



Ricerca di Sistema elettrico

Attività di disseminazione dei risultati svolte da ENEA nel 2021 relativamente al tema dell'accumulo termico

R. Liberatore, M. Lanchi, A. Miliozzi, G.S. Sau, A. Spadoni, A. C.
Tizzoni, E.M Veca, D. Nicolini, L. Turchetti, N. Corsaro

Attività di disseminazione dei risultati svolte da ENEA nel 2021 relativamente al tema dell'accumulo termico

R. Liberatore, M. Lanchi, A. Miliozzi, G.S. Sau, A. Spadoni, A. C. Tizzoni, E.M Veca, D. Nicolini, L. Turchetti, N. Corsaro

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: 1.2 Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico, power to gas, e relative interfacce con le reti

Work package: 2

Linea di attività: 21 Informazione, diffusione ed interazione su attività innovative di accumulo di energia termica

Responsabile del Progetto: ing. Giulia Monteleone ENEA

Responsabile del Work package: ing. Raffaele Liberatore ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 PARTECIPAZIONE AD EVENTI	5
2.1.1 <i>Energy Storage Technology Collaboration Platform – ExCO91</i>	5
2.1.2 <i>Energy Storage Technology Collaboration Platform – ExCO92</i>	6
2.1.3 <i>Highlights of Energy Research 2021 "Energy storage - key element to energy transition"</i>	6
2.1.4 <i>Joint IEA Energy Storage Task 36 – Supergen Energy Storage Network+ “Carnot Batteries – Academia meets Industry</i>	7
2.1.5 <i>3rd Joint IEA Energy Storage Task 36 – “Carnot Batteries”</i>	7
2.1.6 <i>4th Joint IEA Energy Storage Task 36 – “Carnot Batteries”</i>	8
2.1.7 <i>Sfide tecnologiche per una decarbonizzazione profonda in Italia</i>	8
2.1.1 <i>Congresso internazionale EnerStock 2021</i>	9
2.1.2 <i>Congresso internazionale Solar Paces</i>	11
2.2 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE	12
2.2.1 <i>Articoli pubblicati</i>	12
2.2.2 <i>Rapporti con mondo accademico ed industriale</i>	14
2.2.3 <i>Missioni</i>	14
3 CONCLUSIONI.....	14

Sommario

Il documento riporta una sintetica descrizione delle attività di informazione, diffusione ed interazione svolte dai ricercatori per perseguire efficacemente gli obiettivi delle linee di ricerca sull'Accumulo Termico e divulgare i risultati raggiunti al mondo accademico e industriale. Il presente Report, infatti, riporta le principali azioni intraprese per la disseminazione, quali la partecipazione a workshop e congressi e la pubblicazione di articoli, con lo scopo di promuovere la divulgazione delle innovazioni scientifiche sull'accumulo termico a più livelli, sia a vantaggio del mondo accademico che di quello industriale, raccogliendo al contempo le istanze degli utenti finali per un ricorsivo allineamento degli obiettivi della ricerca.

1 Introduzione

La disseminazione e la condivisione dei risultati è un elemento cardine tra le attività previste nel piano triennale di realizzazione 2019-2021 di ENEA, nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico.

Relativamente alla tematica dell'accumulo termico, nel corso della III annualità, le suddette attività sono state svolte da ENEA attraverso la produzione di alcune pubblicazioni scientifiche e con la partecipazione a conferenze nazionali ed internazionali, tavoli tecnici e riunioni di esperti nell'ambito di programmi di collaborazione tecnologica dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA). Durante tali eventi, i ricercatori ENEA hanno potuto confrontarsi con altri esperti del settore, illustrando le proprie attività e verificandone l'allineamento con le principali strategie nazionali ed internazionali sui temi relativi alla tematica dell'accumulo di energia termica, al suo uso e al suo impiego, anche in vista di una decarbonizzazione dei settori industriali.

Nel presente documento viene riportata una sintetica descrizione degli eventi a cui ha partecipato ENEA nel corso della III annualità ed un elenco delle pubblicazioni scientifiche prodotte.

Si riportano anche le principali attività di confronto e coordinamento tra ENEA e i co-beneficiari, finalizzate a rendere coerente l'attività di ricerca nell'ambito del WP2, dedicato allo sviluppo di sistemi innovativi e compatti per l'accumulo termico, anche attraverso l'uso di materiali a cambiamento di fase o reazioni termochimiche.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Partecipazione ad eventi

2.1.1 Energy Storage Technology Collaboration Platform – ExCO91

IEA Energy Storage (ES) è uno dei Technology Collaboration Programs (TCP) all'interno dell'International Energy Agency (IEA). Attualmente al TCP-ES partecipano attivamente 19 paesi e 2 sponsor. I paesi rappresentati sono: Austria, Belgio, Canada, Cina, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Italia, Giappone, Norvegia, Slovenia, Sud Corea, Olanda, Svezia, Turchia, Regno Unito, Stati Uniti e Svizzera.

