



Ricerca di Sistema elettrico

Prove sperimentali per la caratterizzazione termica di un serbatoio di accumulo a sali fusi nella fase di immagazzinamento dell'energia termica

W. Gaggioli, L. Rinaldi, P. Tarquini

PROVE SPERIMENTALI PER LA CARATTERIZZAZIONE TERMICA DI UN SERBATOIO DI ACCUMULO A SALI FUSI
NELLA FASE DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ENERGIA TERMICA

W. Gaggioli, L. Rinaldi, P. Tarquini (ENEA)

Settembre 2014

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Energia elettrica da fonte solare

Obiettivo: Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia

Responsabile del Progetto: Domenico Mazzei, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 ATTREZZATURE SPERIMENTALI.....	5
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SPERIMENTALI E RISULTATI.....	8
3.1 PROVE DI RAFFREDDAMENTO DEL SERBATOIO DI ACCUMULO.....	8
3.2 PROVE DI CARICA TERMICA DEL SERBATOIO IN CONDIZIONI REALI DI ESERCIZIO.....	11
4 CONCLUSIONI.....	14
5 BIBLIOGRAFIA.....	14
6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	15

Sommario

Le attività di ricerca sul solare termodinamico sono state inserite nel programma di Ricerca di Sistema Elettrico nel triennio 2012-2014 con lo scopo di affrontare alcune delle tematiche più promettenti per lo sviluppo di questa tecnologia.

In questo quadro si configura anche lo studio dell'applicazione del solare termodinamico ad impianti di piccola taglia co-generativi (< 1 MWe fino a 10 kWe o meno); la presenza dell'accumulo termico a sali fusi e l'integrazione dell'energia termica con altra fonte rinnovabile (biomasse o altro) permette di avere una produzione continua di energia. In questi impianti vi è la necessità di implementare generatori di corrente elettrica di piccole dimensioni basati sull'esclusivo uso di energia termica da prelevare dal sistema di accumulo, con la finalità di realizzare:

- unità di emergenza per la generazione di energia elettrica di mantenimento per le piccole centrali < 1 MWe da installare in siti isolati dalla rete, al posto dei consueti generatori diesel di emergenza, con potenza fino a 30 kWe;
- piccoli impianti multi-generativi di taglia da 100 a 10 kWt, con produzione di potenza elettrica da 20 a 1 kWe, per gli usi più disparati dove la richiesta prevalente è di energia termica con limitata energia elettrica di supporto.

Per questi generatori, una volta assicurata la continuità dell'accumulo termico con la fonte ibrida, oltre quella solare, non c'è più necessità di costituire scorte di altri carburanti, specialmente in zone isolate, potendo così contare sulle sole risorse del territorio. Per tali generatori inoltre non esiste sostanzialmente la necessità di avere rendimenti di conversione elettrica elevati in quanto comunque la parte di energia primaria non convertita rimane a disposizione per l'uso come energia termica di recupero. In questo modo sarà possibile la loro diffusione anche in paesi a bassa tecnologia, che passa attraverso lo sviluppo di strumenti tecnologici di supporto al sistema che siano semplici, flessibili e di rapida applicazione.

In particolare è necessario studiare l'integrazione e l'adattamento di prodotti innovativi per il supporto ad impianti solari a concentrazione multi-generativi in piccola taglia. L'ENEA ha già sviluppato una tecnologia modulare denominata TREBIOS (TRigenerazione con Energie rinnovabili: BIOmasse e Solare termodinamico), che prevede una produzione di potenza, elettrica o termica, sfruttando l'energia solare ma essendo anche dotata di integrazione con biomasse e/o altre componenti rinnovabili. Questa filiera si basa sull'utilizzo di una miscela di sali fusi sia come fluido di trasporto del calore prodotto dall'impianto solare a concentrazione, che come fluido di immagazzinamento dell'energia termica in un unico serbatoio di accumulo. Il cuore del sistema è il serbatoio di accumulo ad alta temperatura dell'energia termica raccolta dal campo solare e anche, a seconda delle esigenze, da un riscaldatore di back-up alimentato a combustibile rinnovabile (es., biomasse). In ogni caso, è l'energia termica immagazzinata nel serbatoio ad alta temperatura che viene utilizzata con continuità, anche in assenza di radiazione solare, dai processi di produzione cui il sistema è asservito (energia elettrica, termica, produzione di freddo, sistemi di condizionamento, dissalazione, ecc.).

Per l'effettuazione delle prove sperimentali di caratterizzazione del sistema si utilizza il serbatoio di accumulo termico a sali fusi già presente e disponibile nell'impianto sperimentale PCS sito nell'area Capanna del Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA, Roma. Tale serbatoio di accumulo e le connesse attrezzature di servizio presentano le caratteristiche necessarie per la sperimentazione richiesta, e sono già state utilizzate nell'esecuzione delle prove sperimentali iniziali che hanno portato alla redazione del documento /1/. "Caratterizzazione termica del serbatoio di accumulo a sali fusi dell'impianto sperimentale PCS del C.R. Casaccia dell'ENEA", autori F. Fabrizi, W. Gaggioli, L. Rinaldi, P. Tarquini, Settembre 2013.

Nel presente documento vengono riportati e commentati i successivi risultati derivanti dall'attività sperimentale di caratterizzazione del comportamento del serbatoio di accumulo condotta con l'attrezzatura sperimentale suddetta.

1 Introduzione

La descrizione dettagliata dell'attività sperimentale nel suo complesso è stata riportata nel documento /1/, al quale si rimanda per informazioni più circostanziate.

Nel seguito, insieme ad un rapido sunto di quanto già descritto nel passato, si riporteranno invece le sole notizie necessarie per la comprensione di quanto fatto nel corso della nuova attività sperimentale.

