzare le evoluzioni previste da IRENA nei prossimi 10 anni per le tecnologie di accumulo termico.



Figura 25. Stato della tecnologia TES e prospettive di innovazione nel settore industriale [4]

Per i sistemi LHTES si nota come non sono previste riduzioni di costo significative e neanche importanti incrementi di efficienza (comunque già alta); i miglioramenti saranno soprattutto sui range di temperatura, sulla velocità di trasferimento del calore, sulla durata di vita e sul design per l'integrazione nelle applicazioni.

In base alle diverse fasi di sviluppo e di distribuzione dei TES e ai diversi intervalli di temperatura operativa ideale per le fasi di lavorazione nell'industria, Irena individua le tecnologie più adatte alla situazione, come riportato in Figura 26.

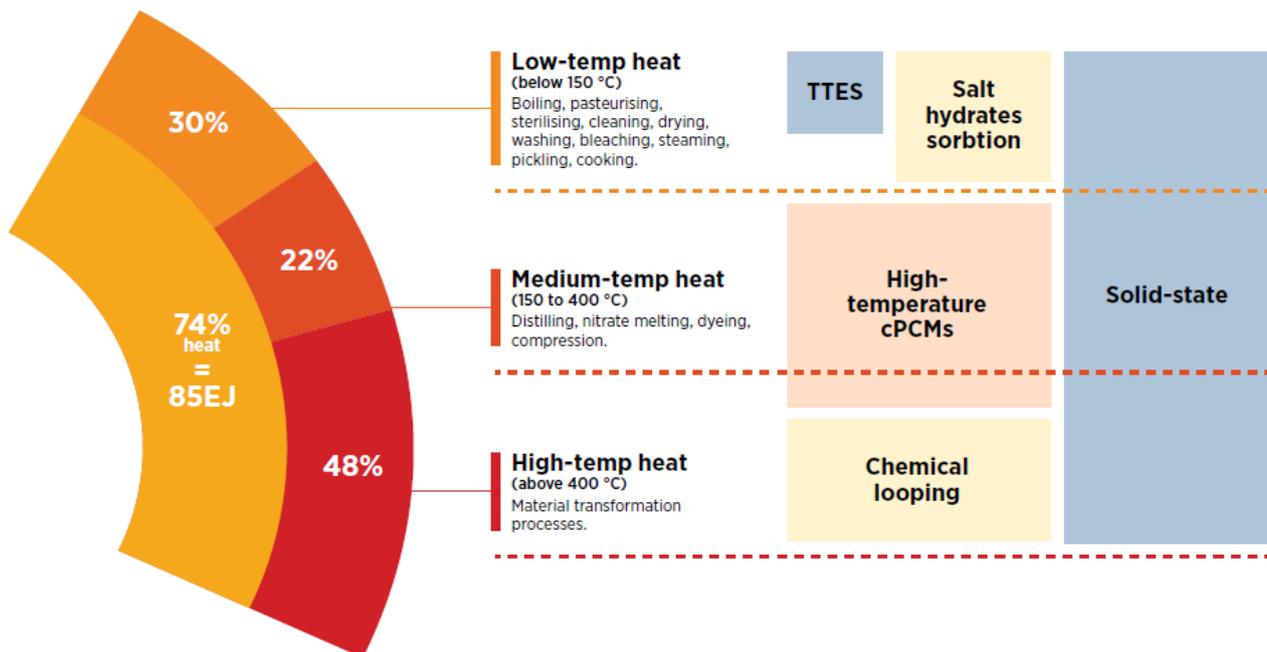


Figura 26. Tecnologie applicabili nel settore industriale a seconda del livello di temperatura [4]

Obiettivi comuni di sviluppo e innovazione per tutte le diverse tecnologie TES per il settore industriale sono:

- sviluppare materiali TES più adatti all'uso in processi industriali che richiedono specifiche caratteristiche, come intervalli di temperatura operativa ristretti o elevata potenza di scarica;
- sviluppare approcci sistematici per progettare sistemi TES che permettano di integrare meglio le tecnologie rinnovabili nel processo industriale: una migliore modularità del sistema potrebbe essere utile per affrontare problemi di scala;

adeguato design e soluzioni ingegneristiche possono migliorare l'efficienza nel trasferimento di calore;

- sviluppare sistemi operativi e di controllo avanzati per TES, per garantire che lo stoccaggio sia stabile e flessibile.

La diffusione in Italia dei sistemi di accumulo a calore latente, nel campo delle basse temperature, è ancora limitata a pochi esempi in particolari settori di applicazione; ad esempio, sono impiegati e commercializzati per il mantenimento di temperature controllate per il trasporto di beni deperibili (come vaccini, medicine, derrate alimentari), sia di piccola taglia sia per container di grandi dimensioni. Per quanto riguarda l'accumulo in grandi impianti è necessario guardare soprattutto all'estero, dove sono stati realizzati sistemi alimentati da energia solare sperimentali sia per applicazioni in impianti a concentrazione CSP (capacità accumulo 200 kWh) che per applicazioni domestiche (nel range della decina di kWh).

La tecnologia di accumulo termico a calore latente è però fortemente in evoluzione, soprattutto per quanto riguarda l'applicazione per uso domestico e industriale, sia da un punto di vista dello sviluppo dei materiali che dei sistemi; dati i loro costi relativamente alti, lo sviluppo si concentrerà sullo sviluppo di nuovi materiali e i miglioramenti dell'efficienza per realizzare economie di scala.

Sono rare le analisi riguardanti i costi operativi dei sistemi a calore latente. I costi dei sistemi TES basati su PCM sono generalmente più elevati di quelli basati sull'accumulo sensibile; i materiali di per sé hanno costi più elevati di quelli utilizzati per i sistemi a calore sensibile, ma i maggiori costi sono associati in particolare alla tecnologia di trasferimento del calore (e della massa), che deve essere installata per ottenere una potenza di carica/scarica sufficiente. Ad esempio, i costi di un sistema di stoccaggio con cloruro di calcio, includono il costo del cloruro di calcio che è inferiore a 1 €/kg e il costo del contenitore, dello scambiatore di calore e degli altri componenti del sistema che può superare i 50 €/kWh_t.

La Tabella 35 fornisce un riepilogo dei parametri chiave per innovazione nelle tecnologie TES, scienza dei materiali e ingegneria dei sistemi per applicazioni industriali.

Tabella 35. Obiettivi chiave per l'innovazione tecnologica nei TES per l'industria [4]

Attribute	Sensible			Latent			Thermochemical		
	2018	2030	2050	2018	2030	2050	2018	2030	2050
Cost (USD/kWh)	0.1-35	0.1-25	0.1-15	60-120	60-95	60-80	Research level ⁽¹⁾	Pilot scale, 80-160	Demonstration, < 80
Efficiency (%)	50-90	60-90	70-90	> 90	> 92	> 95	40-50	⁽²⁾	
Energy density (kWh/m ³)	0.4-0.9 kWh/m ³ ·K (heat capacity)			50-85			800-1200		
Lifetime (years or cycles)	1 000-3 000	3 000-5 000	5 000-7 500	1 000-3 000	3 000-5 000	5 000-7 500	<100	500-1 000	>1 000-3 000
Working Temperature (°C)	-150-1 000			-40-700	-50-950		500-900		500-1 000

(1) Livello di ricerca: ancora in una fase iniziale, sviluppo del materiale;

(2) Valore non disponibile a causa del basso livello di sviluppo tecnologico.