Gli sponsor sono l'Irlanda tramite la Dublin Energy Lab e la Spagna, tramite l'Università di Barcellona e di Lleida.

Il principale fine di IEA-ES è quello di facilitare la ricerca, lo sviluppo, l'implementazione e l'integrazione di tecnologie di immagazzinamento dell'energia, quali l'accumulo di energia elettrica, l'accumulo di energia termica, l'accumulo di energia distribuita e l'accumulo di energia geotermica.

Tipicamente si tengono riunioni semestrali tra i vari delegati e/o alternate (alt) nazionali, organizzate in posti diversi dai partner partecipanti.

L'ENEA ha partecipato al 91° meeting con il delegato italiano, ing. Raffaele Liberatore e l'alt delegate dr.ssa Margherita Moreno. Il meeting si sarebbe dovuto tenere a Lubiana (Slovenia), ma per le restrizioni relative alla pandemia da Covid-19 si è svolto on-line.

Da rimarcare, come avvenimenti di questa riunione che :

La Repubblica Ceca è entrata ufficialmente come nuovo stato membro; Israele è in avanzato stato procedurale per diventare stato membro; L'Università di Siviglia (Spagna) è interessata a partecipare come sponsor; L'Università di Rijeka (Croazia) è interessata a partecipare come sponsor; Sono stati presentati gli stati di avanzamento dei task/annex attivi: Modelling of Energy Storage for Simulation/Optimization of Energy Systems (annex 32); affordable heating and cooling for buildings in the 21st century (Comfort, Climate Box) (annex 34); Flexible Sector Coupling (annex 35); Carnot Batteries (annex 36); Smart Design and Control of Energy Storage Systems (annex 37); District Heating and Storage (annex 39);

Sono state inoltre accettate le due seguenti proposte:

- Ground Source De-icing of Infrastructure (annex 38);
- Material and Component Development for Thermal Energy Storage; TCM-PCM (annex 40).

Sono stati infine presentati i Country report di: Repubblica Ceca, USA, Italia, Finlandia, Germania e Paesi Bassi. In tali presentazioni sono stati evidenziati i principali progetti nazionali sull'accumulo di energia. A tal proposito nella newsletter dell'IEA-ES uscita il 30/06/2021, sono stati inseriti i principali progetti nazionali riguardanti l'accumulo termico in Italia e tra questi è presente il Progetto LA1.2 WP2.

In **Tabella 2-1** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-1 - ExCO89 07-08 giugno 2021

Titolo	IEA ES TCP Executive Commette Meeting (XC91)
Luogo	Web meeting
Periodo	07/06/2021 – 08/06/2021
Tipologia	Executive Commette meeting
Numero indicativo partecipanti	41
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

2.1.2 Energy Storage Technology Collaboration Platform – ExCO92

L'ENEA ha partecipato al 92° meeting con il delegato italiano, ing. Raffaele Liberatore. Il meeting si sarebbe dovuto tenere a Vienna (Austria), ma per le restrizioni associate alla pandemia da Covid-19 si è svolto on-line.

Da sottolineare che, in questa sede, Israele è entrato a far parte del gruppo. Sono stati presentati gli aggiornamenti dei task/annex e sono stati presentati i Country Reports di Austria, Cina, Francia e UK.

In **Tabella 2-2** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-2 - ExCO92 24-25 novembre 2021

Titolo	IEA ES TCP Executive Commette Meeting (XC92)
Luogo	Web meeting
Periodo	24/11/2021 – 25/11/2021
Tipologia	Executive Commette meeting
Numero indicativo partecipanti	40
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

2.1.3 Highlights of Energy Research 2021 "Energy storage - key element to energy transition"

L'ENEA ha partecipato a questo evento con l'ing. Raffaele Liberatore. Il workshop si sarebbe dovuto tenere a Vienna (Austria), ma per le restrizioni associate alla pandemia da Covid-19 si è svolto on-line.

