

DESCRIZIONE TECNICA

I sistemi avanzati di accumulo termico si distinguono in tre diverse tecnologie: sistemi a calore sensibile, sistemi a calore latente e sistemi termochimici [1][2].

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 (CSP, Concentrated Solar Power).

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.

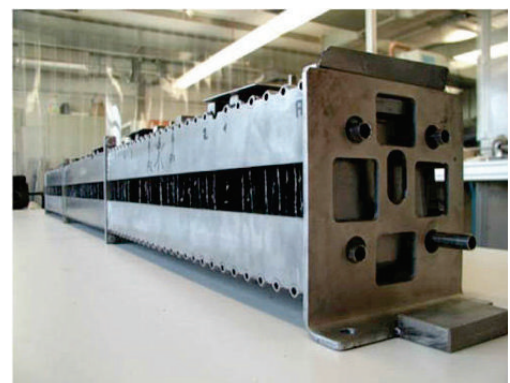
I **sistemi di accumulo termochimico** (Thermochemical Energy Storage) [3] si basano sull'energia assorbita e rilasciata durante la rottura e la formazione dei legami chimici o fisici durante una reazione completamente reversibile. Tali sistemi sono in fase di sviluppo, particolarmente per l'accumulo termico stagionale. Esistono piccole applicazioni già commercializzate per l'ottimizzazione energetica di processi [4].



Sistema di accumulo termico da 80MWh a due serbatoi e sali fusi dell'impianto dimostrativo "Archimede" realizzato da ENEL/ENEA a Priolo Gargallo.



Serbatoio di accumulo termico per riscaldamento di distretto in Austria con capacità termica di 2 GWh



Scambiatore di calore per una unità di accumulo termico a cambio di fase, con alettature fatte con fogli di grafite, prima del caricamento del materiale a cambiamento di fase.

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

Nel campo delle basse temperature, la diffusione dei sistemi di accumulo a calore latente e termochimici 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 (e.g. 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 alimentati da energia solare sperimentali sia per applicazioni in impianti a concentrazione CSP (capacità accumulo 200 kWh) [5] che per applicazioni domestiche (nel range della decina di kWh). Nel caso dei sistemi termochimici, sono stati realizzati impianti pilota di accumulo stagionale domestico e per District Heating. A livello commerciale è disponibile una lavastoviglie capace di sfruttare un piccolo sistema di accumulo termochimico per limitare i consumi di energia elettrica [4]. Notevole invece lo sforzo di ricerca fatto per sviluppare sia i sistemi a calore latente che quelli termochimici per le medie ed alte temperature dove sistemi di accumulo di capacità termica importante necessitano di mezzi di accumulo con densità di energia elevata.

Nazionale

La diffusione di sistemi di accumulo termico a calore latente e termochimici a livello nazionale è ancora limitata ad alcuni esempi sviluppati nell'ambito di progetti di ricerca, per applicazione nei settori del riscaldamento e raffrescamento solare domestico.

Elevato anche lo sforzo di ricerca nello studio e sviluppo di sistemi di accumulo a medio-alta temperatura in grado di avere costi contenuti e/o elevata densità di energia accumulata. Per quanto riguarda i mezzi a calore sensibile si stanno valutando soluzioni ingegneristiche innovative basate sull'uso di sali fusi o mezzi di accumulo di tipo cementizio al fine di ridurre il costo capitale del sistema. Alternativamente, si stanno sviluppando nuove soluzioni[7] per sistemi a calore latente per sfruttare l'elevata densità di energia accumulata (sistemi compatti) e incrementarne le prestazioni termiche, anche con l'aggiunta di eventuali nanoparticelle[8].

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

I sistemi di accumulo SHTES sono commerciali e quindi a TRL 8-9. I più innovativi si trovano ad un TRL 6-7.

