

Approfondimenti sul fluido termovettore

a cura di Mauro Vignolini, Alfredo Fontanella
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

Il fluido termovettore è il mezzo fisico mediante il quale, negli impianti solari, l'energia raccolta si trasporta e si rende disponibile per l'utilizzo in forma di calore.

Nel caso degli impianti solari ad alta temperatura (a concentrazione) la scelta del fluido termovettore assume particolare importanza perché determina la massima temperatura a cui è resa disponibile l'energia termica e di conseguenza il massimo rendimento ottenibile nella sua conversione termodinamica in energia elettrica. Inoltre, nel caso di impianti solari con sistema di accumulo termico, la più alta temperatura consente di aumentare il contenuto energetico per unità di massa del mezzo di accumulo e quindi, a parità di energia accumulata, si riducono le dimensioni e il costo del sistema, con evidenti vantaggi per l'economia dell'impianto.

Il tipo di fluido termovettore adottato condiziona profondamente il progetto e il funzionamento dell'impianto solare: oltre alla massima temperatura raggiungibile occorre tenere conto di diversi altri aspetti, tra cui la pressione di esercizio, la portata richiesta e la conseguente perdita di energia per il flussaggio, le interazioni chimiche e fisiche con i materiali dell'impianto, i rischi in caso di eventi incidentali, le conseguenze sull'ambiente, il costo, la durata e le problematiche di smaltimento o riutilizzo a fine vita.

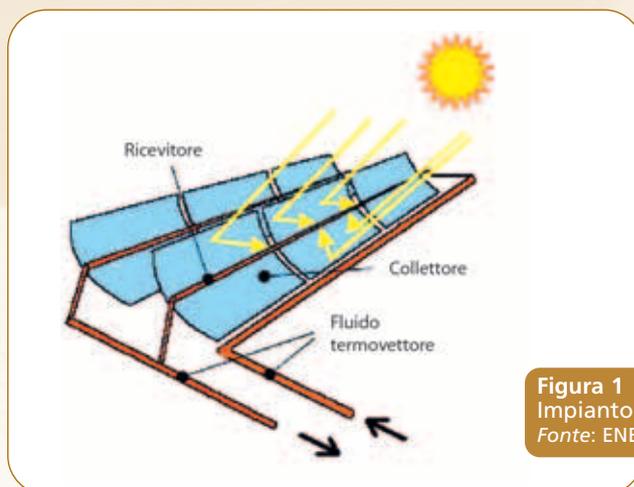


Figura 1
Impianto solare a concentrazione
Fonte: ENEA

I principali sistemi di trasporto del calore che è possibile adottare negli impianti solari ad alta temperatura si basano sui seguenti fluidi:

- gas;
- acqua/vapore;
- oli minerali;
- oli sintetici;
- metalli liquidi;
- sali inorganici fusi.

L'impiego di gas, come ad esempio aria, anidride carbonica o azoto, presenta il vantaggio di un basso costo della carica e la possibilità di raggiungere elevate temperature, al limite della resistenza dei materiali strutturali dell'impianto. Gli svantaggi sono legati ai bassi valori del calore specifico, della densità e del coefficiente di scambio termico: risultano quindi poco efficienti come mezzi di trasporto del calore e richiedono grosse portate volumetriche per unità di energia termica trasportata. Per aumentare la densità occorre utilizzare circuiti ad alta pressione. Tutto ciò comporta elevati costi di impianto e notevole dispendio di energia per il flussaggio.