Un'analisi di dettaglio sui costi di un singolo prototipo di LHTES è stata svolta da ENEA in [21]. Si tratta di un sistema costituito da un certo numero di moduli connessi idraulicamente in parallelo, costituiti essi stessi da elementi base connessi in parallelo. Gli elementi base sono dei contenitori metallici con all'interno scambiatori a serpentina immersi in un PCM, in genere un sale con temperatura di fusione medio-alta (>120°C).

Nella Tabella 36 sono riportate le principali voci di spesa, comprensive di relativa descrizione e corredate di una ipotesi di costo unitario (in genere per unità di peso, kg). I numeri confermano quanto precedentemente affermato, con un costo del materiale molto basso rispetto ai costi degli altri componenti del sistema.

Tabella 36. Prototipo ENEA. Principali voci di spesa [21]

Componente	Descrizione	Costo Unit.	Commenti
<i>Mezzo accumulo (HSM) - kg</i>	Materiale a cambiamento di fase (solido-liquido) non additivato con nanoparticelle	0.8	Sono esclusi eventuali costi di fusione ed inserimento
<i>Sistema incapsulamento HSM</i>	I PCM non sono micro-, mini- o macro- incapsulati.	--	Tipo tube & shell. Nessun incapsulamento
<i>Fluido termovettore - kg</i>	Nei sistemi indiretti l'HTF va conteggiato separatamente	5	Olio diatermico
<i>Sistema scambio termico - kg</i>	Sistema indiretto con scambiatore interno (HTF-PCM).	10	Tubo serpentina AISI 316
<i>Contenimento- kg</i>	Recipiente di contenimento. Potrebbe essere in pressione.	3	Costo unitario acciaio lavorato
<i>Fondazione, strutture supporto</i>	TES appoggiato a terra. Sistema di fondazione non incluso. Necessita struttura supporto unità.	--	Variabile con dimensione modulo. Trascurata.
<i>Sist isolamento termico - kg</i>	Sistema di isolamento termico necessario per minimizzare le perdite verso l'ambiente esterno.	2.5	Pannello 140mm Knauf Insulation DP4 - 13Euro/mq
<i>Tubazioni e raccordi - kg</i>	Tubazioni e raccordi tra varie unità e con l'impianto.	--	Variabile con dimensione modulo. Trascurata.
<i>Pompe</i>	Le pompe non sono incluse. Vanno conteggiate nel sist. di circolazione esterno	--	Non presente nel concetto
<i>Sistema riscaldamento</i>	Sistema di riscaldamento dell'HSM di tipo elettrico.	--	Non presente nel concetto
<i>Sistema di controllo e strumentazione</i>	Sono gli strumenti (misuratori di temperatura, portata, pressione, livello, ...) e gli apparati (schede acquisizione, trasmissione dati, computer, SW, ..) atti al controllo del corretto funzionamento dell'intero sistema di accumulo.	3%	Percentuale costi precedenti. Valore da letteratura
<i>Componenti elettrici</i>	Tutti quei componenti elettrici necessari ad alimentare il sistema TES (quadri elettrici, cavi, convertitori, batterie, ...)	3%	Percentuale costi precedenti. Valore da letteratura
<i>Contingency</i>	Progettazione, utili, ...	7%	Percentuale costi precedenti. Valore da letteratura

Il costo specifico stimato a seconda delle versioni del prototipo varia indicativamente da 35 a 25 €/kWh_t a seconda delle dimensioni del sistema, come riportato in Figura 27, evidenziando tra l'altro le possibili economie di scala sulle dimensioni d'impianto. È da considerare che questa analisi riguarda il solo sistema di accumulo, a cui poi saranno da aggiungere i costi di installazione.

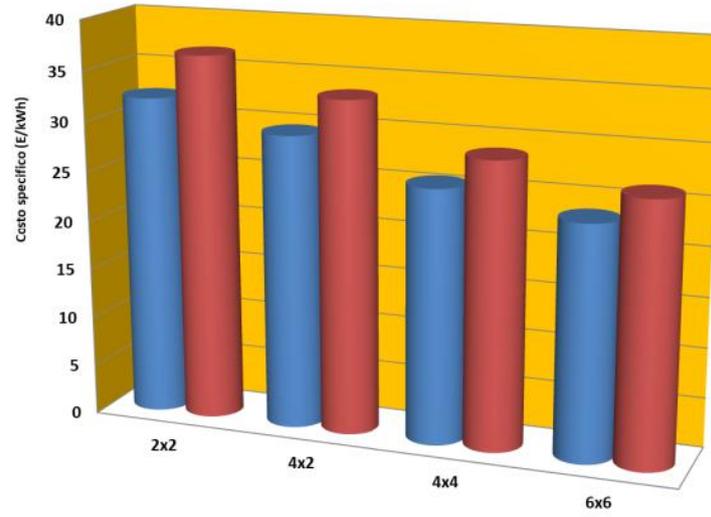


Figura 27. Variazione del costo dell'elemento base ENEA in funzione del kWh accumulato [21]

2.8 *Panoramica sui mercati elettrici in Italia e in Europa: focus su MSD*

L'utilizzo di tecnologie di accumulo termico consente un uso più efficiente delle fonti rinnovabili non programmabili ed una modernizzazione delle infrastrutture energetiche¹⁵. Tali soluzioni rendono possibile attuare, in ambienti industriali o terziari, servizi di flessibilità verso la rete elettrica, rendendo l'utenza energetica idonea alla partecipazione, in autonomia o in aggregazione a seconda delle potenze coinvolte, al Mercato dei Servizi per il Dispacciamento elettrico (**MSD**).

Nella seconda fase dello studio, sarà effettuato uno studio di fattibilità tecnico-economica atto a valutare costi e benefici derivanti dalla partecipazione al MSD, in particolar modo ai progetti pilota ai sensi della Delibera ARERA 300/2017/R/eel, attraverso l'integrazione di sistemi di accumulo termico a calore latente in ambito industriale e/o agroalimentare. Tale studio consentirà la quantificazione dei benefici derivanti dalla partecipazione dei sistemi produttivi prescelti ai mercati dell'energia mediante una gestione attiva della domanda, attraverso considerazioni di tipo tecnico ed economico, anche in virtù dei recenti aggiornamenti normativi italiani, sviluppati sulla base delle Direttive UE, che hanno recentemente introdotto nuove opportunità quali le comunità energetiche. A tal proposito, al fine di comprendere l'evoluzione delle regolamentazioni europee e la direzione che la UE sta intraprendendo protese all'armonizzazione alla liberalizzazione del mercato interno dell'energia, di seguito si riporta una analisi dei mercati elettrici in Italia e in Europa, con particolare focus sul Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD). Lo studio riporta i principali documenti normativi dal 2016 al 2020, ivi inclusi progetti sperimentali, concernenti la riforma del mercato per il servizio di dispacciamento. Tale studio ha offerto interessanti spunti circa le possibilità di partecipazione al MSD nell'ambito di progetti pilota.