A bassa temperatura la tecnologia è già commercializzata in sistemi portatili per la conservazione di alimenti, vaccini ecc. e in piccoli apparati domestici (e.g. lavastoviglie con sistema di accumulo integrato). In generale per l'accumulo termico a calore latente si considera un TRL da 5 ad 8, mentre per l'accumulo termico termochimico, TRL da 4 a 8. Sistemi di taglia domestica e industriale sono in fase di sviluppo, anche per accumulo stagionale.

Per i sistemi TES a medio-alta temperatura il TRL è 5-6 per gli LHTES e 3-4 per quelli termochimici.

RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

- Accumulo di energia termica da fonte rinnovabile solare, per applicazioni domestiche e di solar district heating
- Recupero ed accumulo di energia termica di scarto, con particolare riferimento alle applicazioni industriali.

VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

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.

POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

L'elevata disponibilità di fonte solare e dunque di energia termica da fonte rinnovabile sul territorio nazionale può rappresentare un importante stimolo allo sviluppo di sistemi di accumulo termico avanzati ad elevata densità di accumulo di energia. Tali sistemi risultano di primaria importanza al fine di incrementare la capacità di sfruttamento delle fonti rinnovabili la cui disponibilità risulta essere intrinsecamente variabile nel tempo. Inoltre, la spinta del governo verso un maggiore efficientamento energetico del settore civile ed industriale costituisce un ulteriore stimolo allo sviluppo.

IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

L'impatto ambientale dei sistemi di accumulo a calore latente e termochimici è limitato. Infatti, i materiali impiegati (e.g. zeoliti, Sali, paraffine) non presentano particolari problematiche dal punto di vista del consumo di materie prime e tantomeno del rilascio di elementi inquinanti. Al contrario, tali sistemi permettono di incrementare la capacità di sfruttamento di fonti rinnovabili di energia termica, contribuendo alla riduzione di emissioni da fonti fossili tradizionali.

Emissioni CO₂/MWh

Le emissioni di CO₂ dei sistemi di accumulo termico risultano nulle.

Emissioni CO₂/MWh evitate

Le emissioni di CO₂ evitate dipendono dalle condizioni operative. Un esempio, nel caso della lavastoviglia commercializzata recentemente, è che, in una prospettiva di impiego di 10 anni, si potrebbero limitare le emissioni per un totale di 526500 ton di CO₂ grazie al risparmio energetico indotto dall'implementazione dell'accumulo termochimico [4].

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

I sistemi di accumulo a calore latente consentono, a parità di condizioni, di incrementare la densità di accumulo dei classici sistemi a calore sensibile di quantità variabili fra il 20 e l'80%. I PCMs attualmente in commercio hanno dimostrato elevate stabilità a centinaia di migliaia di cicli.

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.

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Il payback tecnologico risulta difficilmente stimabile in quanto fortemente dipendente dall'applicazione e dalla tecnologia impiegabile. Essendo necessaria ancora attività di ricerca di base, è stimabile in tempistiche superiori ai 10 anni.

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

I principali ostacoli allo sviluppo sono:

- Necessità di ulteriore attività di ricerca al fine di ottimizzare tali tecnologie sia a livello di materiali che di sistemi
- Necessità per medi-grandi impianti di sistemi "compatti" ovvero ad elevata densità di energia accumulata
- Pay-back time attualmente non competitivo
- Assenza di divulgazione sociale; mancanza di conoscenza tecnica da parte degli impiantisti.

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

Le potenzialità di sviluppo tecnologico sono basate sulla disponibilità di fondi per l'avvio di programmi di ricerca congiunta fra settore pubblico e privato al fine di ottimizzare ulteriormente la tecnologia nell'ottica di una pre-industrializzazione che miri a ridurre il gap tecnico-economico con le tecnologie attualmente commercializzate.

Le ricadute coinvolgono sia il settore della produzione di tali tecnologie, come anche il settore di produzione, installazione e manutenzione di impiantistica domestica (per impianti a fonte solare termica) e industriale (per impianti di recupero e stoccaggio di cascami termici).