L'evento è partito dalla consapevolezza che l'uso crescente di fonti di energia rinnovabili fluttuanti e il decentramento della produzione di energia richiedono nuovi approcci per la distribuzione e lo stoccaggio dell'energia. Le tecnologie innovative per lo stoccaggio dell'energia e la flessibilizzazione della domanda di energia svolgono un ruolo importante come tecnologie chiave sulla strada per un sistema energetico decarbonizzato. L'evento è stato organizzato dal Ministero federale per l'azione per il clima, l'ambiente, l'energia, la mobilità, l'innovazione e la tecnologia (BMK) dell'Austria e si è concentrato proprio sul tema "Stoccaggio di energia". Teun Bokhoven, presidente dell'IEA Energy Storage Technology Collaboration Program (TCP), ha fornito approfondimenti sulle attività dell'Energy Storage TCP e ha parlato dell'importanza dell'accumulo di energia nel sistema energetico globale trasformato.

Sono state quindi presentate analisi di mercato degli accumulatori di energia in Austria e vari progetti di ricerca, che hanno coperto un'ampia gamma di argomenti, dallo sviluppo delle batterie all'accumulo di calore su larga scala e all'accoppiamento settoriale. Una tavola rotonda sulla rilevanza delle diverse tecnologie di accumulo di energia nelle strategie di decarbonizzazione di tre paesi europei ha completato il programma.

Questo evento era rivolto a esperti di energia e parti interessate dell'industria, della scienza, della politica e dell'amministrazione

In **Tabella 2-2** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-3 - Highlights of Energy Research 2021 "Energy storage - key element to energy transition"

Titolo	Highlights of Energy Research 2021 "Energy storage - key element to energy transition"
Luogo	Web meeting
Periodo	23/11/2021
Tipologia	Workshop
Numero indicativo partecipanti	100
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

2.1.4 Joint IEA Energy Storage Task 36 – Supergen Energy Storage Network+ “Carnot Batteries – Academia meets Industry

L'ENEA ha partecipato a questo evento con la dr.ssa Anna Chiara Tizzoni.

L'obiettivo era riunire le comunità dell'industria e del mondo accademico per identificare le principali sfide nelle Carnot Batteries (CB) e il loro ruolo nel futuro sistema energetico a zero emissioni di carbonio e per discutere su come possa lavorare insieme per affrontare le sfide. L'attenzione si è concentrata sulla comprensione dello stato dell'arte nello sviluppo e nella dimostrazione di componenti CB chiave come ad es. compressori, espansori, scambiatori di calore, pompe, accumulo di calore/freddo. Sono state messe in luce le loro prestazioni sia in condizioni statiche che dinamiche, nonché in condizioni di progetto e fuori progetto e aspetti economici.

Questo evento era rivolto a esperti di energia e parti interessate dell'industria e della scienza.

In **Tabella 2-2** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-4 - Supergen Energy Storage Network+

Titolo	Supergen Energy Storage Network+ “Carnot Batteries – Academia meets Industry
Luogo	Web meeting
Periodo	28/01/2021-29/01/2021
Tipologia	Workshop
Numero indicativo partecipanti	100
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

2.1.5 3rd Joint IEA Energy Storage Task 36 – “Carnot Batteries”

Si sono svolte sessioni plenarie e 3 parallele: Subtask 0, la sessione Joint Subtask A/B/C e la sessione Subtask D, dove i partecipanti hanno avuto la possibilità di discutere dei loro compiti e dei progressi compiuti negli ultimi mesi. Nelle sessioni plenarie i partecipanti si sono riuniti per discutere alcuni argomenti trasversali del Task 36, per esempio lo scambio di dottorandi tra le istituzioni non appena la pandemia lo consentirà. Sei è deciso che un elenco di candidati disponibili e istituzioni ospitanti sarà

elaborato e distribuito tra i partecipanti a questo Task e caricato sul punto di condivisione per il suo continuo aggiornamento. L'organizzazione di workshop mirati come “Carnot Batteries – Academia meet industry” è stato identificato come risultato positivo di questo task e si prevede che altri webinar o workshop saranno organizzati.

L'ing. Michela Lanchi ha partecipato al meeting per ENEA.

In **Tabella 2-5** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-5 - 3th IEA-ES Task 36 experts meeting

Titolo	Carnot Batteries
Luogo	Web meeting
Periodo	15/04/2021 – 16/04/2021
Tipologia	Experts meeting
Numero indicativo partecipanti	93
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

2.1.6 4th Joint IEA Energy Storage Task 36 – “Carnot Batteries”

L'ing. Michela Lanchi ha partecipato al meeting per ENEA, presentando le attività ENEA in corso e le prospettive della ricerca sull'accumulo termico.

Dan Bauer (DLR), operating agent, ha tenuto una presentazione sullo stato della Task 36 e sulla struttura della finale rapporto. La struttura della relazione finale è stata discussa in dettaglio nelle sessioni parallele.