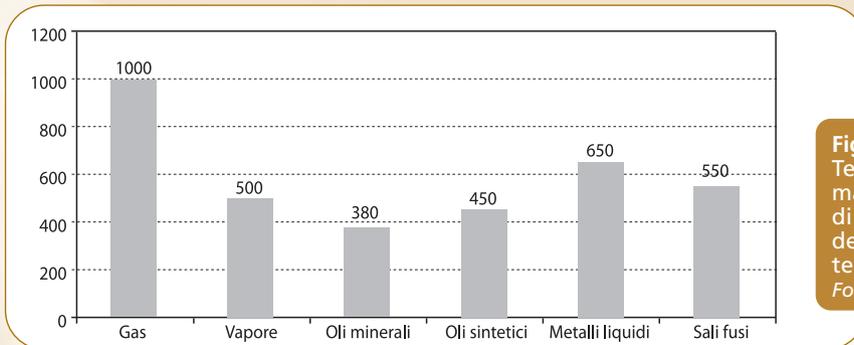


Figura 2
Temperature massime indicative di utilizzazione dei fluidi termovettori (°C)
Fonte: ENEA

L'utilizzazione diretta del vapore (*Direct Steam Generation*) permette di alimentare direttamente le turbine senza scambiatori di calore, con maggiore efficienza energetica, ma a fronte di pressioni di esercizio molto elevate, anche oltre 100 bar, con incidenza significativa sui costi di impianto. I problemi maggiori sono legati al controllo delle instabilità conseguenti a variazioni repentine nell'irraggiamento solare e alle difficoltà di accumulo termico.

Gli oli minerali rappresentano la scelta tecnologicamente più matura. Nell'ambito dei sistemi di produzione di energia elettrica da solare termico ad alta temperatura, essi vengono utilizzati fin dal 1980 negli Stati Uniti, negli impianti tipo SEGS (*Solar Electric Generating System*).

I problemi sono legati all'alta infiammabilità, alla tossicità e all'inquinamento ambientale in caso di fuoriuscita accidentale, nonché al costo elevato e ai fenomeni di degradazione che richiedono periodici interventi di sostituzione e rigenerazione.

Gli oli sintetici presentano migliori prestazioni riguardo la temperatura massima di utilizzo e la stabilità nel tempo, e comportano costi maggiori e analoghi problemi riguardo i rischi.

La tecnologia dei metalli liquidi come termovettori è stata sviluppata soprattutto in campo nucleare ed in particolare l'ENEA ha svolto notevole lavoro sperimentale sull'utilizzazione del sodio nei reattori veloci. Il vantaggio nell'uso dei metalli liquidi è legato alle loro eccellenti proprietà termiche ed alla possibilità che essi hanno di raggiungere temperature molto elevate.

I metalli liquidi maggiormente considerati come fluidi termovettori sono il sodio, le leghe sodio/potassio, il mercurio, il piombo e le leghe piombo/bismuto. I problemi sono legati alla forte reattività con l'aria e con l'acqua (sodio e potassio), alla tossicità (mercurio) e alla complessità dei circuiti e dei sistemi di controllo.

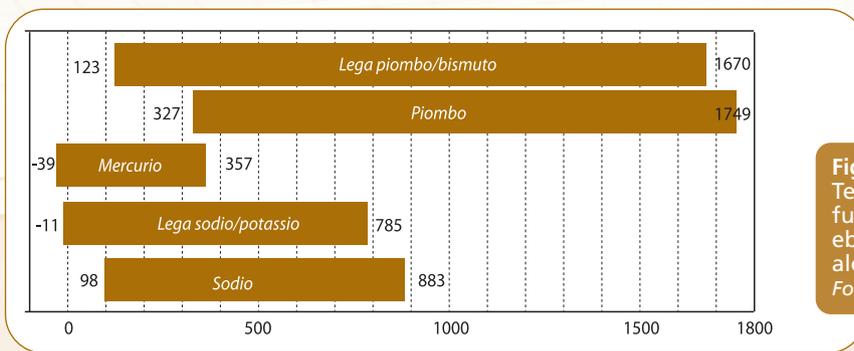


Figura 3
Temperature di fusione e di ebollizione di alcuni metalli (°C)
Fonte: ENEA