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

Le potenzialità di esportazione della tecnologia sono strettamente legate alla velocità di raggiungimento di una maturità tecnologica tale da renderla commercializzabile. Ciò garantirebbe il posizionamento in un mercato con un numero di attori attualmente limitato.

POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

- Settore industriale: incremento dell'efficienza dei processi mediante recupero, accumulo e riutilizzo di cascami termici
- Settore residenziale e terziario: incremento della diffusione dell'impiego di fonti di energia rinnovabile termica, sia mediante sistemi di accumulo giornaliero che stagionale
- Settore produzione energia elettrica: aumentare la dispacciabilità degli impianti solari CSP per ridurre o annullare la necessità di backup a combustibile fossile

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

- Settore residenziale
- Teleriscaldamento
- Settori industriali ad elevata intensità di energia termica di scarto (e.g. alimentare, chimico, metallurgico)
- Impianti industriali che utilizzino calore a temperatura medio-alta: Solare Termodinamico e da Fonti rinnovabili, Calore per Processi Industriali, Refrigerazione/Raffreddamento edifici/distretti, Disalazione, ecc.

Sviluppo della tecnologia

- Riello
- Aziende del settore HVAC
- ENEA
- Nuova Steim (meccanica, recipienti in pressione ed alta temperatura).

ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

CNR: sviluppo di materiali, componenti e sistemi di accumulo termico latente e termochimico

Università di Padova: modellazione di sistemi di accumulo termico a calore sensibile con cementi (trasporto massa e calore, danneggiamento, spalling) ed a calore latente incapsulati.

Politecnico di Bari: modellazione di sistemi di accumulo termico a calore latente. Modellazione CFD con analisi dei moti convettivi in fase fluida, Modellazione semplificata per analisi di integrazione d'impianto.

Università della Calabria: studio di materiali innovativi per l'accumulo termico latente

Università di Perugia: integrazione sistemi accumulo termico latente in ambito domestico. Sintesi e caratterizzazione di nuovi mezzi di accumulo basati su PCM e nanoparticelle addizionate per medie-alte temperature

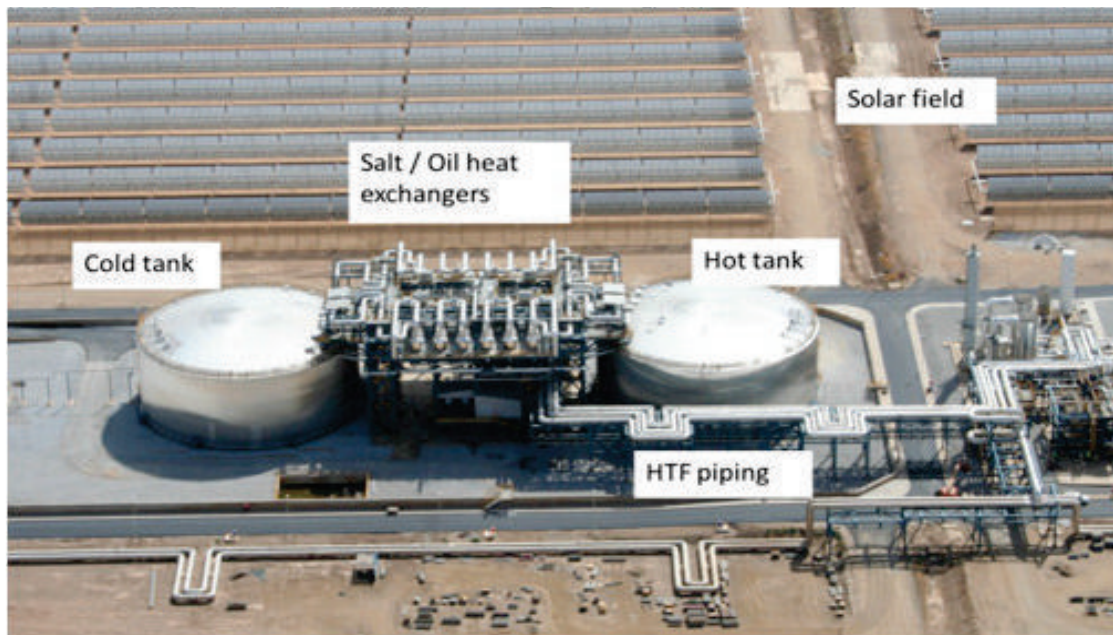
Università di Trento: sintesi di nuovi mezzi di accumulo basati sull'uso di miscele cementizie funzionanti fino a più di 500 °C.