La proposta di un sistema innovativo per l'immagazzinamento di energia termica, generata sia con impianti ad energia solare che con altre fonti energetiche rinnovabili, e il suo possibile utilizzo protratto nel tempo quando necessario, consiste in un sistema integrato di accumulo termico in grado di fornire un servizio efficiente, affidabile ed economico. Il sistema integrato è a singolo serbatoio a sali fusi e con Generatore di Vapore (GV) immerso, per ridurre sia il volume di materiale di stoccaggio necessario che il numero di componenti del generatore di vapore (dai tre di uno scambiatore convenzionale "shell-and-tube" (pre-riscaldatore, evaporatore e surriscaldatore) a uno solo), eliminando contemporaneamente le tubazioni di collegamento tra i vari componenti.

Per favorire la stratificazione in temperatura dei sali fusi (necessaria per permettere il funzionamento di un GV immerso attraverso la circolazione naturale lato mantello dei sali fusi) si sfruttano le proprietà chimico-fisiche dei sali fusi stessi: infatti i sali fusi, a causa della loro bassa conducibilità termica, una volta stratificatisi si comportano come un isolante termico rendendo difficoltosa e scarsa la conduzione di calore da uno strato di sali a quello superiore più caldo. Inoltre l'effetto della trasmissione di calore per convezione tra i vari strati, che può essere indotta dalle perdite termiche del serbatoio verso l'ambiente, è notevolmente ridotta mediante un buon isolamento delle pareti del serbatoio stesso, in modo che la stratificazione del fluido può essere mantenuta per molte ore. Per di più, il GV immerso funge da elemento attivo che induce e mantiene nel tempo la stratificazione dei sali.

2 Attrezzature sperimentali

Questa campagna di prove, come detto in /1/, è stata effettuata con il serbatoio di accumulo dell'Impianto PCS del C. R. Casaccia dell'ENEA. Esso è stato reso utilizzabile per lo scopo grazie alle modifiche apportate e descritte nel documento precedente, e quantificate nel documento ENEA /2/.

Anche la strumentazione applicata al sistema sotto esame è già stata descritta precedentemente e non verrà qui riportata; per chiarezza e comodità si riportano però alcune figure già pubblicate nel documento suddetto in quanto possono essere di aiuto nel comprendere i processi descritti.

In particolare, nella Figura 1 viene riportato il disegno della nuova linea di ingresso dei sali fusi, riscaldati dalla caldaia elettrica fino alla temperatura voluta, nel serbatoio di accumulo con accesso a un livello alto corrispondente allo strato superiore caldo dei sali; nella Figura 2 si riporta l'insieme delle strumentazioni applicate al sistema integrato in prova. Si noti la presenza di un "pettine" di n. 14 termocoppie poste in verticale a 0,10 m di distanza l'una dall'altra, necessarie a misurare la temperatura assiale dei vari strati dei sali fusi.

