

Ricerca di Sistema elettrico



Ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili - Analisi numerica del potenziale applicativo di una tecnologia innovativa di riscaldamento elettrico dei sali fusi (LA1.18)

Giuseppe Vecchi, Mehdi Shokrnia, Matteo Battaglia, Mattia Cagnoli, Michela Lanchi, Roberto Zanino



**Politecnico
di Torino**

Ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili - Analisi numerica del potenziale applicativo di una tecnologia innovativa di riscaldamento elettrico dei sali fusi (LA1.18)

Giuseppe Vecchi (Politecnico di Torino), Mehdi Shokrnia (Politecnico di Torino), Matteo Battaglia (Politecnico di Torino), Mattia Cagnoli (ENEA), Michela Lanchi (ENEA), Roberto Zanino (Politecnico di Torino)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.9 "Solare termodinamico"

Linea di attività: LA1.18

Responsabile del Progetto: Antonio Guglielmo, ENEA

Responsabile del Work Package: Antonio Guglielmo, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Prof. Roberto Zanino, Politecnico di Torino (PoliTO)

Mese inizio previsto: 19

Mese inizio effettivo: 19

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di Collaborazione, tra ENEA e PoliTO, dal titolo: "Ibridizzazione del CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili - Sviluppo di modelli numerici e simulazione di sistemi di accumulo termico, di tipo termocline, ibridizzati alimentabili da CSP e altre tecnologie FER, e di innovativi sistemi di riscaldamento elettrico dei sali fusi"

Responsabile scientifico ENEA: Michela Lanchi

Responsabile scientifico Co-beneficiario: Prof. Roberto Zanino

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti.....	5
3	Prodotti attesi	6
4	Prodotti sviluppati	7
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	8
6	Sintesi delle attività svolte	9
7	Dettaglio delle attività svolte.....	10
7.1	Modello numerico di dettaglio del dispositivo sperimentale	10
7.1.1	Modello termo-fluidodinamico con perdite termiche	11
7.1.2	Girante assiale e sliding short circuit	12
7.2	Modello numerico di un sistema di accumulo "full-scale"	14
7.2.1	Modello termo-fluidodinamico	16
7.2.2	Discussione dei risultati	17
7.3	Bibliografia.....	20
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	21
9	Pubblicazioni scientifiche	22
10	Eventi di disseminazione	23

Indice delle figure

Figura 1. Schema del dispositivo sperimentale progettato nella parallela linea di attività LA 1.15	10
Figura 2. Dominio computazionale e condizioni al contorno del modello elettromagnetico accoppiato al modello termo-fluidodinamico e distribuzione di temperatura dopo un transitorio di 7 minuti, come da risultati della LA1.16.....	11
Figura 3. Schema elettrico equivalente per le perdite termiche dal volume dei sali fusi verso l'ambiente esterno	12
Figura 4. (a) Evoluzione della temperatura dei sali durante il transitorio e (b) distribuzione della temperatura dei sali alla fine del transitorio (20 minuti).....	12
Figura 5. Dominio computazionale e condizioni al contorno applicate al modello elettromagnetico comprensivo della girante assiale e dello sliding short circuit.....	13
Figura 6. (a) Campo elettromagnetico calcolato nei sali nel caso di girante con palette in posizione 0° e SSC alla minima estensione. (b) Coefficiente di riflessione (S11) nel caso senza girante e SSC (LA1.16) e nel caso con girante (palette a 0° e 60°) e SSC alla minima/massima estensione.....	14
Figura 7. (a) Campo di velocità e (b) temperatura nel volume dei sali al termine del transitorio.....	14
Figura 8. Schema del sistema di accumulo termoclineo di riferimento	15
Figura 9. Schema di funzionamento del sistema di accumulo termoclineo di riferimento: (a) carica e (b) scarica	15
Figura 10. (a) Configurazione del sistema di accumulo termoclineo con tecnologia di riscaldamento elettrico mediante microonde e (b) schema del flusso dei sali durante un transitorio di carica	16
Figura 11. (a) Dominio computazionale e condizioni al contorno adottate nel modello CFD e (b) griglia di calcolo.....	17
Figura 12. (a) Campo di velocità e (b) di temperatura calcolati alla fine del transitorio.....	17
Figura 13. Schema della configurazione del serbatoio di accumulo modificato con riduzione del volume riscaldato	18
Figura 14. Linee di flusso e campo di velocità nella configurazione con volume riscaldato ridotto	18
Figura 15. Andamento nel tempo della temperatura massima dei sali nel volume riscaldato per la configurazione base (base) e per quella con riduzione del volume riscaldato (annular).....	19
Figura 16. Andamento nel tempo della temperatura dei sali nel canale verticale per la configurazione base (base) e per quella con riduzione del volume riscaldato (annular)	19
Figura 17. Andamento nel tempo della temperatura dei sali nel canale verticale per la configurazione con volume riscaldato ridotto, nel caso di sole microonde (annular) e nel caso di riscaldamento elettrico + termico (annular_charge)	20
Figura 18. Andamento nel tempo della portata dei sali nel canale verticale per la configurazione con volume riscaldato ridotto, nel caso di sole microonde (annular) e nel caso di riscaldamento elettrico + termico (annular_charge).....	20