2.8.1 *Il contesto europeo*

Un mercato energetico integrato per l'intera UE è la strategia per garantire forniture energetiche sicure e convenienti ai propri cittadini. Sulla base di regole comuni per il mercato energetico e infrastrutture transfrontaliere, l'energia può essere prodotta in un paese dell'UE e consegnata ai consumatori in un altro. Tutto ciò permetterebbe di calmierare i prezzi attraverso l'incremento della concorrenza, offrendo ai consumatori una scelta più ampia tra i fornitori di energia.

Dato il grado di integrazione ed i cambiamenti tecnologici intervenuti a partire dal 2009 e previsti negli anni a venire, il mercato elettrico dell'UE è stato progressivamente aggiornato per adeguarsi a questo scenario applicativo. In particolare, il *Clean Energy for all Europeans package*¹⁶ ha aggiornato le vecchie regole del mercato dell'energia e ne ha introdotte di nuove, incoraggiando anche i necessari investimenti pubblici e privati basati sui segnali economici di mercato.

Le attuali direttive comunitarie prevedono che la quota di elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili dovrebbe crescere dal 25% a più del 50% entro il 2030. Allo stesso tempo, l'elettricità deve essere prodotta e fornita in quantità sufficiente anche in assenza di vento o sole. Alla luce di tali premesse, i mercati devono essere migliorati per soddisfare le esigenze delle energie rinnovabili e attrarre investimenti nelle risorse, come lo stoccaggio di energia, che possono compensare la produzione di energia variabile. Il mercato deve inoltre fornire i giusti incentivi affinché i consumatori diventino più attivi e contribuiscano a mantenere stabile il sistema elettrico.

¹⁵ Enescu, D.; Chicco, G.; Porumb, R.; Seritan, G. Thermal Energy Storage for Grid Applications: Current Status and Emerging Trends. *Energies* **2020**, *13*, 340. <https://doi.org/10.3390/en13020340>

¹⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1582103368596&uri=CELEX:52016DC0860>

Per affrontare queste problematiche il *Clean Energy for all Europeans package* è stato aggiornato nel 2019¹⁷ integrando quattro atti legislativi con lo scopo adattare le regole del mercato dell'UE alle nuove realtà di mercato.

Le norme contenute nella *Directive on common rules for the internal market for electricity (UE) 2019/944*¹⁸, che sostituisce la *Electricity Directive (2009/72/EC)*, ed il nuovo *Regulation on the internal market for electricity (EU) 2019/943* che a sua volta ha sostituito a partire dal 1° gennaio 2020 il precedente *Electricity Regulation (EC/714/2009)* introduce un nuovo limite per le centrali elettriche ammissibili a ricevere sussidi attraverso meccanismi di capacità (confermando la graduale eliminazione dei sussidi dedicati a generazione di capacità che emettono 550 gr CO₂/kWh o più). Inoltre, il consumatore è messo al centro della transizione verso l'energia pulita e le nuove regole consentono la partecipazione attiva dei consumatori, mettendo in atto un quadro solido per la tutela dei consumatori.

L'attuale quadro normativo è teso a consentire la circolazione libera dell'energia dove più necessaria permettendo al contempo alla società di trarre sempre più vantaggio dal commercio e dalla concorrenza transfrontalieri. Le norme attrarranno gli investimenti necessari per garantire la sicurezza dell'approvvigionamento, decarbonizzando il sistema energetico europeo.

Le nuove regole contribuiscono all'obiettivo dell'UE di essere il leader mondiale nella produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili, consentendo una maggiore flessibilità per accogliere una quota crescente di energia rinnovabile nella rete. Il passaggio alle energie rinnovabili e una maggiore elettrificazione è fondamentale per raggiungere la neutralità dalle fonti fossili entro il 2050. Il nuovo assetto del mercato dell'elettricità aiuterà quindi a raggiungere gli obiettivi fissati nell' *European Green Deal*¹⁹ e contribuirà alla creazione di posti di lavoro.

2.8.2 Il Mercato dei Servizi per il Dispacciamento (MSD)

Nel report "Contesto ed evoluzione del sistema elettrico"²⁰, TERNA riporta due importanti definizioni per il mercato elettrico nazionale che ben chiariscono i meccanismi di compravendita attuabili al giorno d'oggi. Di seguito si riporta un estratto:

- Mercati dell'energia (gestiti da GME): sono i mercati per lo scambio di energia elettrica all'ingrosso, in cui si definiscono i prezzi e i programmi di immissione e prelievo per ciascuna ora del giorno. Questi mercati (Mercato del Giorno Prima, MGP e Mercato Infragiornaliero, MI) ospitano la maggior parte delle transazioni di compravendita di energia elettrica. Sul MGP le offerte di vendita sono valorizzate al prezzo marginale (pay-as-clear) della zona di mercato a cui appartengono. Le offerte di acquisto, ad esclusione di quelle presentate dagli impianti di pompaggio, sono valorizzate al prezzo unico nazionale (PUN), pari alla media ponderata dei prezzi delle zone.
- Mercato dei Servizi di Dispacciamento (gestito da Terna): mercato attraverso il quale Terna si approvvigiona delle risorse necessarie alla gestione e al controllo del sistema elettrico fino al tempo reale, per mantenere in costante equilibrio la produzione e il consumo di energia elettrica. Su MSD le offerte sono accettate sulla base del merito economico, compatibilmente con la necessità di assicurare il corretto funzionamento del Sistema, e sono remunerate al prezzo presentato (pay-as-bid). Il Mercato dei Servizi del Dispacciamento si divide in una fase di programmazione (MSD ex-ante),

17 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b4e46873-7528-11e9-9f05-01aa75ed71a1>

18 <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>

19 https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

20 Contesto ed evoluzione del sistema elettrico, TERNA, 2019

nella quale Terna accetta offerte per modificare i programmi risultati in esito ai mercati dell'energia per la risoluzione dei vincoli di rete e l'approvvigionamento della riserva, e una fase di bilanciamento in tempo reale (MB) nella quale Terna si approvvigiona delle risorse per svolgere i servizi di regolazione e mantenere l'equilibrio in tempo reale tra domanda e offerta di energia elettrica.

Per bilanciamento elettrico si intendono tutte le azioni e processi, su tutte le tempistiche, attraverso i quali i TSO assicurano, in modo continuativo, il mantenimento della frequenza del sistema entro un intervallo di stabilità predefinito²¹. Esistono due tipi di servizi di bilanciamento: capacità di bilanciamento ed energia di bilanciamento:

- Capacità di bilanciamento indica un volume di capacità di riserva che un fornitore di servizi di bilanciamento (Balancing Service Provider, BSP) ha accettato di detenere e rispetto al quale il BSP ha accettato di presentare offerte per un volume corrispondente di energia di bilanciamento al TSO per la durata del contratto;
- Energia di bilanciamento indica l'energia utilizzata dai TSO per eseguire il bilanciamento e fornita da un BSP.