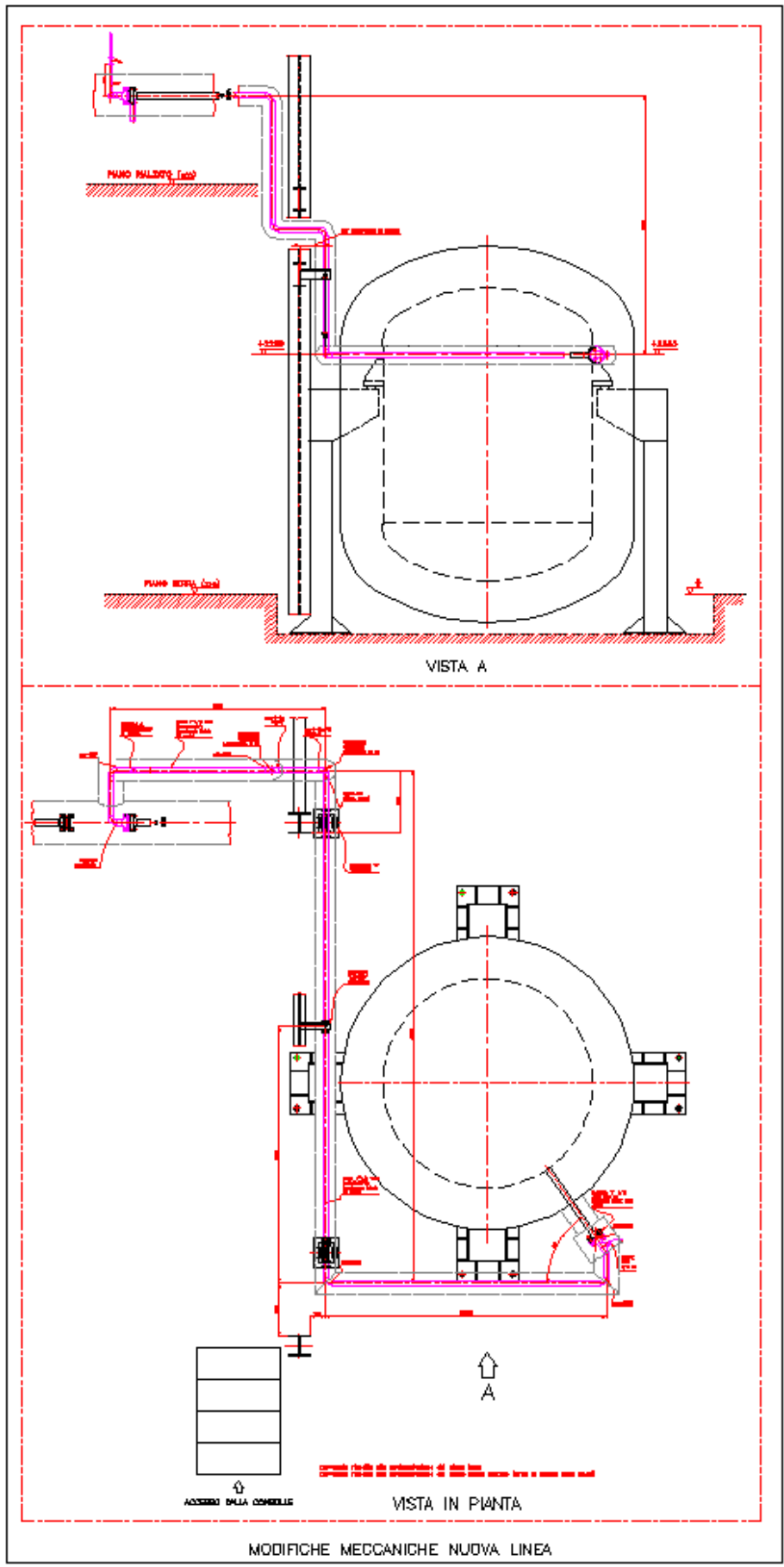


Figura 1 - Disegno della nuova linea meccanica sali fusi

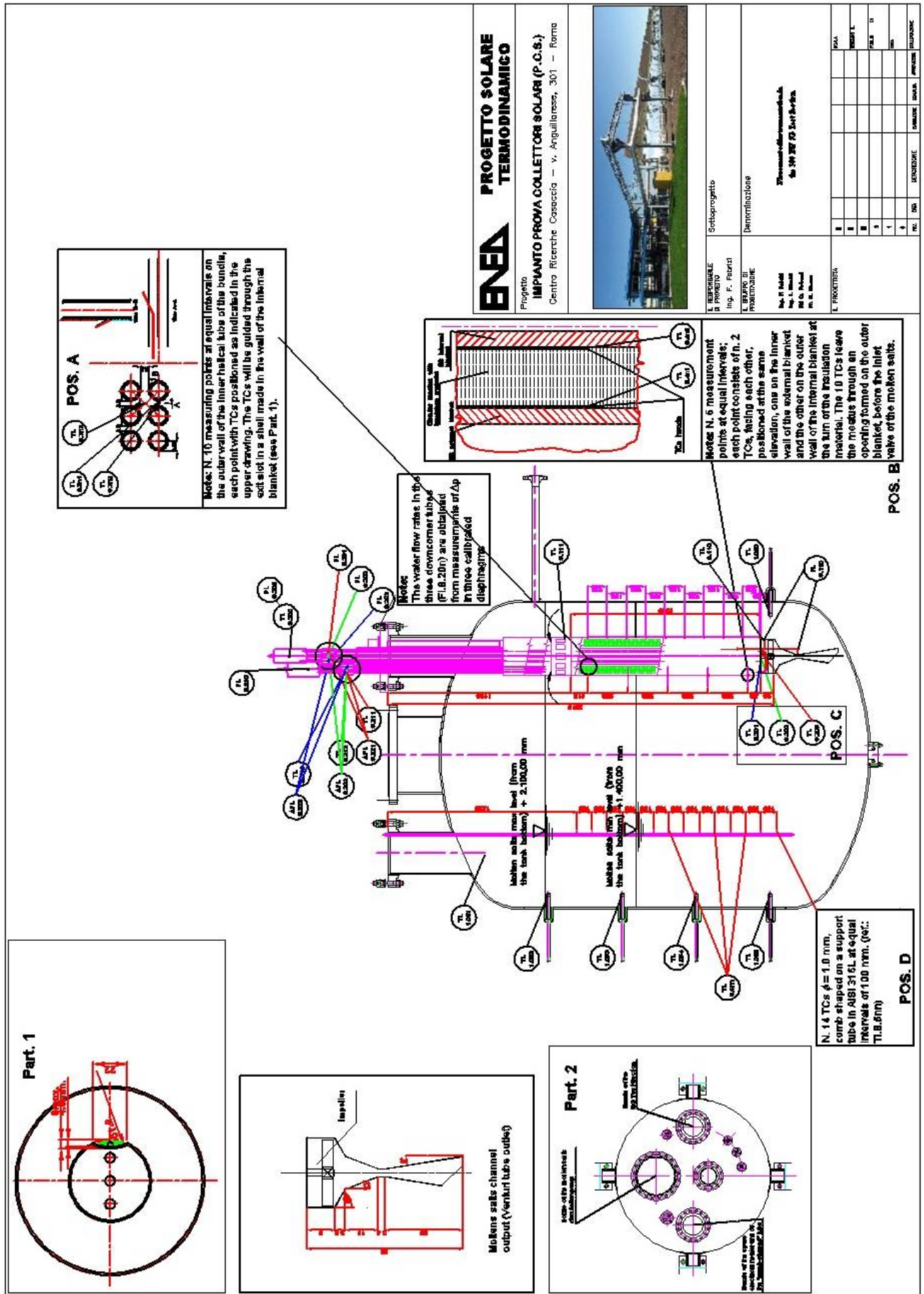


Figura 2 – Punti di misura sperimentali posti sul sistema integrato serbatoio/generatore

3 Descrizione delle attività sperimentali e risultati

Le nuove prove sperimentali sono state effettuate per completare l'analisi del comportamento della stratificazione dei sali fusi nel serbatoio di accumulo.

La campagna sperimentale ha riguardato l'effettuazione di ulteriori prove sperimentali per lo studio di:

1. raffreddamento dei sali fusi contenuti nel serbatoio con la verifica delle loro condizioni di stratificazione. Le prove consistono nel caricare di energia termica il serbatoio, portando alla desiderata temperatura di prova i sali fusi in esso contenuti, e poi innescare una stratificazione dei sali attraverso un breve funzionamento del generatore di vapore. A questo punto si lascia l'intero sistema abbandonato a se stesso e quindi in condizioni di dispersione termica verso il solo ambiente esterno, per vedere se e come la stratificazione dei sali viene mantenuta nel tempo ovvero se essi si rimescolano per effetto di moti verticali naturali.
2. riscaldamento nelle condizioni reali di esercizio del serbatoio, cioè in condizioni stazionarie e con il contenuto energetico del serbatoio costante nel tempo. Questa situazione si è potuta ottenere utilizzando le modifiche apportate al serbatoio e all'impianto e cioè aspirando con la pompa di circolazione i sali freddi dal fondo del serbatoio, facendoli scaldare dall'apposita caldaia elettrica esterna e quindi reimmettendoli caldi nel serbatoio all'altezza del livello superiore dei sali. È il funzionamento che dovrebbe svolgersi negli impianti reali, dove il campo solare a specchi scalda i sali fusi e nell'impianto sperimentale è invece sostituito nella sua funzione dalla caldaia elettrica. In questo modo il sistema integrato viene provato nel suo insieme e si può studiare e verificare il comportamento accoppiato del serbatoio e del generatore di vapore e della stratificazione dei sali in condizioni reali di esercizio.