Al termine della sessione plenaria i partecipanti al Task 36 hanno tenuto una presentazione delle loro attività e progetti di ricerca.

Le sessioni congiunte e parallele sono state condotte sotto forma di incontri, dove tutti i partecipanti, sia quelli che hanno partecipato online che di persona, hanno potuto prendere parte attiva nelle discussioni.

In questa sessioni sono stati discussi e sviluppati i seguenti argomenti: Panoramica della tecnologia; Sistemi disponibili (schede informative); Progettazione e configurazioni; KPI; Pagina Wikipedia; Discussioni sulla domanda di ricerca e sviluppo delle batterie Carnot; Roadmap/raccomandazioni di ricerca e sviluppo; Modellazione e Simulazione; mercati e decisori politici.

In **Tabella 2-5** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-6 - 4th IEA-ES Task 36 experts meeting

Titolo	Carnot Batteries
Luogo	Web meeting
Periodo	09/09/2021 – 10/09/2021
Tipologia	Experts meeting
Numero indicativo partecipanti	78
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

2.1.7 Sfide tecnologiche per una decarbonizzazione profonda in Italia

In questo meeting è stato presentato il rapporto IEA “Energy Technologies Perspectives 2020”. L'evento è stato organizzato da MiSE, Ministero Esteri, RSE ed ENEA. All'interno di esso è stata anche effettuata la presentazione orale “Accumulo energetico : sviluppi recenti e sfide future” (presentato da R. Liberatore –

ENEA) ove sono state illustrate le linee di attività sull'accumulo di energia in Italia, comprensive di quelle finanziate nel presente progetto 1.2.

L'Italia è molto impegnata nella promozione della transizione energetica e ha stabilito obiettivi sfidanti, attraverso il PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima), per azzerare le emissioni di gas climalteranti entro il 2050 seguendo una traiettoria di progressivo ma deciso allontanamento dalle fonti fossili. Alla luce della presentazione da parte dell'IEA dei principali messaggi dell'ETP 2020 (Energy Technology Perspective 2020), opportunamente interpretati per la situazione specifica del nostro paese, il webinar, aperto al pubblico, è stato occasione di confronto tra i rappresentanti nazionali dei programmi di ricerca IEA che contribuiscono all'evoluzione e all'applicazione delle tecnologie pulite, in un'ottica di collaborazione internazionale aperta e costruttiva.

In **Tabella 2-7** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-7 - Sfide tecnologiche per una decarbonizzazione profonda in Italia

Titolo	Sfide tecnologiche per una decarbonizzazione profonda in Italia
Luogo	Web meeting
Periodo	07/10/2020
Tipologia	Workshop divulgativo
Numero indicativo partecipanti	200
Tipologia partecipanti	Esperti del settore, politici e pubblico interessato

2.1.1 Congresso internazionale EnerStock 2021

EnerStock è una Conferenza internazionale interamente dedicata all'accumulo di energia, che si sarebbe dovuta tenere a Lubiana (Slovenia), ma che per l'emergenza sanitaria dovuta al Covid-19 si è tenuta on-line.

In **Tabella 2-7** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-8 EnerStock 2021

Titolo	EnerStock 2021
Luogo	Web meeting
Periodo	09/06/2021-11/06/2021
Tipologia	Congresso internazionale
Numero indicativo partecipanti	800
Tipologia partecipanti	Esperti del settore, politici e pubblico interessato

In tale ambito l'ing. Raffaele Liberatore ha fatto parte della Commissione scientifica ed è stato chairman della sessione "Power to X application".

In tale Congresso, nell'ambito dell'accumulo termico, ENEA ha presentato 3 lavoro, dei quali due presentazioni orali ed 1 poster con short breve presentazione orale si riassume di seguito il contenuto.

Presentazioni orali:

1) Use of a simplified numerical model for the thermal performance evaluation of a tube&shell LHTES

Autori: Nicolini D., Miliozzi A., Liberatore R

Presentazione orale dell'ing. Daniele Nicolini

Questo articolo tratta della campagna sperimentale effettuata, utilizzando i sali solari come PCM, attraverso un'apparecchiatura appositamente sviluppata e realizzata nel CR ENEA Casaccia per approfondire le dinamiche di scambio termico, ottimizzare il sistema e renderlo pronto per applicazioni industriali. I risultati hanno mostrato che l'energia massima caricata nel modulo è una funzione del flusso

del fluido di trasferimento termico (HTF) (tra 200 e 800 kg/h) e varia da 6,3 a 6,9 kWh, con tempi compresi tra 5 e 13,5 h. La potenza media di carica è maggiore alle portate elevate: 1,8 kW a 800 kg/h, 1,29 kW a 400 kg/h e 0,8 kW a 200 kg/ora. Durante la fase di scarica, invece, permane l'energia rilasciata dal PCM sostanzialmente costante (4,98 kWh) nel range di portata 800-400 kg/h (mote turbolento), mentre è inferiore (3,96 kWh) di 200 kg/h (regime laminare). Inoltre, diminuendo la portata, i tempi di scarica aumentano (da 6,5 a 8 h) e la potenza di scarica diminuisce (da 0,49 a 0,27 kW).