Per quanto riguarda il Mercato dei Servizi per il Dispacciamento (MSD) a livello europeo con la pubblicazione da parte della CE delle linee guida su *Electricity balancing 2017/2195*²² il 23/11/2017 si sono creati i presupposti per favorire l'integrazione dei mercati di bilanciamento dei paesi europei, attraverso l'adozione di regole armonizzate e la creazione di piattaforme europee comuni per lo scambio di energia di bilanciamento tra cui: la piattaforma per lo scambio della *Frequency Containment Reserve* (Piattaforma FCR), la piattaforma per lo scambio di *Replacement Reserve* (Piattaforma RR), la piattaforma per lo scambio di *manual Frequency Restoration Reserve* (Piattaforma mFRR), la piattaforma per lo scambio di *automatic Frequency Restoration Reserve* (Piattaforma aFRR) e la piattaforma per compensazione degli sbilanciamenti (Piattaforma di *Imbalance netting*)²³.

2.8.3 Orientamenti su MSD in Italia

Per quanto riguarda il caso Italia, la ENTSOE²³ riporta gli orientamenti dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente per la revisione della regolazione del dispacciamento a livello italiano nell'ottica di garantire la sicurezza del sistema elettrico a fronte dei cambiamenti introdotti dalla diffusione delle fonti rinnovabili e di come queste possono impattare sull'efficienza dell'intera infrastruttura di distribuzione nazionale, nonché del progressivo venir meno degli impianti programmabili che hanno storicamente reso disponibili le risorse per garantire l'equilibrio tra domanda e offerta di energia elettrica, in vista del raggiungimento degli obiettivi al 2030.

La revisione sopra citata ha come fondamento i principi definiti dall'articolo 3 del decreto legislativo 79/99 e deve tenere conto dell'evoluzione della normativa comunitaria precedentemente dettagliata.

In tabella 37 sono riportati i servizi ancillari e le relative modalità di approvvigionamento e remunerazione attualmente previste.

²¹ <https://www.entsoe.eu/about/market/#balancing-and-ancillary-services-markets>

²² <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/2195/oj>

²³ Testo Integrato del dispacciamento elettrico - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente – 23/07/2019

Tabella 37. Servizi ancillari, modalità approvvigionamento e remunerazione risorse esistenti [7]

Classe di servizi	Servizi Ancillari	Risorse abilitate	Modalità di approvvigionamento	Remunerazione
Regolazione di Frequenza	Riserva Primaria	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	Obbligatorio	Facoltativa
	Riserva Secondaria	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	MSD	Pay-as-bid, Prodotto RS €/MWh
	Riserva Terziaria pronta, rotante, di sostituzione	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	MSD	Pay-as-bid, Prodotto NRS €/MWh
	Bilanciamento	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	MSD	Pay-as-bid, Prodotto NRS €/MWh
Rispetto limiti operativi sugli elementi di rete	Risoluzione congestioni fase di programmazione	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	MSD	Pay-as-bid, Prodotto NRS €/MWh
Regolazione della Tensione	Regolazione primaria	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	Obbligatorio	Nessuna
	Regolazione secondaria	UP Rilevanti obbligatoriamente abilitate	Obbligatorio	Nessuna
Ulteriori servizi per la sicurezza del sistema elettrico	Interrompibilità del carico	UC	Aste dedicate	System marginal price €/MW/anno + Pay-as-bid €/MW per interruzione e per potenza distaccata
Emergenza	Rifiuto del carico	UP termoelettriche, P > 100 MW	Obbligatorio	Nessuna
Ripristino	Ri-alimentazione del sistema elettrico	UP rilevanti obbligatoriamente abilitate per black start	Obbligatorio	Nessuna

Allo stato attuale, nei casi in cui le risorse per l'erogazione dei servizi ancillari vengono approvvigionate tramite MSD, non vengono identificati prodotti separati per ogni servizio: i prodotti oggetto di negoziazione sono RS (riserva secondaria) e NRS (gli altri, diversi dalla riserva secondaria) e vengono utilizzati per tutti i servizi che prevedono l'approvvigionamento attraverso MSD²³.

In tabella 38 si riporta una lista dei requisiti minimi prestazionali richiesti per l'abilitazione ai servizi ancillari per i quali è prevista remunerazione.

Tabella 378. Requisiti minimi prestazionali abilitazione di servizi ancillari soggetti a remunerazione²³

Tipologia di servizio	Requisiti minimi previsti dal Codice di Rete
Riserva Primaria	<ul style="list-style-type: none"> • banda pari a $\pm 1,5\%$ della potenza efficiente (10% in Sardegna e in Sicilia, quando è programmato il fuori servizio dell'interconnessione con il Continente) • almeno metà della banda da attivare entro 15 secondi, tutta la banda entro 30 secondi • erogabile per almeno 15 minuti
Riserva Secondaria	<ul style="list-style-type: none"> • banda almeno pari a il maggiore tra ± 10 MW e $\pm 6\%$ della potenza massima per le UP termoidroelettriche, $\pm 15\%$ della potenza massima per le UP idroelettriche • da attivare entro 200 secondi • erogabile per almeno 120 minuti
Riserva Terziaria Pronta	<ul style="list-style-type: none"> • almeno 10 MW • gradiente almeno pari a 50 MW/min • tempo di cambio assetto inferiore a 60 minuti • da attivare entro 15 minuti • erogabile per almeno 120 minuti
Riserva Terziaria Rotante	<ul style="list-style-type: none"> • almeno 10 MW • da attivare entro 15 minuti • erogabile per almeno 120 minuti
Riserva Terziaria di Sostituzione	<ul style="list-style-type: none"> • almeno 10 MW • da attivare entro 120 minuti • erogabile senza limitazione di durata
Bilanciamento	<ul style="list-style-type: none"> • almeno 3 MW • da attivare entro 15 minuti • erogabile per almeno 240 minuti per le UP idroelettriche, senza limitazione di durata per le altre UP • nel caso di UP idroelettriche: rapporto tra energia erogabile in una giornata e la potenza massima almeno pari a 4 ore
Risoluzione congestioni	<ul style="list-style-type: none"> • almeno 10 MW • da attivare entro 15 minuti • erogabile per almeno 240 minuti per le UP idroelettriche, senza limitazione di durata per le altre UP • nel caso di UP idroelettriche: rapporto tra energia erogabile in una giornata e la potenza massima almeno pari a 4 ore
Interrompibilità	<ul style="list-style-type: none"> • almeno 1 MW • interrompibilità istantanea: distacco del carico entro 200 ms • interrompibilità di emergenza: distacco del carico entro 5 s

2.8.4 Evoluzione normativa MSD: verso l'apertura al mercato dei servizi

Dal punto di vista normativo, come accennato nella precedente sezione 4.1, attualmente il mercato dei servizi prevede l'abilitazione a MSD per l'offerta di servizi di rete alle sole unità di produzione programmabili e con potenza installata superiore a 10 MVA. Si tratta di grandi e medi impianti, ad oggi circa pari a 250 unità di produzione²⁴.