3.1 Prove di raffreddamento del serbatoio di accumulo

Le prove di scarica termica del serbatoio di accumulo, riportate in lista nella seguente Tabella 1, sono state eseguite secondo la seguente procedura operativa.

Test n.	Tsali [°C]	
	T iniziale	T finale
TD1	500	315
TD2	490	270
TD3	490	275
TD4	490	270

Tabella 1 - Elenco delle prove sperimentali di scarica termica del serbatoio

1) La prima prova (TD1, Fig. 3) è la cosiddetta "prova in bianco": come già anticipato, i sali sono stati portati a una temperatura uniforme e omogenea, e poi il serbatoio è stato lasciato per alcuni giorni senza alcun intervento per vedere il comportamento libero della massa di sali fusi in esso contenuti, e cioè se si stabilisce una stratificazione naturale di sali a causa della dispersione termica verso l'esterno. Dopo circa quattro giorni, la prova di dispersione è stata ritenuta conclusa ed è stato utilizzato il riscaldatore elettrico interno immerso per aumentare la temperatura della massa di sali fusi e riportarla al valore iniziale;

2) le altre prove (es., vedi Fig. 4) sono state eseguite a partire da una condizione di "riposo" del serbatoio; all'inizio di ogni prova, il generatore di vapore è stato fatto funzionare per un breve periodo di tempo per indurre una stratificazione della temperatura della massa dei sali fusi, e successivamente il serbatoio viene

lasciato in riposo dal 1 a 4 giorni, osservando e registrando l'andamento delle temperature. Al termine della prova, tramite la resistenza elettrica immersa interna si rialza nuovamente la temperatura del serbatoio.

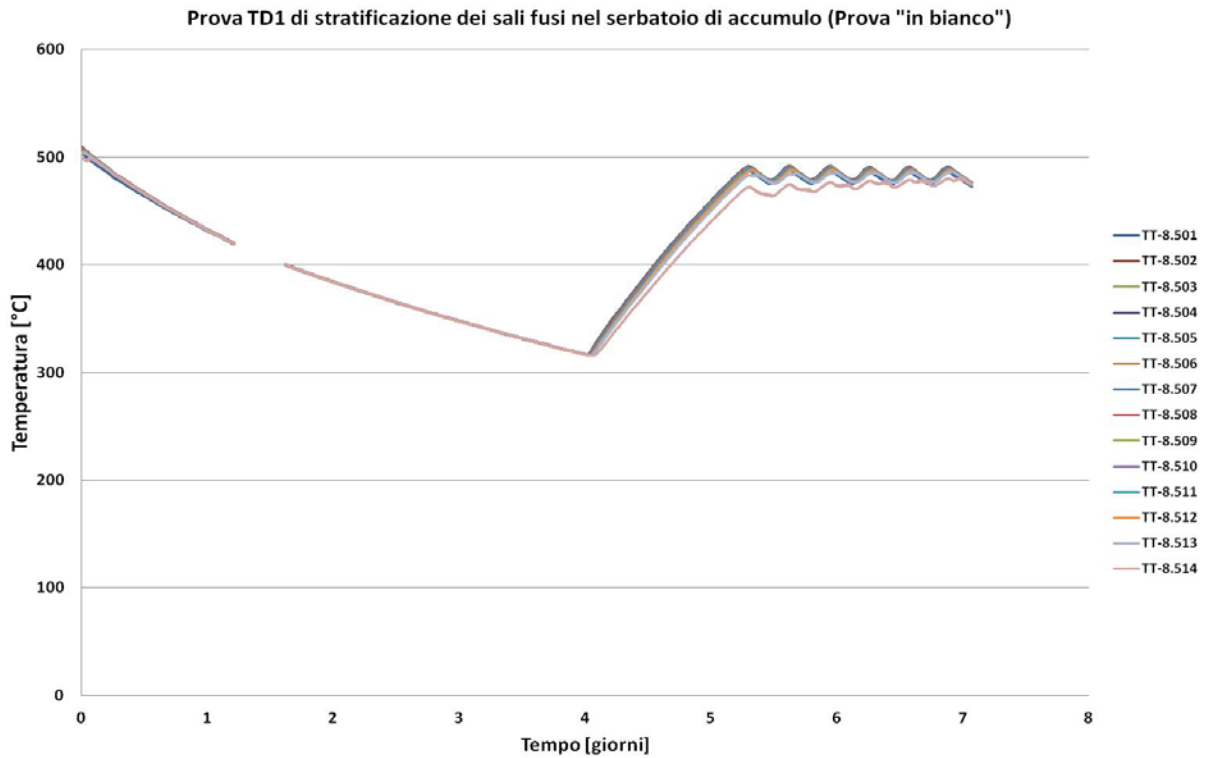


Figura 3 – Andamento delle temperature di stratificazione nella Prova TD1 "in bianco"

