

Un innovativo sistema di accumulo termico: nuove opportunità per CSP e Teleriscaldamento (ed altre applicazioni)

La partnership in Italia tra  e 

1. I sistemi di accumulo termico¹

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 (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) 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.

2. Presentazione del sistema SaltX

I prodotti SaltX si basano su una tecnologia di assorbimento proprietaria, che sfrutta i fenomeni di assorbimento (assorbimento e adsorbimento)² per l'accumulo di energia termica. L'accumulo di

¹ Fonte A. Frazica – CNR e A. Miliozzi - ENEA

² In chimica fisica, l'assorbimento indica il fenomeno per cui si ha trasferimento di una specie chimica (ovvero uno scambio di materia) da una soluzione sulla superficie di un solido (adsorbimento) o attraverso l'interfaccia di separazione tra due fasi (assorbimento).

energia non avviene (o avviene solo marginalmente) sotto forma di calore sensibile e di calore latente, bensì avviene sotto forma di energia chimica (sistema termochimico).

I prodotti che sono alla base del processo sono sali (con particolare riferimento ai composti Na_2S , LiBr , LiI , LiCl , NaI , NH_4I , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)³ contenuti in celle realizzate con nanomateriali e refrigeranti, costituiti da acqua, ammoniaca o alcool.

Nel seguito si fornisce una generica descrizione del funzionamento del sistema di accumulo basato su prodotti SaltX. Tale descrizione vuole essere una contestualizzazione fisica dei fenomeni alla base del funzionamento del dispositivo e prescinde dall'applicazione specifica a livello tecnologico/ingegneristico che può trovare numerose declinazioni in base ai contesti a cui è applicata.

2.1 Funzionamento dell'unità di accumulo

L'unità di accumulo termico è composta da un reattore e da un condensatore/evaporatore, posti in collegamento eventualmente tramite un dispositivo di intercettazione che permette di isolarli reciprocamente. Il sistema può essere posto in pressione (da pochi millibar fino a 40 bar) per regolare le temperature di funzionamento. Di seguito si descrive un processo completo di carica/scarica, senza riferimenti alle specifiche specie chimiche impiegate nel dispositivo. Il processo è diviso in quattro fasi: pre-carica, carica, pre-scarica, scarica.

- 1) Nello stato iniziale il reattore contiene una soluzione di sale e refrigerante in fase liquida, mentre il condensatore/evaporatore è "vuoto" (intendendo con questo che non contiene, o contiene solo in minima parte, refrigerante in fase liquida o gassosa; può quindi contenere aria o altri gas che non partecipano ai processi chimici caratteristici del sistema). Nella **fase di pre-carica** il reattore, tramite apporto di calore dall'esterno, viene portato alla temperatura iniziale della fase di carica.
- 2) Durante la **fase di carica** al reattore è fornita energia termica che realizza il desorbimento e l'evaporazione del refrigerante. Il refrigerante abbandona quindi il reattore in fase gassosa e condensa nel condensatore/evaporatore. In questa fase l'energia termica assorbita dal reattore si trasforma in energia chimica per il desorbimento del refrigerante dal sale ed in calore latente di evaporazione del refrigerante. Quest'ultima quantità di energia termica viene restituita all'esterno del sistema dalla condensazione che avviene nel condensatore/evaporatore, che è mantenuto ad una temperatura inferiore rispetto al reattore. Durante la fase di carica la temperatura del reattore può variare in considerazione della tipologia di sale utilizzato mentre quella del condensatore è approssimativamente

³ Rispettivamente: sale di sodio dell'acido solforico (solfuro di sodio), sale di litio dell'acido bromidrico (bromuro di litio), sale di litio dell'acido iodidrico (ioduro di litio), sale di litio dell'acido cloridrico (cloruro di litio), sale di sodio dell'acido iodidrico (ioduro di sodio), sale di ammonio dell'acido iodidrico (ioduro d'ammonio), e sale di calcio dell'acido carbonico (idrogenocarbonato di calcio).

costante (con il condensatore più freddo), e la loro differenza, chiamata ΔT_{drive} è una caratteristica del sistema, fissata in funzione delle specie chimiche adottate con funzione di sale e di refrigerante. **Si noti che in questa fase il sistema di accumulo si comporta come un ciclo frigorifero che “sposta” calore dall’ambiente a contatto con il reattore verso l’ambiente a contatto con il condensatore/evaporatore a temperatura più bassa (ΔT_{drive}).**