Le recenti direttive nazionali e comunitarie hanno incentivato da un lato la richiesta di flessibilità da parte del sistema elettrico mentre dall'altro lato hanno limitato la produzione di energia da impianti di produzione termoelettrici tradizionali in ottica di decarbonizzazione. Questi fattori hanno reso imprescindibile l'apporto di nuove risorse flessibili per l'approvvigionamento dei servizi di rete. Stando a quanto si riporta in ²⁴, l'inclusione di sorgenti di flessibilità come: la demand response, generazione distribuita, rinnovabili ad oggi non abilitate e sistemi di storage possono garantire sicurezza e affidabilità al sistema di distribuzione elettrico.

AEEGSI (Autorità per l'Energia Elettrica, il Gas e il Sistema Idrico, dal 2018 denominata ARERA - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente) da diversi anni è al lavoro per un'evoluzione normativa orientata alla riforma del mercato per il servizio di dispacciamento, come riportato nel documento 298/2016/R/eel²⁵, dove l'autorità ha posto in consultazione i primi interventi finalizzati a consentire, in tempi rapidi, alla generazione distribuita, alla domanda, alle fonti rinnovabili non programmabili di accedere al Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD).

Gli interventi sottoposti a consultazione nel documento si inquadrano in un percorso regolatorio volto a consentire una maggior responsabilizzazione e partecipazione al mercato da parte della produzione da fonti rinnovabili e della domanda. A tal proposito l'Autorità ha rivisto la regolazione attraverso diversi interventi quali: sperimentazioni, meccanismi incentivanti input/output-based, adeguamento delle regole di connessione e degli obblighi in capo agli utenti. Oltre a ciò, si specifica nel documento²⁵, l'Autorità è intervenuta in tema di: regole tecniche di connessione alla rete delle unità di produzione da fonti rinnovabili non programmabili e della generazione distribuita, utilizzo dei sistemi di accumulo, osservabilità delle reti di distribuzione e modernizzazione dei sistemi di misura presso i punti di connessione in bassa tensione (smart meter 2G).

Successivamente alla consultazione del 2017, AEEGSI ha emanato la delibera 300/2017/R/eel²⁶, aggiornata con le successive deliberazioni 372/2017/R/eel²⁷, 422/2018/R/eel²⁸ e 153/2020/R/eel²⁹, nella quale si definiscono i criteri per consentire alla domanda e alle unità di produzione non già abilitate (quali quelle alimentate da fonti rinnovabili non programmabili e la generazione distribuita) la possibilità di partecipare a MSD nell'ambito di progetti pilota. Oltre a ciò, vengono definite modalità sperimentali di utilizzo di sistemi di accumulo anche in abbinamento a unità di produzione abilitate.

Il termine "progetto pilota" deriva dal fatto che l'obiettivo è quello di sperimentare il funzionamento delle nuove risorse e di procedere successivamente ad una revisione complessiva del mercato dei servizi e del Codice di Rete, in cui tali risorse siano pienamente integrate.

24 Le responsabilità dell'energia – 2020 Piano di Sviluppo, TERNA

25 AEEGSI, documento di consultazione 09 Giugno 2016 298/2016/R/eel

26 AEEGSI, Delibera 05 maggio 2017 300/2017/R/eel

27 AEEGSI, Delibera 25 maggio 2017 372/2017/R/eel

28 ARERA, Delibera 02 agosto 2018 422/2018/R/eel

29 ARERA, Delibera 05 maggio 2020 153/2020/R/eel

Con la successiva integrazione 372/2017/R/eel²⁷, viene approvato il regolamento predisposto da Terna S.p.a. per la partecipazione della domanda al mercato per il servizio di dispacciamento (MSD). In tale regolamento vengono specificati i requisiti tecnici per l'abilitazione alla partecipazione come progetto pilota,

Ulteriori modifiche al regolamento sono state introdotte con la delibera 153/2020/R/eel²⁹ ed hanno riguardato l'approvazione di innovazioni proposte da Terna per la partecipazione al progetto pilota di unità virtuali miste (UVAM). Tali innovazioni sono funzionali a consentire la partecipazione a MSD, all'interno di UVAM, di unità di produzione e/o di consumo sottese a punti non trattati su base oraria ai fini del settlement.

Gli scopi principali dei progetti pilota sono quello di incrementare da subito la quantità di risorse disponibili per garantire adeguatezza e sicurezza del sistema elettrico al minor costo per l'utente finale e, in aggiunta, contribuire a diversificare la tipologia delle risorse abilitabili al mercato dei servizi, attribuendo un ruolo attivo alla domanda, agli impianti di generazione di tipo non rilevante (<10 MVA) ed agli accumuli²⁴. Terna, anche grazie all'interlocazione con gli operatori, ha individuato e iniziato a sperimentare diversi progetti pilota:

- Unità Virtuali Abilitate di Consumo (UVAC);
- Unità Virtuali Abilitate di Produzione (UVAP);
- Unità Virtuali Abilitate Miste (UVAM);
- Unità di Produzione Rilevanti (UPR) non oggetto di abilitazione obbligatoria.

Partendo da aggregati di soli punti di prelievo (UVAC) e soli punti di immissione (UVAP), i progetti individuati da Terna²⁴ si sono "evoluiti" verso aggregati misti (UVAM) o hanno previsto la partecipazione volontaria al MSD di singoli impianti rilevanti non già abilitati (UPR). In particolare, i progetti pilota delle UVAC e delle UVAP sono stati avviati per abilitare al MSD rispettivamente la domanda (a partire da giugno 2017) e la generazione distribuita (a partire da dicembre 2017) e si sono conclusi a novembre 2018 per dare avvio al progetto pilota delle UVAM che abilita negli stessi aggregati unità di consumo, di produzione e sistemi di accumulo.

In Figura 28 è riportato l'andamento della potenza abilitata a MSD e della potenza contrattualizzata a termine per tutte le unità virtuali. A partire da giugno 2017, mese di avvio delle UVAC, con una potenza di circa 100 MW si è raggiunto un primo picco di 600 MW di potenza qualificata UVAC e UVAP ad ottobre 2018. A dicembre 2019 è stata infine assegnata una capacità di circa 1.078 MW" con à "La potenza abilitata ha poi subito un momentaneo crollo a novembre 2018 in vista delle nuove qualificazioni delle UVAM, ma nei primi mesi del 2019 si era già stabilizzata intorno ai 600 MW per raggiungere a dicembre circa 1.080 MW, di cui circa l'89% contrattualizzata a termine (957 MW).

