



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

Relazione sulle attività aggiuntive effettuate a giustificazione dei maggiori costi di personale per la LA 2.9

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

### Relazione sulle attività aggiuntive effettuate a giustificazione dei maggiori costi di personale per la LA 2.9

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

Relazione sulle attività aggiuntive

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 / prof. Francesco Santoro

## Indice

Sommario .....	4
1 Giustificazione sui maggiori costi di personale .....	5
2 Conclusioni.....	6

## 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.

Nello studio proposto con l'attività LA 2.9 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 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 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 ha analizzato 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.

Tali analisi hanno consentito di poter stimare la **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.

I risultati riportano valori prudenziali di circa: **300-1000 MWh<sub>t</sub>** a servizio di sistemi di recupero di calore di Processo a Bassa temperatura, 10-150°C; **100-300 MWh<sub>t</sub>** a servizio di sistemi di recupero di calore di Processo a Media temperatura, 150-400°C; **1500 MWh<sub>t</sub>** a servizio di sistemi di recupero di calore a Bassa temperatura da Cogeneratori, 10-150°C.

## 1 Giustificazione sui maggiori costi di personale

La finalità del lavoro della LA2.9 è stato quello 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.

In particolare, lo studio propone una analisi (*Paragrafo 2.2 della relazione LA2.9 "Sistemi di accumulo termico a calore latente nell'Industria manifatturiera"*) dell'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. Il successivo *Paragrafo 2.3* descrive le modalità di utilizzo dell'energia termica e frigorifera nei settori industriali di maggior interesse, mentre il *Paragrafo 2.4* analizza la presenza della cogenerazione nell'industria manifatturiera, con particolare attenzione al tema dell'efficienza termica dei sistemi installati.

Il *Paragrafo 2.5* presenta alcuni casi d'uso, che sono poi oggetto di approfondimento nel report di cui alla linea L2.17. Infine, nei *Paragrafi 2.6 e 2.7* della relazione summenzionata ("Sistemi di accumulo termico a calore latente nell'Industria manifatturiera") si riportano le stime relative alle potenzialità di installazione di capacità d'accumulo con sistemi LHTES e le previsioni di sviluppo di tale tecnologia.

Tutte le analisi di cui ai punti precedenti, nella definizione iniziale del progetto, avrebbero richiesto l'acquisizione di dati su impianti esistenti, acquisibili attraverso le missioni previste tra le attività di progetto, con relativi costi. Tuttavia, il perdurare dell'emergenza Covid-19 e della impossibilità di visitare impianti per raccolta dati nel 2020 e 2021 (estesa zona rossa alla Puglia per lunghi periodi) ha reso necessario, per poter comunque concludere l'attività prevista, un aumento dei costi di personale, per compensare le mancate dette missioni, che avrebbero accelerato le tempistiche di acquisizione dati.

In particolare, a causa della pandemia, si è riscontrata l'impossibilità di effettuare le previste missioni presso gli impianti per raccogliere dati sperimentali su macchinari, impianti e profili di consumo energetico. Questo ha determinato la necessità di reperire, attraverso dati di letteratura e ulteriori analisi, gli elementi mancanti, con maggiore quantità di lavoro e conseguenti maggiori costi di personale. La situazione è stata aggravata dall'indisponibilità del personale di stabilimento, spesso impegnato in altre urgenze più importanti o in taluni casi in smart working. Tutto ciò ha reso inevitabilmente necessario il reperimento di dati da banche dati, letteratura e messa a punto di sistemi di previsione dei consumi energetici e del funzionamento dei macchinari in vari regimi, non previsto nella fase iniziale del progetto, e che ha determinato la necessità di maggiori ore uomo di lavoro.

## 2 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%.

Lo studio condotto nell'ambito della LA 2.9 ha consentito di evidenziare come tale applicazione sia particolarmente indicata 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.

Lo studio di cui alla attività 2.9 ha analizzato il settore manifatturiero italiano e in particolare l'uso nei processi di energia termica e la cogenerazione, che determinano notevoli dissipazioni di calore, attraverso l'utilizzo 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). Tutte queste analisi hanno determinato la necessità di un numero di ore uomo di lavoro maggiore rispetto a quanto previsto in una fase iniziale, per sopperire alla mancanza di dati direttamente acquisiti da impianti in funzione, per via della impossibilità di effettuare le previste missioni ed incontrare i responsabili dei vari impianti manifatturieri.

A partire dalle analisi effettuate, è stato possibile individuare 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 ha analizzato 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<sub>t</sub>** a servizio di sistemi di recupero di calore di Processo a Bassa temperatura, 10-150°C

- **100-300 MWh<sub>t</sub>** a servizio di sistemi di recupero di calore di processo a Media temperatura, 150-400°C
- **1500 MWh<sub>t</sub>** 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.

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 nella attività 2.9) 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.

## 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