Per quanto riguarda le dispersioni termiche, a parità di portata, variano linearmente con la temperatura e sono tra 200 e 250 W a 200 °C e tra 250 e 300 W a 260 °C. Infine, l'insieme di cicli di carica e scarica porta ad una conservazione di 4,5-5 kWh in 5 ore per ogni ciclo, ad eccezione del primo dove, partendo da un impianto più freddo, sono stati accumulati circa 6,6 kWh. Si segnala inoltre che, con cicli della durata prescelta, parte dell'energia caricata non viene poi recuperata e quindi rimane all'interno del TES.

2) Thermochemical heat storage through CaO-Mayenite/CaCO₃ system: thermal performances comparison for two synthesis methods.

Autori: Spadoni A., Sau S., Corsaro N., Lanchi M., Tizzoni A.C., Veca E.M., Turchetti L., Mansi E., Liberatore R.
Presentazione orale dell'ing. Raffaele Liberatore

Finora stati utilizzati materiali a base di CaO che utilizzavano mayenite (Ca₁₂Al₁₄O₃₃) come matrice inerte sviluppato e proposto per applicazioni di cattura della CO₂ attraverso processi di looping del calcio. Questi sistemi sono molto promettenti anche per scopi di stoccaggio termochimico (TCS), principalmente grazie alla loro alta entalpia di reazione, secondo la reazione reversibile gas-solido: CaO (s) + CO₂ (g) → CaCO₃ (s) + 178 kJ / mol. Nell'ambito dell'accumulo termochimico, diversi aspetti riguardanti i sistemi CaO/mayenite devono essere ulteriormente approfonditi e studiati, come le proprietà termiche e la densità di accumulo effettiva. In genere, queste proprietà dipendono dal metodo di sintesi adottato. Il presente lavoro si propone di valutare l'effetto di due differenti metodi di preparazione, vale a dire un metodo sol-gel in una fase (campione A) e un metodo di impregnazione in due fasi (campione B), sulle proprietà termofisiche di un materiale CaO / CaCO₃ supportato da mayenite, in considerazione della sua applicazione nei sistemi TCS. A questo scopo sono stati analizzati diversi campioni di polvere di CaO/mayenite per determinare proprietà rilevanti come capacità termica, entalpia di reazione, conducibilità termica e massima conversione raggiungibile. I risultati ottenuti sono stati confrontati per selezionare il miglior metodo di sintesi, che risulta essere quello di impregnazione, poiché il campione B ha mostrato una conversione di carbonatazione maggiore e proprietà termofisiche più performanti.

Poster e breve presentazione orale

1) Thermal characterization of a latent heat thermal energy storage system through an 8.5 kWh experimental prototype

Autori: Liberatore R., Miliozzi A., Nicolini D.

Poster e breve presentazione orale dell'ing. Raffaele Liberatore

L'utilizzo di sistemi di accumulo termico (TES) finalizzati al recupero del calore per un migliore utilizzo delle rinnovabili l'energia è un passaggio fondamentale per l'efficienza, la sostenibilità economica e ambientale dell'energia processi. I sistemi di accumulo di calore latente che utilizzano materiali a cambiamento di fase (PCM) hanno compattezza intrinseca e elevata capacità di archiviazione. Quindi, un impianto sperimentale, denominato ATES dedicato alla caratterizzazione di PCM per applicazioni fino a 400°C (a seconda del fluido termovettore utilizzato), è stato realizzato presso il CR ENEA Casaccia di Italia. Inoltre, partendo dalle conoscenze acquisite, è stato sviluppato un prototipo, denominato LH01 e implementato, in cui sono state adottate alcune soluzioni per potenziare i fenomeni di scambio termico evidenziato sopra. Questo articolo tratta della campagna sperimentale recentemente effettuata, utilizzando sali solari come PCM, attraverso

questa apparecchiatura, approfondisce le dinamiche di scambio termico, ottimizza il sistema per applicazioni industriali.