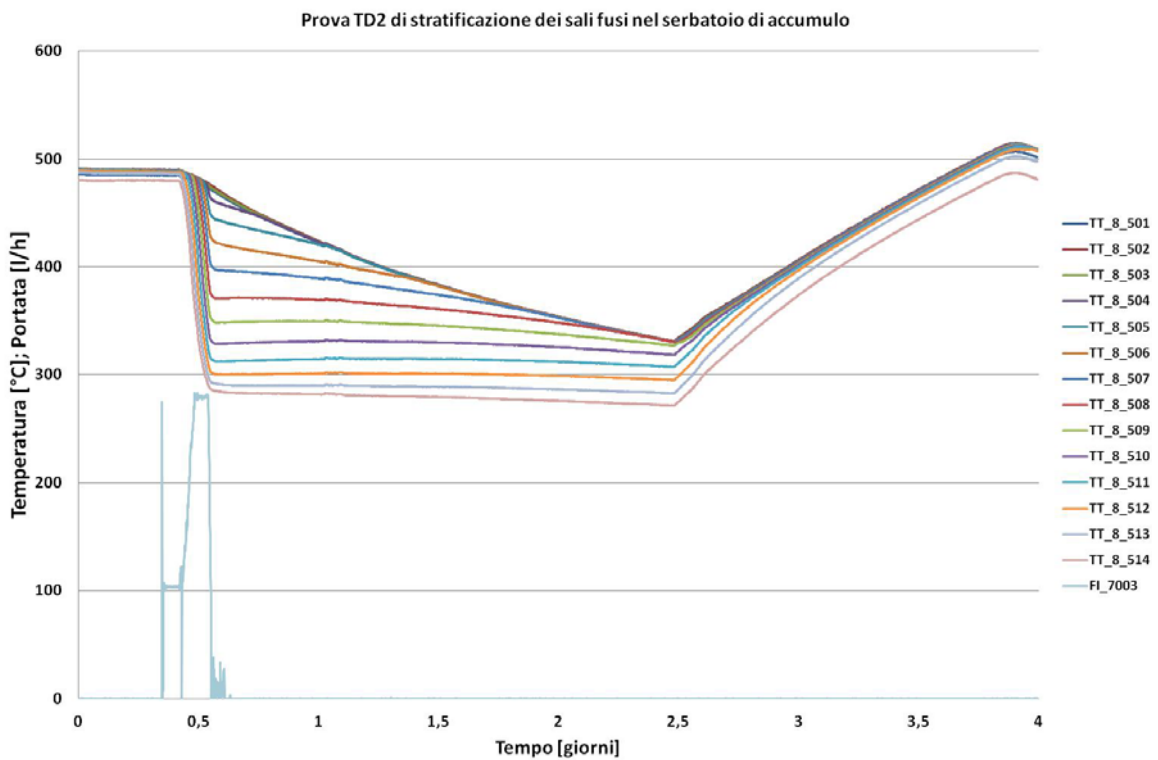


Figura 4 – Andamento delle temperature di stratificazione e della portata di acqua del GV nella Prova TD2

La Figura 4 è stata riportata a titolo esemplificativo degli andamenti della temperature, che sono stati riscontrati simili in tutte le altre prove. Si ricorda che, come già illustrato, le temperature di stratificazione sono misurate dalle 14 termocoppie disposte a “pettine” in senso assiale verticale nei vari strati di sali a 0,10 m l’una dall’altra.

Dall’analisi dei grafici precedenti si possono immediatamente fare alcune osservazioni qualitative:

- dalla prova TD1 “in bianco” riprodotta nel grafico della Figura 3 si deduce che, se non intervengono fenomeni perturbativi, l’inerzia termica della massa dei sali e del serbatoio nel suo insieme è molto grande: cioè il sistema tende a mantenere la situazione pre-esistente, in questo caso di omogeneità delle temperature. Presumibilmente, in caso invece di stratificazione anche questa tenderà a essere mantenuta nel tempo, come infatti si vedrà nelle prove successive;
- sempre nella prova TD1 si vede che al 4° giorno l’intervento del riscaldatore elettrico interno fa risalire abbastanza omogeneamente tutte le temperature; in questo caso però le temperature degli strati più profondi risalgono con maggior lentezza in quanto un riscaldamento interno comunque perturba lo stato di omogeneità: i sali più caldi a contatto diretto con il riscaldatore tenderanno a salire di livello e quelli più freddi invece tenderanno a restare sul fondo creando così una leggera stratificazione che però nel tempo andrà via via ad essere riassorbita;
- la Figura 4 mostra che all’inizio della prova TD2 i sali fusi sono ben omogenei e stabili tutti alla temperatura superiore. Quando viene avviata la pompa dell’acqua che circola nel fascio tubiero del generatore di vapore, utilizzato per innescare la stratificazione nella massa dei sali fusi, si può vedere come in un tempo relativamente breve le temperature vanno a differenziarsi largamente e i sali stratificano; al fermo della pompa, il GV smette di funzionare, il sistema viene lasciato a se stesso e la stratificazione si mantiene nuovamente molto stabile se non perturbata, come detto prima, da accadimenti esterni. Gli strati superiori dei sali tendono a raffreddarsi in quanto sono vicini al pelo libero e perciò esposti a scambiare calore con l’aria contenuta all’interno del duomo superiore del serbatoio (che, ricordiamo, non è a pressione ma atmosferico). Il comportamento è piuttosto accentuato poiché il serbatoio dell’Impianto PCS è piccolo (diametro di circa 2 m, volume totale circa 8 m³) e quindi con un rapporto “superficie esposta all’aria” / “massa dei sali” molto grande; nei serbatoi reali, che possono arrivare a dimensioni volumetriche importanti, questo rapporto diminuisce molto e anche gli effetti di raffreddamento degli strati superiori saranno più contenuti;
- quando, alla fine di due giorni e mezzo di prova, viene acceso il riscaldatore elettrico immerso, la temperatura di tutti gli strati tende a salire e gli strati stessi tendono a raggiungere la temperatura superiore, con lo stesso comportamento degli strati più freddi già descritto in precedenza. Si può tuttavia osservare che gli strati tendono sì, nel tempo, a riscaldarsi e a uniformarsi in temperatura ma non si verifica un rimescolamento tra loro: infatti le tracce delle misure di temperatura tendono ad avere tutte un comportamento crescente lineare e non si incrociano. Anche questo comportamento mostra che gli strati sono molto stabili e con la tendenza a mantenere la loro stabilità se non perturbati.

Le considerazioni precedenti, anche se fatte solamente a livello qualitativo, mostrano però una confortante conferma di quanto ci si attendeva dalla situazione di stratificazione dei sali fusi contenuti nel serbatoio di accumulo: i sali fusi sono un fluido che, per le sue intrinseche proprietà chimico-fisiche (bassa conducibilità termica, elevata viscosità), tende a mantenere la stratificazione e a non rimescolarsi, permettendone così il proficuo utilizzo in un sistema integrato come quello proposto.