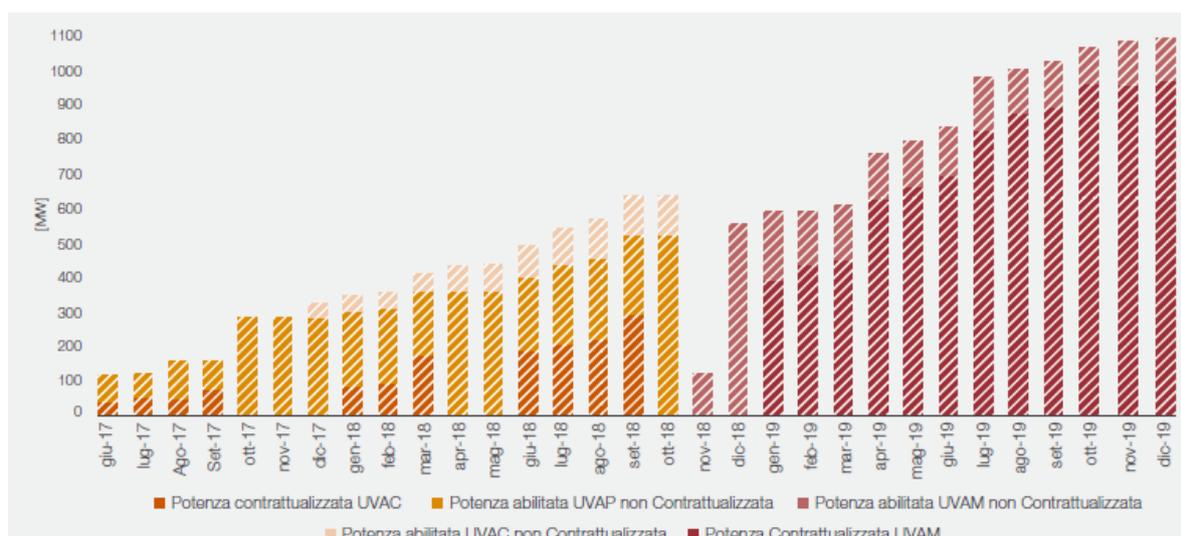


Figura 28. Potenza abilitata e contrattualizzata a termine su MSD²⁴

2.8.4.1 Remunerazione del servizio in caso di attivazione delle risorse

Per la partecipazione ai progetti pilota, TERNA riconosce dei premi di riserva, dei corrispettivi fissi per MW di potenza contrattualizzata, il cui importo deriva da una base d’asta della contrattazione a termine (mai superiore ai 30.000€/MW) e dei corrispettivi basati sulle ore di flessibilità offerta, il cui compenso è definito dallo strike price (200 o 400€/MWh a seconda delle fasce di disponibilità). In figura si riporta un estratto dell’esito di assegnazione, per l’area di assegnazione B (zone di mercato Centro-Sud, Sud, Calabria, Sicilia e Sardegna) dell’approvvigionamento a termine UVAM nel periodo 1° gennaio – 31 dicembre 2020³⁰

**Approvvigionamento a termine UVAM
Area di Assegnazione B**

1 Gennaio 2020 - 31 Dicembre 2020

Premio medio ponderato: 28.744,7 €/MW/anno

N.	Ragione Sociale	Potenza assegnata [MW]
1	4ENERGIA SRL	3,5
2	ALEA ENERGIA SPA	4,4
3	ALPIQ ENERGIA ITALIA SPA	4,8
4	BURGO ENERGIA SRL	26
5	DUFERCO ENERGIA S.P.A.	13,2
6	DXT COMMODITIES SA	2,8
7	ELECTRADE SPA	2
8	ENEL X ITALIA SPA	52,9
9	ENGIE ITALIA S.P.A.	2,1
10	EPQ S.R.L.	57
11	FALCK NEXT ENERGY S.R.L.	10,7
12	FREE ENERGIA S.P.A.	2
13	VEOS	10
	TOTALE	191,4

Figura 29. Esito assegnazione (area B: Centro-Sud, Sud, Calabria, Sicilia e Sardegna) approvvigionamento a termine UVAM 01/01–31/12/2020.

Fonte: TERNA³⁰

30 <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/progetti-pilota-delibera-arera-300-2017-reel/progetto-pilota-uvam>

Di seguito si riassumono le principali delibere rilasciate da AEEGSI/ARERA per regolamentare il mercato MSD.

Delibera	Descrizione	Data
300/2017/R/eel	Prima apertura del mercato per il servizio di dispacciamento (MSD) alla domanda elettrica e alle unità di produzione anche da fonti rinnovabili non già abilitate nonché ai sistemi di accumulo. Istituzione di progetti pilota in vista della costituzione del testo integrato dispacciamento elettrico (TIDE) coerente con il balancing code europeo	05/05/2017
372/2017/R/eel	Approvazione del regolamento, predisposto da Terna S.p.a. ai sensi della deliberazione 300/2017/R/eel, relativo al progetto pilota per la partecipazione della domanda al mercato per il servizio di dispacciamento (MSD). Modifiche alla deliberazione dell'Autorità 300/2017/R/eel	25/05/2017
583/2017/R/eel	Approvazione del regolamento, predisposto da Terna S.p.a. ai sensi della deliberazione dell'Autorità 300/2017/R/eel, relativo al progetto pilota per la partecipazione della generazione distribuita, come UVAP, al Mercato per il servizio di dispacciamento (MSD)	03/08/2017
383/2018/R/eel	Approvazione del regolamento, predisposto da Terna S.p.a. ai sensi della deliberazione dell'Autorità 300/2017/R/eel, relativo al progetto pilota per la partecipazione al mercato per il servizio di dispacciamento (MSD) delle unità di produzione rilevanti non oggetto di abilitazione obbligatoria	12/07/2018
422/2018/R/eel	Approvazione del regolamento, predisposto da Terna S.p.a. ai sensi della deliberazione dell'Autorità 300/2017/R/eel, relativo al progetto pilota per la partecipazione di unità virtuali miste al mercato per il servizio di dispacciamento (MSD). Adeguamento della deliberazione dell'autorità 300/2017/R/eel	02/08/2018
675/2018/R/eel	Approvazione del regolamento predisposto da Terna per l'approvvigionamento della disponibilità di risorse per la regolazione di tensione nell'area di Brindisi. Ulteriori disposizioni e progetti pilota relativi alla regolazione di tensione	18/12/2018
153/2020/R/eel	Approvazione delle modifiche, predisposte da Terna S.p.A., al regolamento relativo al progetto pilota per la partecipazione di unità virtuali miste al mercato per il servizio di dispacciamento (MSD), ai sensi della deliberazione dell'Autorità 300/2017/R/eel	05/05/2020

3 Conclusioni

I sistemi di accumulo a calore latente (LHTES) sono sistemi basati sull'assorbimento e il successivo rilascio di calore durante una transizione di fase (di solito solido-liquido) subita dal mezzo di stoccaggio, comunemente definito PCM, Phase Change Material. La tecnologia è in evoluzione, sia da un punto di vista dello sviluppo dei materiali che dei sistemi; attualmente consente, a parità di condizioni, di incrementare la densità di accumulo, rispetto ai sistemi a calore sensibile, di quantità variabili fra il 20 e l'80%.

Il loro utilizzo è particolarmente indicato ove vi sia necessità di accumulare, con *alta densità energetica* (quindi con bassa occupazione di spazio e peso contenuto dell'infrastruttura), energia termica o frigorifera da riutilizzare in processi che richiedano *stabilità nella temperatura* a cui avviene il trasferimento di energia.