2.1.2 Congresso internazionale Solar Paces

SolarPACES (Solar Power and Chemical Energy Systems) è una rete cooperativa internazionale che riunisce team di ricercatori/esperti/aziende di tutto il mondo per lo sviluppo e la commercializzazione di sistemi a concentrazione solare (CSP). All'interno di SolarPACES, i singoli progetti di ricerca, sviluppo e dimostrazione sono organizzati nell'ambito di attività tematiche specifiche. Ci sono sei task attualmente intraprese dal programma SolarPACES: Solar Thermal Electric Systems, Solar Chemistry Research, Solar Technology and Advanced Applications, Solar Heat for Industrial Processes, Solar Resource Assessment and Forecasting, Solar Energy and Water Processes and Applications.

La Conferenza internazionale ha cadenza annuale e nel 2021 si sarebbe dovuta tenere ad Albuquerque (New Mexico – USA), tuttavia per le restrizioni associate alla pandemia da Covid-19 si è tenuta on-line. La conferenza, in particolare, includeva topic connessi all'accumulo termico con materiali a cambiamento di fase e, pertanto, risultava in linea con gli obiettivi specifici della disseminazione dei risultati della LA2.21. Inoltre, i proceedings ritenuti di interesse, dopo processo di revisione peer-review, verranno pubblicati in open-access ed indicizzati su SCOPUS (AIP Proceedings).

In **Tabella 2-7** sono mostrati luogo, periodo, tipologia, numero indicativo e tipologia di partecipanti.

Tabella 2-9 Solar Paces 2021

Titolo	Solar Paces 2021
Luogo	Web meeting
Periodo	27/09/2021-01/10/2021
Tipologia	Congresso internazionale
Numero indicativo partecipanti	800
Tipologia partecipanti	Esperti del settore, politici e pubblico interessato

In tale Congresso, nell'ambito dell'accumulo termico, ENEA ha presentato 1 lavoro, dei quali si riassume di seguito il contenuto.

Presentazione orale:

Carbonation Reaction of the CaO-Mayenite System: Kinetic Analysis at Different CO₂ Partial Pressures

Lanchi M., Murmura A.M., Spadoni A., Sau S., Tizzoni A.C., Corsaro N., Turchetti L., Liberatore R., Annesini M.C.

Presentato da dr.ssa Annarita Spadoni

I sistemi di stoccaggio termochimico a base di carbonati sono molto promettenti data la loro elevata densità di energia e bassa tossicità. Tuttavia, ci sono pochi dati in letteratura sulle loro caratteristiche termodinamiche e cinetiche, che sono parametri necessari per valutare lo sfruttamento di questi materiali per applicazioni pratiche. Lo scopo del presente lavoro consisteva nell'investigare la cinetica della fase di scarico della carbonatazione, che rappresenta il processo di determinazione della velocità di questo mezzo di accumulo. A tal fine è stata condotta una campagna sperimentale dedicata, considerando due differenti temperature (600 e 700 °C) e diverse pressioni parziali di anidride carbonica. I risultati hanno mostrato che la reazione di scarico può essere rappresentata da un modello Multigrain Shrinking Core e che il tasso di conversione è indipendente dalla temperatura, mentre l'effetto della diffusività del gas aumenta da 600 a 700°C.

2.2 Pubblicazioni scientifiche

2.2.1 Articoli pubblicati

Development and Characterization of Concrete/PCM/Diatomite Composites for Thermal Energy Storage in CSP/CST Applications

Miliozzi A., Dominici F., Candelori M., Veca E., Liberatore R., Nicolini D., Torre L.

Publicato su: *Energies* 2021, 14 (15), 4410; doi: 10.3390/en14154410; IF: 3.004

I sistemi di accumulo di energia termica (TES) per impianti solari a concentrazione sono essenziali per il dispiegamento delle fonti di energia rinnovabile in termini di dispacciabilità dell'energia, aspetti economici e il loro più ampio utilizzo. E' stato dimostrato che i sistemi TES basati sull'uso del calcestruzzo possiedono buone caratteristiche di scambio termico, ampia disponibilità del mezzo di accumulo di calore e basso costo. Pertanto, lo scopo di questo lavoro era lo sviluppo e la caratterizzazione di un nuovo accumulatore di calore a base di calcestruzzo contenente una miscela di calcestruzzo in grado di funzionare a medio-alte temperature con prestazioni migliorate rispetto ad altre mescole. In questo lavoro, una piccola quantità di materiale a cambiamento di fase (PCM) è stato incluso, sviluppando così un nuovo materiale in grado di immagazzinare energia sia come calore sensibile e latente. Questo materiale è stato quindi caratterizzato termicamente e meccanicamente e ha mostrato proprietà termiche aumentate come la densità di energia immagazzinata (fino a +7%, con una differenza di temperatura di 100°C ad una temperatura media di esercizio di 250°C) quando è stato aggiunto il 5% in peso di PCM.