3.2 Prove di carica termica del serbatoio in condizioni reali di esercizio

Le prove sperimentali di carica dell'energia termica nel serbatoio, riportate in lista nella seguente Tabella 2, sono state eseguite con la seguente procedura operativa.

Test n.	Tsali [°C]		Portata sali [kg/s]
	T iniziale	T finale	
TC1	360	480	3,0
TC2	325	420	2,5
TC3	320	420	2,0
TC4	345	385	2,0
TC5	350	430	1,5
TC6	380	420	1,5
TC7	370	415	2,0
TC8	370	415	2,5
TC9	330	470	1,5

Tabella 2 - Elenco delle prove sperimentali di carica termica del serbatoio

- 1) Le prove sono state eseguite con il generatore di vapore non funzionante (cioè non alimentato con acqua);
- 2) all'inizio di ogni prova la pompa dei sali fusi, che aspira i sali "freddi" dal fondo del serbatoio, viene fatta funzionare a una portata elevata per un tempo sufficiente a ottenere una buona omogeneità nella temperatura della massa dei sali fusi contenuti nel serbatoio (si vuole cioè ottenere un'assenza di stratificazione iniziale della temperatura dei sali fusi);
- 3) la portata dei sali fusi viene poi regolata al valore desiderato della prova (inizio della prova);
- 4) i sali freddi, aspirati dalla pompa di circolazione, fluiscono attraverso una caldaia elettrica esterna, dove la temperatura è aumentata rapidamente per effetto Joule fino al valore di prova e a questa temperatura rientrano nel serbatoio attraverso il bocchello posizionato vicino alla superficie (livello superiore) dei sali.

Queste condizioni vengono mantenute nel tempo e la prova dura fino a quando tutte le termocoppie che misurano le temperature di stratificazione raggiungono lo stesso valore, cioè fino a che il serbatoio torna a una temperatura elevata e omogenea.

Si noti che la termocoppia più profonda, la n. TT_8_514, non raggiunge mai la temperatura delle altre termocoppie ma rimane a un valore sempre inferiore, almeno durante il periodo di tempo a disposizione per l'esecuzione della prova.

Nelle seguenti Figure 5 e 6 sono riportati i grafici delle Prove TC2 e TC9 con gli andamenti delle temperature di stratificazione e della portata dei sali fusi (in l/h, da leggere sull'asse verticale di destra). Queste due prove sono rappresentative di tutte quelle effettuate, che hanno andamenti simili, e sono state scelte perché a portate diverse (sigla FI_1004, colore **turchese**, valori rispettivamente di 2,5 e 1,5 kg/s)

Dall'analisi dei grafici, alcune osservazioni:

- all'inizio delle prove, le temperature risultano in genere lievemente stratificate come conseguenza della prova del giorno precedente; tuttavia basta anche meno di mezz'ora di funzionamento della

pompa di circolazione dei sali (vedi Prova TC9) per far sì che si raggiunga l'omogeneità nei valori delle temperature all'interno del serbatoio;

- il sensore con sigla TT-1.004 (colore **viola**) registra la temperatura di uscita dalla caldaia elettrica, esterna al serbatoio, che riscalda la portata dei sali fusi fino alla desiderata temperatura di prova; corrisponde pertanto alla temperatura di ingresso nel serbatoio al livello della superficie libera dei sali; si può osservare che non appena il valore della temperatura dei sali viene incrementato con l'effetto Joule dalla caldaia elettrica, subito gli strati superiori del serbatoio rispondono scaldandosi e quindi i valori di temperatura misurati dalle termocoppie aumentano, ovviamente secondo l'ordine di profondità con il quale sono applicate le termocoppie stesse;
- ci vuole poco meno di un'ora perché l'effetto dell'ingresso dei sali caldi si senta fino alla penultima termocoppia (sigla TT_8_513), mentre l'ultima (sigla TT_8_514) (traccia **marrone** nei grafici) sale lentamente senza mai arrivare al valore delle altre, almeno per il tempo di durata delle prove. Durante il processo di omogeneizzazione iniziale delle temperature, queste si portano tutte insieme allo stesso valore al quale poi resta bloccata la sola termocoppia più profonda, come se l'aspirazione della pompa dal fondo del serbatoio creasse un vortice che tende a rimescolare gli strati freddi più profondi impedendo loro di riscaldarsi se non molto lentamente. Alla portata più elevata (Prova TC2) si notano oscillazioni più accentuate nella temperatura della TT_8_514 (vedi la Fig. 7 dove è riportato un particolare ingrandito dell'andamento di questa temperatura) come se la portata calda giungesse fino agli strati più profondi arrivando quasi a perturbarli e a scaldarli, ma non riuscendoci comunque. Questo è certamente un punto da studiare approfonditamente quando fosse pronto un codice di simulazione in 3D del componente;
- inoltre, queste annotazioni suggeriscono che l'ingresso dei sali fusi all'interni del serbatoio, agli strati più caldi ed elevati, deve essere progettato in maniera molto curata. Certamente non con un bocchello unico dal quale entra tutta la portata, come succede nel caso sperimentale, ma si può pensare di realizzare ad esempio un distributore circonferenziale ad anello, con ugelli di uscita dei sali posti lungo tutta la circonferenza e calcolati per basse velocità di uscita dei sali stessi, al fine di evitare in ogni modo, o quanto meno minimizzare, di perturbare la stratificazione innescata. Nel caso sperimentale si è adattato un serbatoio già esistente per cui non è stato possibile intervenire in maniera adeguata sulle modalità di rientro dei sali nel serbatoio stesso;
- l'importante è che comunque, in condizioni al contorno stazionarie (portata dei sali e temperatura in ingresso costanti), la massa di sali fusi contenuta nel serbatoio tende a stabilizzarsi e a stratificarsi tra le due temperature "calda" e "fredda", mantenendo nel tempo questa situazione. In presenza del generatore di vapore funzionante, la temperatura del fondo del serbatoio tenderebbe a restare "fredda" al valore di uscita dei sali dal generatore stesso, che diventa così l'elemento attivo che mantiene la stratificazione.