Nel presente studio si è analizzato il settore manifatturiero italiano e in particolare l'*uso nei processi di energia termica* e la *cogenerazione*, che determinano notevoli dissipazioni di calore; sono stati utilizzati sia dati statistici generali (imprese, fatturato, consumi energetici), sia studi specifici sui singoli sotto-settori (spesa per l'energia, processi che necessitano di energia termica, temperatura di utilizzo del calore), sia infine i risultati dall'analisi di casi particolari (recupero di calore di processo e da cogenerazione in stabilimenti alimentari a chimici).

A partire da queste analisi, si è individuata la probabile suddivisione dei consumi termici dei settori manifatturieri fra i diversi *livelli di temperatura* e, sulla base di studi di letteratura, si è identificato per ciascun settore il potenziale di calore di processo recuperabile. Ci si è poi concentrati sui settori dove sono preponderanti i recuperi e le necessità di *calore a bassa e media temperatura*, e dove sono diffusi i casi di *non contemporaneità* (il calore ad alta temperatura è soprattutto utilizzato in lavorazioni che si svolgono a ciclo continuo, con possibili recuperi senza la necessità di accumulo termico).

Per i settori a prevalenza di usi in bassa e media temperatura, si è quindi ipotizzato un calore non direttamente sfruttabile per non contemporaneità tra calore disponibile e fabbisogno, per il quale cioè è necessario un accumulo.

Lo studio analizza inoltre le potenzialità di utilizzo dei sistemi LHTES nell'ambito della cogenerazione, sia CAR che no. Si è evidenziato come nell'industria manifatturiera gli *impianti cogenerativi* installati siano operati in maniera mediamente poco efficiente, con rendimenti termici non ottimali, e si sono stimate le quantità di calore che potrebbero essere recuperate.

Anche in questo caso si è ipotizzato il possibile contributo dei sistemi LHTES al recupero di calore dai cogeneratori, a bassa temperatura, nei casi in cui la dissipazione sia imputabile alla non contemporaneità tra calore disponibile e fabbisogno.

Si è quindi giunti alla **capacità complessiva di accumulo** per sistemi LHTES installabili nel settore Manifatturiero in Italia, al fine di facilitare il recupero energetico del calore di scarto dei processi, e del calore dissipato dagli impianti cogenerativi, stimabile, prudenzialmente, in:

- **300-1000 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore di Processo a Bassa temperatura, 10-150°C
- **100-300 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore di processo a Media temperatura, 150-400°C
- **1500 MWh_t** a servizio di sistemi di recupero di calore a Bassa temperatura da Cogeneratori, 10-150°C

A valori dello stesso ordine di grandezza per la *cogenerazione*, si arriva anche procedendo con un approccio bottom up, partendo dall'analisi di tre cogeneratori in tre industrie alimentari italiane e considerando, prudenzialmente, come rappresentativo della situazione media nazionale il caso con meno dissipazione dovuta a non contemporaneità del calore disponibile con le necessità di processo.

Esula dal presente studio l'analisi di altre applicazioni dei sistemi LHTES, quali ad esempio l'accumulo giornaliero del calore prodotto da impianti solari, anche in ambito industriale, o applicazioni legate al teleriscaldamento civile, o l'utilizzo di pompe di calore (eventualmente in combinazione con reti di teleriscaldamento o calore di scarto disponibile) per realizzare conversione di elettricità in calore ed aumentare la flessibilità del sistema elettrico o fornire servizi di gestione attiva della domanda energetica. In particolare, l'utilizzo di TES nell'ambito di applicazioni legate al teleriscaldamento civile per accumulare energia in esubero prodotta dai generatori (es. cogenerazione) o per recuperare calore di processo da industrie energivore caratterizzate da un surplus di calore non utilizzabile nel processo produttivo (es. inceneritori, vetrerie, cementifici, etc...) consentirebbe di sfruttare per tutte le 24 ore, nella stagione di riscaldamento, il calore di scarto.

Ulteriore schema interessante per l'integrazione dei sistemi LHTES è la loro applicazione insieme a pompe di calore. Anche in questo caso l'applicazione più promettente è quella in impianti di teleriscaldamento di 3° e 4° generazione, a bassa temperatura, dove le pompe di calore prelevano calore da un anello a bassa temperatura e alimentano utenze a temperatura maggiore (es. edifici con impianti di emissione a media e alta temperatura: radiatori, termoconvettori). La presenza di sistemi LHTES consentirebbe una miglior gestione del funzionamento delle macchine a compressione e una riduzione delle potenze installate, a beneficio del rendimento del sistema e di un minor investimento.

Si cita infine l'applicazione di sistemi di accumulo del freddo con PCM vari per temperature sottozero (a temperature di utilizzo del freddo intorno allo zero sono infatti disponibili, convenienti e molto diffusi gli accumuli di ghiaccio). Un'esperienza interessante è quella del progetto H2020 PCM-STORE, la cui conclusione è prevista nel 2024, che svilupperà le conoscenze e le implementazioni pilota per progettare e implementare tecnologie di accumulo di energia termica fredda (CTES) accessibili e integrate basate su materiali a cambiamento di fase (PCM) per le industrie di trasformazione alimentare e di vendita al dettaglio. Maggiori informazioni sono reperibili sul sito del coordinatore [20].

Sviluppi successivi dello studio, nella seconda annualità prevista, hanno l'obiettivo di proporre una analisi costi/benefici di un sistema di accumulo termico integrato in processi produttivi agro-alimentari o industriali (del tipo proposto nel presente lavoro) che possa consentire la partecipazione dell'utenza energetica selezionata a progetti pilota del MSD (mercato servizi dispacciamento) e al tempo stesso possa ottimizzare l'esercizio dell'impianto in una comunità energetica, attraverso la gestione dei profili di carico, di produzione, e di accumulo complementari.