Sfruttando queste caratteristiche, in particolare la maggiore densità di energia, si ottengono sistemi di accumulo di energia più compatti ed economicamente più vantaggiosi per essere realizzati per funzionare all'interno di un intervallo di temperatura di circa 150–350 °C con una riduzione, rispetto ad un sistema di accumulo cementizio di energia di energia termica (senza PCM), di circa il 7% per il volume e il costo richiesto.

Thermal Properties of Shape-Stabilized Phase Change Materials Based on Porous Supports for Thermal Energy Storage

Miliozzi A., Dominici F., Torre L.

Publicato su: *Energies* 2021, 14 (21), 7151; doi.org/10.3390/en14217151; IF: 3.004

L'utilizzo di materiali a cambiamento di fase (PCM) per l'accumulo di energia termica (TES) è di grande rilevanza, soprattutto per lo sfruttamento, in vari modi, della principale risorsa ecologica offerta dall'energia solare. Sfortunatamente, la transizione allo stato liquido del PCM richiede sistemi complessi e ne limita l'applicazione. L'obiettivo di produrre materiali a cambiamento di fase stabilizzati in forma (SSPCM) è perseguito principalmente attraverso l'uso di mezzi in grado di contenere PCM durante le transizioni solido/liquido e viceversa. In questo lavoro, sono stati considerati quattro materiali economici stabilizzatori di forma: sepiolite, diatomite, palygorskite e zeolite e due sali fusi come PCM, per media ed alta temperatura. L'SSPCM, prodotto con un metodo di risparmio energetico, ha mostrato una buona stabilità e prestazioni per l'accumulo termico. La diatomite incapsulare il PCM fino al 400% del suo peso, con un coefficiente di stabilizzazione della forma (SSc) del 97,7%. La zeolite presenta un SSc dell'87,3% con il 348% in peso di PCM. La sepiolite contiene il 330% in peso di PCM con un SSc di 82,7. Pertanto, questi materiali mostrano caratteristiche tali da poter essere utilizzati in modo efficiente nei sistemi di accumulo di energia termica, sia singolarmente che inseriti in una matrice adatta (ad esempio una matrice cementizia).

Performance of an indirect packed bed reactor for chemical energy storage

Delise T., Sau S., Tizzoni A.C., Spadoni A., Corsaro N., Liberatore R., Morabito T., Mansi E.

Publicato su: *Materials* 2021, 14 (18), 5149 10.3390/ma14185149; IF: 3.623

I sistemi di accumulo chimico (CS TES) sono promettenti percorsi innovativi per superare il problema della discontinuità dell'irraggiamento solare, al fine di rendere la tecnologia CSP economica e ad alta densità energetica. Lo scopo del presente lavoro riguarda la simulazione di un sistema TES basato su uno scambiatore di calore a letto impaccato indiretto (HX). Lo scopo è studiare questi tipi di configurazioni poiché sono disponibili pochi dati sperimentali e di modellazione sulle applicazioni pratiche.

Data la possibilità di utilizzare l'aria sia come reagente che come HTF, la simulazione è stata eseguita tenendo conto di un sistema a base di spinello caratterizzato in un precedente lavoro, presentante basso costo e tossicità e preparato con una dimensione fattibile per reattori a letto impaccato. Per la modellazione è stata selezionata una configurazione simmetrica e il calcolo è stato effettuato considerando un 125 MW_{th} e un periodo di immagazzinamento di 8 ore.

In primo luogo, considerando i bilanci di massa ed energia per la fase di scarica, è stata calcolata la dimensione minima dello scambiatore di calore e quindi, per la fase di carica, sono state determinate la temperatura di ingresso HTF e la portata massica. Risolvendo le relative equazioni 1D di Navier-Stokes, sono state modellate le prestazioni in funzione della lunghezza HX sul tempo di carica e scarica. Nonostante la necessità di utilizzare temperature relativamente elevate in fase di carica, i risultati mostrano una buona efficienza di stoccaggio del sistema considerato.

High-temperature chloride-carbonate phase change material: thermal performances and modelling of a packed bed storage system

Tripi V., Tizzoni A.C., Mansi E., Spadoni A., Corsaro N., Liberatore R., Sau S., Capocelli M., Delise T., Della Libera A.