- 3) Alla fase di carica segue una fase di **pre-scarica**, in cui il reattore, che ospita una soluzione di refrigerante con alta concentrazione di sale, viene raffreddato alla temperatura necessaria per dare inizio alla fase di scarica. Alternativamente è il condensatore/evaporatore che viene riscaldato alla temperatura necessaria per dare inizio alla fase di scarica.
- 4) Durante la **fase di scarica** dal reattore è sottratta energia termica, realizzando un abbassamento della temperatura e della tensione di vapore, che richiama quindi refrigerante che evapora dal condensatore/evaporatore per poi condensare e venire assorbito dal sale nel reattore. Il refrigerante abbandona quindi il condensatore/evaporatore in fase gassosa e condensa nel reattore. In questa fase l’energia chimica per l’assorbimento del refrigerante dal sale ed il calore latente di condensazione del refrigerante viene rilasciata dal reattore. Quest’ultima quantità di energia termica viene prelevata dall’esterno del sistema dall’evaporazione che avviene nel condensatore/evaporatore, che è mantenuto ad una temperatura superiore rispetto al reattore. Durante la fase di scarica la temperatura del reattore e del condensatore sono approssimativamente costanti (con il reattore più freddo), e la loro differenza, chiamata ΔT_{lift} è una caratteristica del sistema, fissata in funzione delle specie chimiche adottate con funzione di sale e di refrigerante. **Si noti che in questa fase il sistema di accumulo si comporta come una pompa di calore che “sposta” calore dall’ambiente a contatto con il condensatore/evaporatore verso l’ambiente a contatto con il condensatore/evaporatore a temperatura più alta (ΔT_{lift}).** Ciascuna coppia sale/refrigerante è caratterizzata da un COP in riscaldamento specifico.

2.2 Temperature caratteristiche di funzionamento

L’assorbimento/rilascio di energia da parte del reattore nelle fasi di carica e scarica, come descritto in precedenza, è possibile grazie all’instaurarsi di una differenza di temperatura tra il reattore ed il condensatore/evaporatore, chiamata ΔT_{drive} nel processo di carica, con il reattore più caldo, e ΔT_{lift} nel processo di scarica, con il reattore più freddo. Queste due differenze di temperatura, che in un sistema ideale sono uguali, nella realtà differiscono per valori dipendenti da irreversibilità e perdite. Nella progettazione del sistema di accumulo è possibile definire il valore di ΔT_{drive} e ΔT_{lift} tramite la scelta di opportune composizioni per il sale e modificare in range definiti le temperature di funzionamento tramite la scelta della pressione di esercizio. A titolo esemplificativo si riporta il grafico

pressione/temperatura/concentrazione per una coppia sale/refrigerante, che è possibile sfruttare tra la concentrazione di 1,5 moli di refrigerante/mole di sale e la concentrazione di 4 moli di refrigerante/mole di sale. Si noti che in questo range di concentrazioni il valore teorico di ΔT_{drive} e ΔT_{lift} è sostanzialmente costante al variare della pressione di esercizio del sistema, dipendendo solo dalle specie chimiche componenti.