I sali fusi sono principalmente di due tipi: miscele binarie e miscele ternarie. La principale miscela binaria è costituita da nitrato di sodio (NaNO_3) e nitrato di potassio (KNO_3) in rapporto ponderale 60%-40%. Questo tipo di miscela è largamente utilizzato nell'industria, ad esempio per i trattamenti metallurgici, e presenta una serie di vantaggi: innanzitutto essa non comporta rischio di incendio (è classificata come 'ossidante' e, poiché negli impianti solari non si utilizzano combustibili, non può esplicare l'azione di favorire la combustione); inoltre, in caso di fuoriuscita accidentale, solidifica rapidamente a contatto con l'ambiente esterno e può essere facilmente recuperata dal terreno con mezzi meccanici. Queste sostanze sono comunemente utilizzate in agricoltura come fertilizzanti; pertanto, eventuali limitate dispersioni nell'ambiente non possono provocare problemi di inquinamento. Questi sali sono ampiamente disponibili e il loro costo di approvvigionamento è abbastanza limitato rispetto ad altri fluidi.

Le miscele di sali fusi hanno eccellenti caratteristiche termiche. Rispetto ai gas e al vapore hanno valori più elevati per il coefficiente di scambio termico, il calore specifico e la densità; complessivamente hanno quindi migliore capacità di trasporto del calore, oltre al vantaggio di poter operare a pressioni molto inferiori. Queste caratteristiche permettono un dimensionamento meno oneroso per le apparecchiature dell'impianto e minore utilizzo di energia per il pompaggio.

Le miscele di sali fusi presentano buona compatibilità con i materiali strutturali dell'impianto. Possono essere usate convenientemente anche come mezzo di accumulo termico: la soluzione tecnologica sviluppata dall'ENEA utilizza la stessa miscela di sali fusi per il trasporto del calore e per l'accumulo termico.

L'accumulo dei sali fusi in grandi serbatoi coibentati consente di immagazzinare notevoli quantità di energia: 1 kWh di energia termica alla temperatura di 550 °C richiede solo 5 litri di sali fusi e quindi 50 litri di miscela equivalgono al contenuto energetico di circa 1 litro di gasolio.

Il problema principale nell'utilizzo dei sali fusi è il rischio di solidificazione all'interno delle tubazioni e delle apparecchiature di impianto; infatti la miscela nitrato di sodio / nitrato di potassio solidifica intorno ai 230 °C. Per questo motivo, negli impianti solari le parti interessate alla circolazione della miscela di sali fusi richiedono un buon isolamento termico, in modo da limitare le dispersioni termiche e quindi l'abbassamento della temperatura vicino ai valori di solidificazione.

Per lo stesso motivo il fluido termovettore viene fatto circolare nell'impianto solare anche in assenza di insolazione: in questo modo si utilizza una parte del calore accumulato durante il giorno per compensare le dispersioni termiche dell'impianto nelle ore notturne mantenendo la temperatura del fluido sempre al di sopra del punto di solidificazione. Inoltre è previsto un sistema ausiliario, in genere alimentato elettricamente, che provvede al riscaldamento dell'impianto in caso di emergenza e nelle operazioni di avvio, iniziali e dopo fermate di manutenzione straordinaria.

Le miscele ternarie contengono un terzo componente, per esempio nitrito di sodio (NaNO_2), che abbassa la temperatura di solidificazione della miscela e riduce le complicazioni impiantistiche per prevenire i problemi di solidificazione del fluido. Lo svantaggio di queste miscele è legato alla minore temperatura massima raggiungibile e al maggior costo di approvvigionamento rispetto alle miscele binarie.

La possibilità di realizzare sistemi di accumulo termico a basso costo è un elemento decisivo nelle prospettive di sviluppo della tecnologia solare ad alta temperatura; la scelta ENEA di puntare sulle miscele binarie di sali fusi come fluido termovettore appare quindi una soluzione vincente nelle future applicazioni delle fonti energetiche rinnovabili.