Publicato su: *Energies* 2021, 14 (17), 5339 10.3390/en14175339; IF: 3.004

Gli eutettici dei sali fusi sono candidati promettenti come materiali a cambiamento di fase (PCM) per applicazioni di accumulo termico, soprattutto considerando la possibilità di stoccare e rilasciare calore ad alte temperature. Sebbene molti composti siano stati proposti a questo scopo nella letteratura scientifica, sono disponibili pochissimi dati sulle applicazioni effettive. In particolare, mancano le informazioni relative all'accumulo termico a temperature intorno ai 600°C, necessarie per l'accoppiamento con un ciclo Rankine ad alta efficienza.

Per questi motivi, il presente lavoro si occupa dello studio del comportamento termo-fisico di uno scambiatore di calore contenente un eutettico ternario economico e sicuro come sistema di accumulo, composto da cloruro di sodio, cloruro di potassio e carbonato di sodio. Questo materiale è stato preliminarmente e opportunamente selezionato e caratterizzato per soddisfare la necessaria temperatura di fusione e l'entalpia latente. A sua volta, per la simulazione è stato considerato uno scambiatore di calore indiretto, ipotizzando che capsule di alluminio confinassero il PCM, ottenendo così la massima superficie di scambio termico possibile. L'aria pressurizzata a 5 bar è stata presa in considerazione come fluido termovettore (HTF).

La modellazione è stata effettuata impostando le temperature dell'aria in ingresso e in uscita rispettivamente a 290 ° C e 550 ° C e i risultati mostrano un'efficienza di stoccaggio realistica di circa 0,6. Infine, è stato stimato un costo di investimento conservativo per il sistema di stoccaggio, a dimostrazione di un reale vantaggio economico possibile nell'utilizzo di queste tipologie di materiali e geometrie di scambio termico, con risultati variabili, a seconda dei possibili prezzi di fabbricazione, in un range da 25 a 40 € / kWh.

2.2.2 Rapporti con mondo accademico ed industriale

Lezioni/seminari Università

Raffaele Liberatore (ENEA) in data 15/11/2021 ha tenuto una lezione/seminario di 3 ore in lingua inglese (in modalità “ibrida”) nell’ambito del corso Advanced Energy Conversion Systems, corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica, presso la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale, Università La Sapienza di Roma, introducendo le tematiche dell’accumulo termico trattate in questo WP. Tale evento è stato seguito da circa 40 studenti in remoto e 20 in presenza.

Riunioni con co-beneficiari

Sono state tenute periodiche riunioni con ricercatori e docenti di UNIPG, UNIBA, POLIBA, UNIPD e UNIRM1 per aggiornamenti sullo stato di attività e per rendere il lavoro omogeneo ed efficace, soprattutto quando i co-beneficiari erano coinvolti in attività di elaborazione di dati sperimentali realizzati in ENEA.

In tutte queste riunioni si è discusso sia della parte scientifica oggetto del contratto, sia della parte gestionale comprendente documentazione amministrativa, rendicontazione, rimodulazioni e responsabilità scientifiche.

2.2.3 Missioni

Tabella 2-10 Riunione presso Università degli Studi di Padova

Titolo	Sopralluogo/Riunione presso Cipiccia Calcestruzzi
Luogo	Padova (PD)
Periodo	18/10/2021 – 20/10/2021
Personale ENEA coinvolto	Adio Miliozzi, Daniele Nicolini
Motivazione	Riunioni tecniche
Tipologia partecipanti	Esperti del settore

La missione è stata effettuata dal 18 al 20 ottobre 2021 a Padova, presso l’università degli studi di Padova, dagli ingg. Adio Miliozzi e Daniele Nicolini. Nel corso del pomeriggio del 18/10 e della giornata del 19/10, si sono avute una serie di riunioni di lavoro, con i Prof. Doretti, Mazzucco e Salomoni, atte a verificare lo stato di avanzamento delle attività relative al PTR 2019-2021, progetto 1.2 WP2, a discutere dei risultati al momento raggiunti ed a discutere di possibili ulteriori sviluppi riguardanti l’accumulo termico.

3 Conclusioni

In questo documento sono state sinteticamente descritte le attività che i ricercatori ENEA hanno svolto per perseguire efficacemente gli obiettivi delle linee di ricerca sull’Accumulo Termico e per assicurare un’adeguata disseminazione dei risultati raggiunti relativamente allo sviluppo di sistemi innovativi e compatti per l’accumulo di energia termica, anche utilizzando materiali a cambiamento di fase e reazioni termochimiche.