Si è pertanto verificato che la stratificazione esiste e viene mantenuta stabile. Una importante conseguenza di questo fatto è che, con un'alimentazione continua di energia termica, si può utilizzare questo sistema proposto (configurazione a un solo serbatoio di accumulo con generatore di vapore integrato) che mantiene nel tempo due temperature limiti ("calda" e "fredda"), al posto della configurazione classica con i due serbatoi di accumulo (serbatoio "caldo" e "freddo").

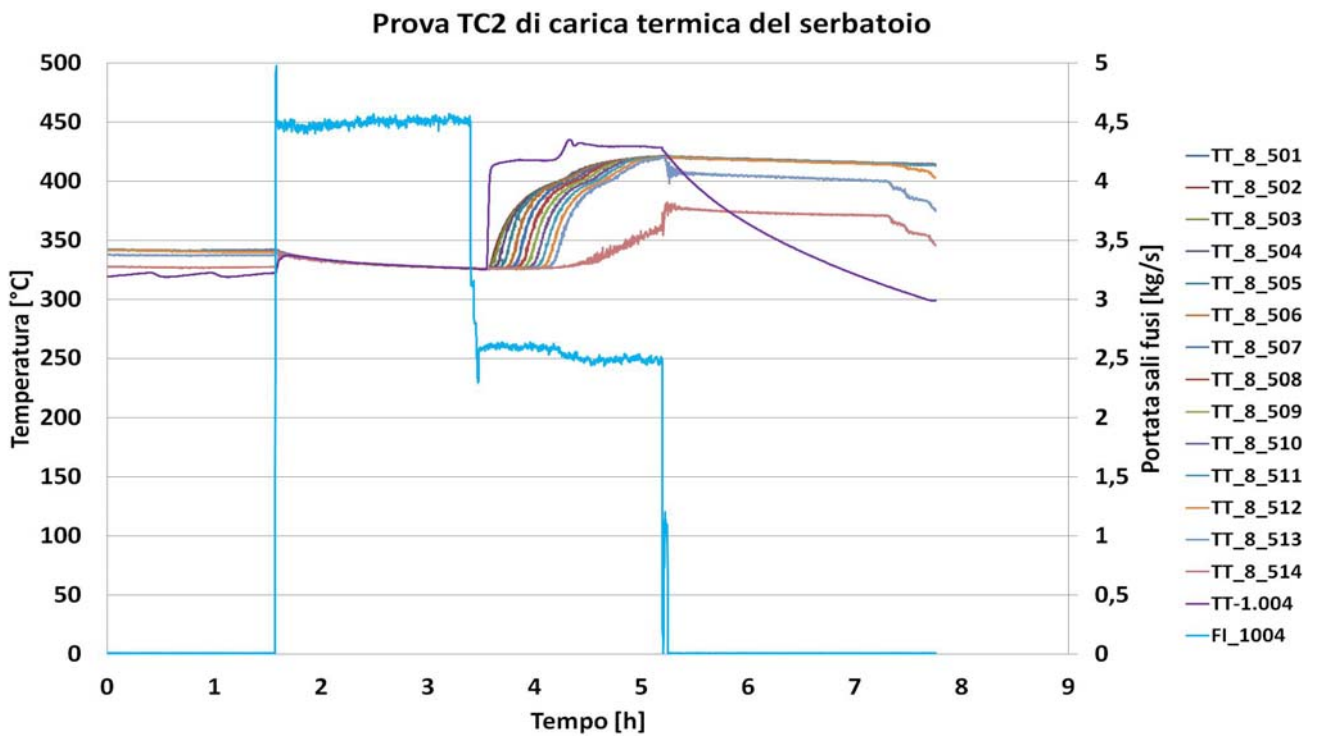


Figura 5 – Andamento delle temperature di stratificazione e della portata dei sali fusi nella Prova TC2