ENEA: vanta una esperienza significativa nello sviluppo di sistemi di accumulo termico ad alta temperatura applicati principalmente a sistemi solari a concentrazione (CSP). Sono stati sviluppati sistemi di accumulo a sali fusi in grado di operare fino 550°C. Una classica applicazione a doppio serbatoio è stata realizzata in Sicilia da ENEL con il supporto di ENEA nell'impianto Archimede da 5 MWe ed è operante dal 2010. Attualmente, l'ENEA sta sviluppando sistemi innovativi di accumulo a sale fuso mono-serbatoio termoclino, in cui può anche essere presente una carica di materiale solido a basso costo (progetto europeo RESLAG), a calore sensibile in particolari cementi e a calore latente con materiali a cambiamento di fase (PCM), al quale possono essere addizionate piccole quantità di nanoparticelle (NEPCM).

Università di Cagliari: sistemi di accumulo termico latente per sistemi solari a concentrazione

BEST PRACTICES

- Impianto dimostrativo CSP "Archimede" di Priolo Gargallo (SR) con SHTES a sale fuso, doppio serbatoio, a 550°C e capacità di circa 30 MWh
- Impianto CSP con accumulo termico a calore latente da 200 kWh dimensionato e realizzato dal centro DLR di Stoccarda in un impianto installato a Carbonesa (Spagna) [5]
- Lavastoviglia operante con piccolo sistema di accumulo termochimico per la riduzione dei consumi energetici durante il ciclo operativo [4]
- Sistema di recupero, accumulo termochimico e trasporto di energia termica in siti industriali [6].



Sistema di accumulo termico da 1 GWh a due serbatoi e sali fusi dell'impianto solare Andasol (Spagna) da 150 MW.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Lázaro, P. Dolado, B. Zalba, L. F. Cabeza, State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1 – Concepts, materials and modellization, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (31-35), Elsevier, 2010
- [2] I. Dincer, M. A. Rosen, *Thermal Energy Storage – Systems and Applications*, John Wiley and Sons, Eastbourne UK, 2002.
- [3] N. Yu, R.Z. Wang, L.W. Wang, Sorption thermal storage for solar energy, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 39, Issue 5, October 2013, Pages 489-514.
- [4] A. Hauer, F. Fischer, Open Adsorption System for an Energy Efficient Dishwasher, *Chemie Ingenieur Technik Special Issue: Adsorption – Delving into the Molecular Scale* Volume 83, Issue 1-2, pages 61–66, January, 2011.
- [5] *Solar Thermal Energy Storage Technologies Doerte Laing*, German Aerospace Center (DLR) ENERGY FORUM, 10,000 Solar GIGAWATTS Hannover, 23. April 2008
- [6] Industrial waste heat recovery and efficient use of energy in the industry - Illustrative Examples from Germany Richard Gurtner, *Conference on Renewables in the industry*, Kolding, September 29, 2015
- [7] A. Miliozzi, M. Chieruzzi, L. Torre, J.M. Kenny, *Nanofluids with Enhanced Heat Transfer Properties for Thermal Energy Storage*, *Intelligent Nanomaterials*, 2nd Edition, Wiley, pp.295-360, ISBN: 978-1-119-24248-2, November 2016
- [8] M. Chieruzzi, G.F. Cerritelli, A. Miliozzi, J.M. Kenny, L. Torre, Heat capacity of nanofluids for solar energy storage produced by dispersing oxide nanoparticles in nitrate salt mixture directly at high temperature, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 167, August 2017, Pages 60-69