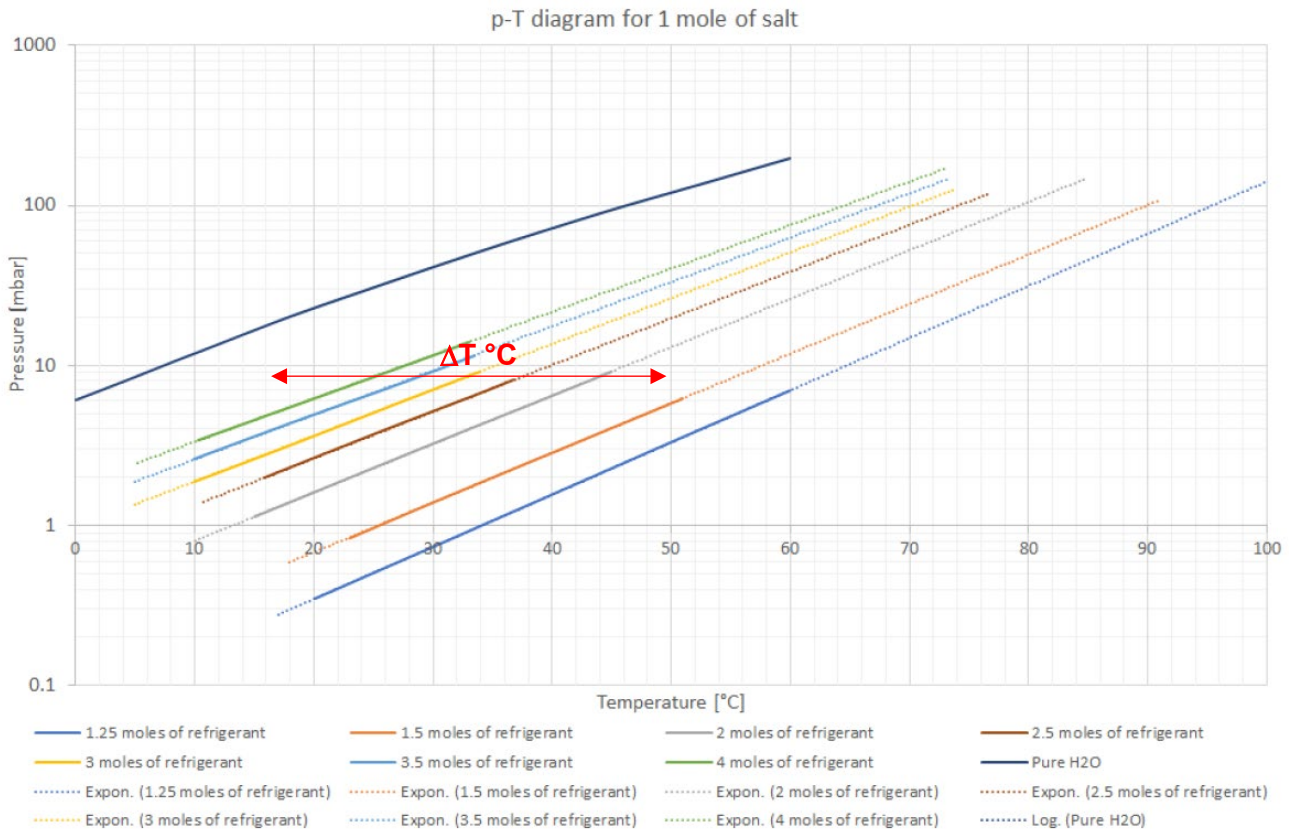


Figura 1 - Tensione di vapore saturo in funzione della temperatura e della concentrazione del refrigerante

Osservando il grafico si nota come una variazione relativamente modesta nella pressione del sistema conduce a variazioni piuttosto pronunciate nella temperatura di funzionamento. La temperatura minima a cui avviene lo scambio termico per una soluzione diluita di 1 mole di sale/4 moli di refrigerante passa da 20°C a oltre 30°C per un aumento di pressione inferiore a 5 mbar.

2.3 Prestazioni effettive dei prodotti SaltX Technology

Nella tabella seguente si riportano le prestazioni dichiarate per una selezione di prodotti SaltX, utilizzati in sistemi di accumulo con diversa pressione. Si noti che le due temperature *Max discharge Delta T* e *Minimum charge Delta T* corrispondono rispettivamente a ΔT_{lift} e ΔT_{drive} . È evidente che le due temperature, identiche nella teoria esposta, si scostano per un valore di 30°C nella situazione reale, a causa di dispersioni ed irreversibilità.

	Max Discharge Delta T (°C)	Minimum Charge Delta T (°C)	COP cooling	COP heating	Energy Density (kWh/m ³)
SaltX Green	49	79	0,6	1,6	119
SaltX White	115	145	0,5	1,5	102
SaltX Blue	15	45	0,6	1,6	140
SaltX Orange	25	55	0,7	1,7	205
SaltX Red	71	101	0,5	1,5	117
SaltX Yellow	199	229	0,4	1,4	100
SaltX Grey	54	84	0,6	1,6	160
SaltX Purple	335	365	0,6	1,6	200
SaltX Pink	132	162	0,5	1,5	94
SaltX Silver	121	151	0,5	1,5	73

Figura 2 – Differenze di temperatura per attivare il processo di assorbimento/desorbimento e densità energetica (i COP indicati sono teorici e possono variare a seconda del sistema in cui il sale viene immesso)

Ai fini della valutazione preliminare degli effetti del prodotto è anche rilevante considerare il rapporto tra l'energia rilasciata in fase di carica a bassa temperatura e l'energia assorbita in fase di carica ad alta temperatura. Tale rapporto, in funzione dei diversi salti e refrigeranti si attesta tra il 60% ed il 70%. **In altre parole, il 30-40% dell'energia fornita viene effettivamente stoccata nell'accumulo, mentre la restante percentuale viene immediatamente restituita ad un'entalpia inferiore.**

Il medesimo fenomeno si verifica in fase di scarica, per cui, al fine di restituire calore stoccato nell'accumulo ad alta temperatura, è necessario apportare una percentuale di calore a temperatura più bassa. Questo comportamento in fase di scarica è simile a quello che si avrebbe in un sistema combinato, composto da un accumulo a bassa temperatura e da una pompa di calore.

Dicembre 2018

 Enrico Peruchetti

 Stefano Perboni