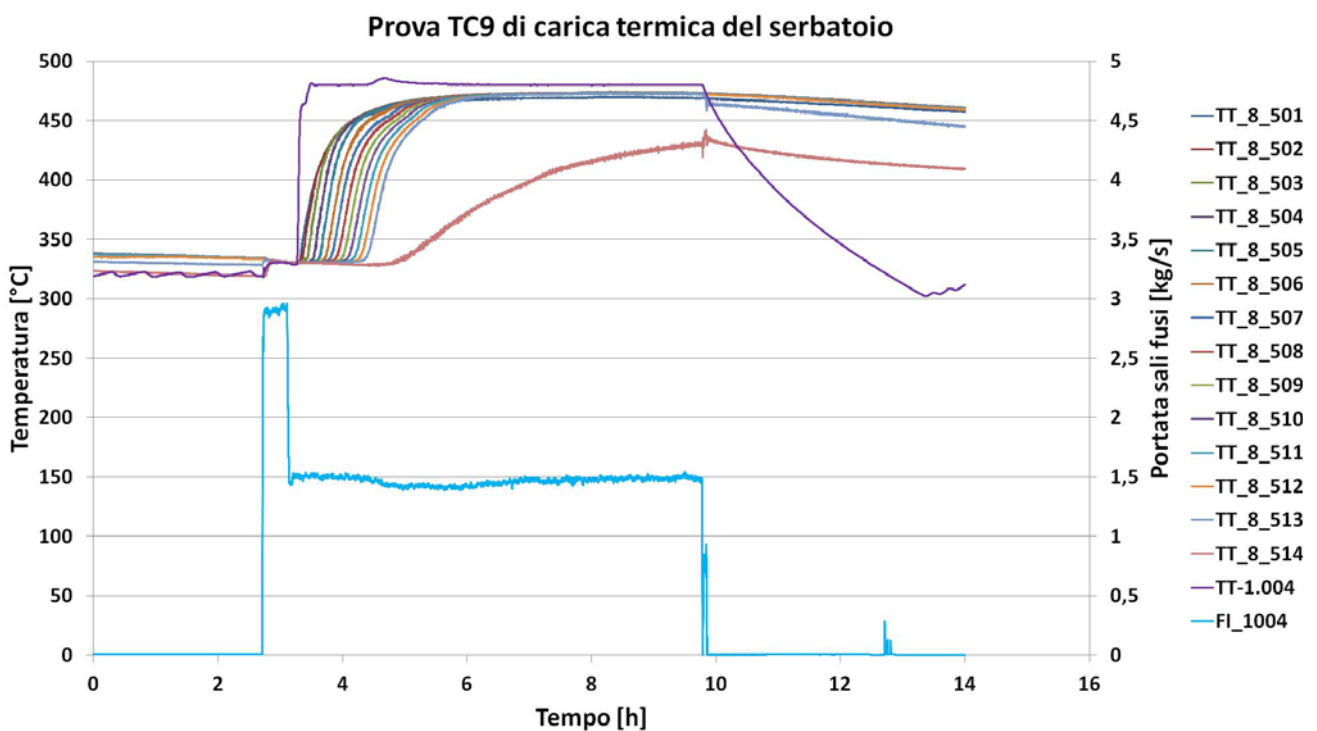


Figura 6 – Andamento delle temperature di stratificazione e della portata dei sali fusi nella Prova TC9

Prova TC2 di carica termica del serbatoio - Particolare

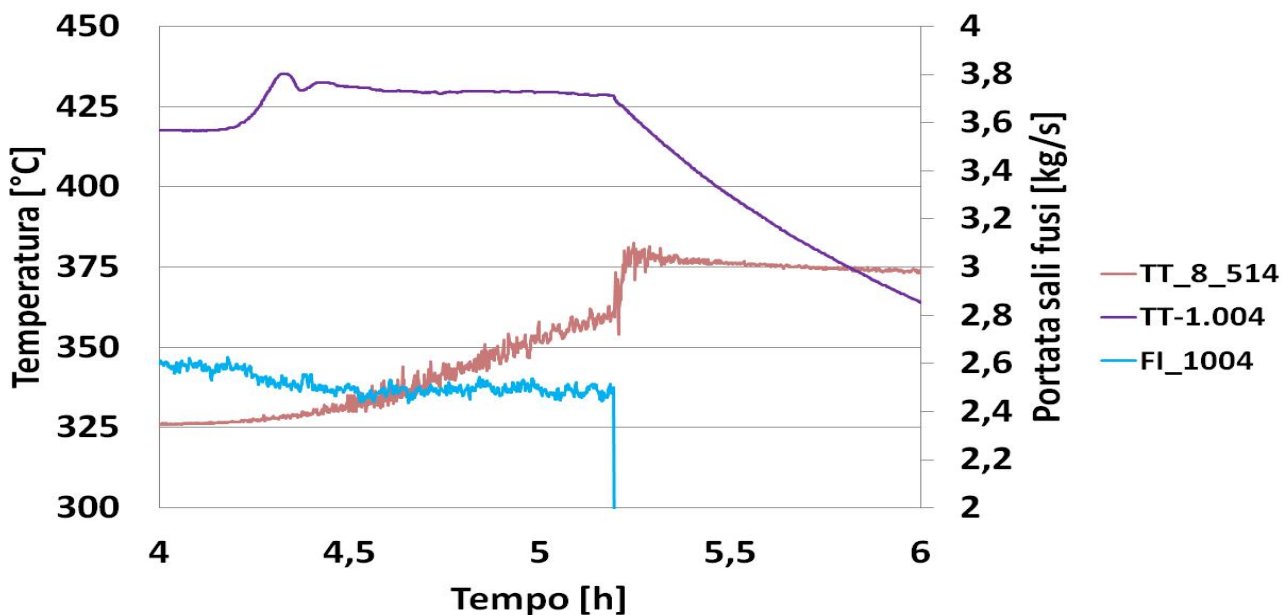


Figura 7 – Particolare della Prova TC2 con l’andamento oscillante della temperatura TT_8_514 dello strato più profondo

4 Conclusioni

L’attività sperimentale riportata nel presente Documento ha riguardato la prosecuzione della sperimentazione svolta per caratterizzare il comportamento operativo di un sistema di nuova concezione, consistente in un serbatoio di accumulo integrato con un generatore di vapore di tipo “once-through”. In particolare la sperimentazione si è concentrata sull’attivazione, la presenza e il mantenimento della stratificazione in temperatura di una massa di sali fusi contenuta nel serbatoio di accumulo integrato.

In particolare si è verificato che lo sfruttamento delle proprietà fisiche peculiari dei sali fusi permette il loro sfruttamento in condizioni di stratificazione termica in un serbatoio di accumulo, e la presenza dentro di esso di un generatore di vapore integrato once-through si concretizza come elemento attivo che attiva la stratificazione dei sali fusi.

Le prove sperimentali, che sono state effettuate sull’Impianto PCS del C.R. Casaccia dell’ENEA, consentono di affermare che il nuovo sistema integrato proposto si dimostra funzionante secondo le aspettative e che presenta i requisiti di - compattezza; - modularità; - semplicità di gestione operativa; - efficienza nelle prestazioni; - costi contenuti, che si erano prefigurati all’atto della progettazione del sistema stesso.

5 Bibliografia

- /1/ “Caratterizzazione termica del serbatoio di accumulo a sali fusi dell’impianto sperimentale PCS del C.R. Casaccia dell’ENEA”, autori F. Fabrizi, W. Gaggioli, L. Rinaldi, P. Tarquini, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Piano Annuale di Realizzazione 2012 - Settembre 2013.

/2/ “Progetto preliminare della nuova linea a sali fusi per lo studio del fenomeno della stratificazione termica nel serbatoio a sali fusi dell’Impianto PCS”, 2013.

6 Abbreviazioni ed acronimi

TREBIOS:	TRigenerazione con Energie rinnovabili: BIOmasse e Solare termodinamico
PCS:	Prova Componenti Solari
CSP:	Concentrating Solar Power
GV:	Generatore di Vapore