4 Riferimenti bibliografici

1. Eurostat, “BEN, Bilancio Energetico Nazionale 2018”.
2. Terna S.P.A. E Gruppo Terna, “Dati statistici sull’energia elettrica In Italia”, pp. 119-121.
3. Marco Borgarello, Claudio Zagano, Francesca Bazzocchi, Corine Nsangwe Businge, Maria Elena Gobbi, Roberto Vanzan, Anna Realini, Simone Maggiore, “Industria: efficienza energetica, competitività e prospettive internazionali”, Dicembre 2018, Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.
4. IRENA, International Renewable Energy Agency, “Innovation Outlook. Thermal Energy Storage”, 2020
5. Bazzocchi Francesca, Marco Borgarello, Maria Elena Gobbi, Corine Nsangwe Businge, Anna Realini, Claudio Zagano, Simone Maggiore, “L'efficienza energetica nell'industria: potenzialità di risparmio energetico e impatto sulle performance e sulla competitività delle imprese”, Febbraio 2018, Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.
6. Germán Giner Santonja, Panagiotis Karlis, Kristine Raunkjær Stubdrup, Thomas Brinkmann, Serge Roudier, “Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries”, 2019, Joint Research Centre
7. CESI, Ricerca di Sistema, “Il settore tessile, dell'abbigliamento, della pelle e del cuoio: analisi dei consumi energetici e prospettive future”, 2004
8. IPPC, Integrated Pollution Prevention and Control, European Commission, “Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry”, Luglio 2003
9. Francesca Bazzocchi, Elena Gobbi, Fabio Lanati, Claudio Zagano, Dario Bertani, “Le potenzialità di efficientamento energetico dei principali settori dell'industria: criticità ed opportunità”, Febbraio 2016, Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.
10. Michael Suhr, Gabriele Klein, Ioanna Kourti, Miguel Rodrigo Gonzalo, Germán Giner Santonja, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, “Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board”, 2015, Joint Research Centre
11. Progetto Life TTGG: www.lifettgg.eu, di cui ENERSEM è partner, responsabile per la parte energetica in caseificio)
12. GSE S.p.A., Gestore dei Servizi Energetici, “Valutazione del potenziale nazionale e regionale di applicazione della cogenerazione ad alto rendimento e del teleriscaldamento efficiente”, Dicembre 2016
13. M Jakubcionis, M Santamaria, K Kavvadias, R Piers de Raveschoot, C Moles, J Carlsson, “Best practices and informal guidance on how to implement the Comprehensive Assessment at Member State level”, 2015, JRC, Science and Policy reports
14. ARERA, Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, “Stato di utilizzo e di integrazione degli impianti di produzione alimentati dalle fonti rinnovabili e di generazione distribuita. Anno 2019”, 4 agosto 2020
15. ARERA, Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, “Stato di utilizzo e di integrazione degli impianti di produzione alimentati dalle fonti rinnovabili e degli impianti di cogenerazione ad alto rendimento anno 2016”, 22 giugno 2017
16. Ministero dello Sviluppo Economico, “Relazione annuale sulla cogenerazione in Italia. Anno produzione 2017”, Aprile 2019

17. Progetto ComESto, “Classificazione e individuazione dei sistemi di accumulo utilizzabili in funzione delle applicazioni e dei contesti”, Rapporto Tecnico di Ricerca Industriale D1.3, 2020
18. Ioan Sarbu, Calin Sebarchievici, “A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage”, Polytechnic University of Timisoara, Romania, 14 January 2018.
19. Ioan Sarbu, Alexandru Dorca, “Review on heat transfer analysis in thermal energy storage using latent heat storage systems and phase change materials”, International Journal of Energy Research, January 2019
20. Progetto H2020 PCM-STORE, <https://blog.sintef.com/sintefenergy/energy-efficiency/announcing-pcm-store-cold-energy-storage-for-the-food-industry/>.
21. Adio Miliozzi, Daniele Nicolini, “Analisi numerica e analisi tecnico-economica del dispositivo di accumulo termico a calore latente finalizzate alla sua ottimizzazione”, Ricerca di sistema Elettrico, ENEA, 2020

5 Abbreviazioni ed acronimi

Se nel rapporto si fa uso di molte abbreviazioni e acronimi si suggerisce di inserire un elenco alla fine del documento, i termini devono comunque essere definiti anche all'interno del testo la prima volta che vengono utilizzati.

TES:	Thermal Energy Storage [Sistemi di accumulo termico]
SHTES:	Sensible Heat Thermal Energy Storage [Sistemi di accumulo termico a calore sensibile]
LHTES:	Latent Heat Thermal Energy Storage [Sistemi di accumulo termico a calore latente]
PCM(s):	Phase Change Material(s) [Materiale(/i) a cambiamento di fase]
cPCM:	Composite phase-change material [PCM compositi o Eutettici]
TTES:	Tank thermal energy storage [Sistemi di accumulo termico con serbatoi]
WTTES:	Water tank thermal energy storage [Sistemi di accumulo termico con serbatoi d'acqua]
UTES:	Underground thermal energy storage [Sistemi di accumulo termico sotterranei]
LTTES:	Low temperature TES [Accumulo termico a bassa temperatura]
MTTES:	Medium temperature TES [Accumulo termico a media temperatura]
HTTES:	High temperature TES [Accumulo termico ad alta temperatura]
CTES:	Cold TES [Accumulo termico del freddo]
BEN:	Bilancio Energetico Nazionale
IWH:	Industrial Waste Heat [Calore di scarto industriale]
CAR:	Cogenerazione ad Alto Rendimento

6 Appendice: Curriculum Vitae costituenti gruppo di ricerca

Matteo ZANCHI Co-fondatore e amministratore delegato di ENERSEM, si è laureato con lode al Politecnico di Milano nel 1999. Dal 2011 al 2016 è stato assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Energetica al Politecnico di Milano, come responsabile per il monitoraggio delle pompe di calore del progetto RELAB finanziato da Regione Lombardia. Dal 2013, è consulente per la Commissione Energia del Politecnico di Milano, per cui analizza i consumi termici dei campus. Ha svolto consulenze per la Commissione Europea per la promozione di investimenti nell'efficienza energetica e nell'energia rinnovabile a scala locale. Per cinque anni (2006-2011) è stato progettista, coordinatore tecnico ed esecutore delle iniziative di sostenibilità ambientale della municipalità di Lodi.

Matteo MUSCHERÀ Responsabile operativo. Dopo essersi laureato in Ingegneria Edile al Politecnico di Milano, dal 2014 al 2018 è stato assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Energetica dello stesso istituto. Dal 2018 lavora in ENERSEM, di cui è socio, occupandosi di monitoraggio, diagnosi energetica in ambito civile e industriale, analisi e ottimizzazione di impianti HVAC.

In particolare, è stato responsabile del progetto LIFE TTGG, in Italia e in altri paesi europei, con l'obiettivo di quantificare i consumi energetici di caseifici, elaborando soluzioni per l'efficienza energetica e la riduzione dell'impronta ambientale.

Francesco SANTORO Ricercatore universitario e vincitore di concorso per Professore associato di Meccanica Agraria (SSD AGR/09) presso il Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali, Università degli studi di bari Aldo Moro (da marzo 2001). Autore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche e monografie in diversi ambiti tra cui precision e smart agriculture, sicurezza sul lavoro in agricoltura ed energetica in agricoltura.). Laurea in Ingegneria Civile-Edile-Strutture, Politecnico di Bari, 1994 e PhD in Ingegneria Geotecnica, Università degli Studi di Ancona & Politecnico di Bari

Antonio Marco PANTALEO Professore associato di Fisica Tecnica Industriale (SSD ING-IND/10) presso il Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali, Università degli studi di bari Aldo Moro (da febbraio 2020) e Research fellow presso il Clean Energy processes laboratory e Centre for Process Systems Engineering, Department of Chemical engineering, Imperial College London (da aprile 2014). Attualmente ricopre l'incarico di Programme manager presso European Innovation Council, European Commission, settore energia e Green Deal (da ottobre 2020, in fuori ruolo da Università di Bari). E' Delegato di Università di Bari presso la Rete Università Sostenibili, sottogruppo energia, Rappresentante Università di Bari nel distretto produttivo regionale la Nuova Energia, Delegato Università di Bari nel centro di competenza Meditech – settore energia, Membro del Collegio dei Docenti del Dottorato in ingegneria meccanica, Politecnico di Bari, Esperto Gestione Energia, settore industriale, Rina Services (gennaio 2020). Laurea in Ingegneria Elettrica, Politecnico di Bari, 2000 e PhD in Chemical engineering, Imperial College London, 2013.