1 Risultati attesi

In accordo con il capitolato, i risultati attesi della linea di attività LA1.18 sono:

- sviluppo di un modello numerico di dettaglio del dispositivo sperimentale progettato da ENEA operante con il sistema di riscaldamento elettrico selezionato nella linea di attività LA1.15;
- definizione, mediante simulazioni, dei test di maggiore interesse da eseguire nella campagna sperimentale condotta nella linea di attività LA1.17;
- sviluppo di un modello termo-fluidodinamico di un sistema di accumulo ad alta temperatura di dimensioni reali alimentato da energia termica ed elettrica e dotato della tecnologia di riscaldamento elettrico definita nella linea di attività LA1.15;
- identificazione di un design preliminare del sistema di accumulo dotato della nuova tecnologia di riscaldamento elettrico e analisi delle prestazioni termiche del sistema di accumulo durante un transitorio di carica, al variare dei profili di carica (quota elettrica e termica).

2 Risultati ottenuti

I risultati attesi per la linea di attività LA1.18 sono stati raggiunti.

3 Prodotti attesi

In accordo con il capitolato, i prodotti attesi per la linea di attività LA1.18 sono:

- Il presente report tecnico;
- Modello numerico di dettaglio del dispositivo sperimentale per il riscaldamento elettrico ad alta efficienza dei sali fusi (progettato nell'ambito della LA1.15 e realizzato nella LA1.17). Il modello numerico viene descritto nel presente report tecnico;
- Modello numerico di un sistema di accumulo ad alta temperatura "full-scale", alimentato da energia termica ed elettrica e dotata della innovativa tecnologia di riscaldamento elettrico ad alta efficienza dei sali fusi (studiata e sperimentata nelle LA1.15, LA1.16, LA1.17 e LA1.18). Il modello numerico viene descritto nel presente report tecnico.

4 Prodotti sviluppati

In accordo con i prodotti attesi, il prodotto sviluppato nella linea di attività LA1.18 corrisponde al presente report tecnico, che descrive i modelli numerici sviluppati (modello di dettaglio del dispositivo sperimentale e modello termo-fluido-dinamico del sistema di accumulo full-scale) e i risultati ottenuti dalle simulazioni.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si riscontrano scostamenti rispetto alle attività e ai risultati.

6 Sintesi delle attività svolte

Nell'ambito della presente linea di attività LA1.18, il Politecnico di Torino ha sviluppato un modello elettromagnetico accoppiato ad un modello termo-fluidodinamico del dispositivo sperimentale progettato nella linea di attività LA1.15, sulla base del modello semplificato sviluppato nella precedente LA1.16. Tale modello considera le perdite termiche dal serbatoio e la presenza di una girante assiale nel volume dei sali fusi. Inoltre, considera l'installazione di uno sliding short circuit (SSC) per la regolazione del coefficiente di riflessione elettromagnetica.

In aggiunta, si è sviluppato un modello CFD di un sistema di accumulo termocline indiretto alimentato da energia termica ed elettrica e dotato della tecnologia di riscaldamento elettrico dei sali fusi mediante microonde. In particolare, si è simulata la presenza di una cavità risonante che consente di dissipare le microonde nei sali, realizzando un preriscaldamento prima che i sali entrino nella serpentina di carica.

7 Dettaglio delle attività svolte

Nell'ambito della presente linea di attività LA1.18, il Politecnico di Torino ha sviluppato

- un modello numerico di dettaglio del dispositivo sperimentale progettato nella linea di attività LA1.15 e realizzato nella LA1.17, sulla base del modello semplificato sviluppato nella precedente LA1.16 (sezione 7.1);
- un modello numerico di un sistema di accumulo ad alta temperatura "full-scale", alimentato da energia termica ed elettrica e dotato della tecnologia di riscaldamento elettrico dei sali fusi mediante microonde (sezione 7.2)

7.1 Modello numerico di dettaglio del dispositivo sperimentale

In questa sezione, viene descritto il modello di dettaglio del dispositivo sperimentale sviluppato a partire dal modello numerico sviluppato nella precedente LA1.16. Figura 1 mostra lo schema del dispositivo sperimentale ideato e progettato nella linea di attività LA1.15. Il modello numerico, sviluppato con COMSOL nella LA1.16, è costituito da un modello elettromagnetico accoppiato ad un modello termo-fluidodinamico (Figura 2). Il modello ha permesso di calcolare la potenza elettrica dissipata nei sali (Solar Salt) e la relativa distribuzione di temperatura. Quest'ultima si caratterizza per un gradiente dall'alto verso il basso che inibisce il miscelamento per convezione naturale (Figura 2).

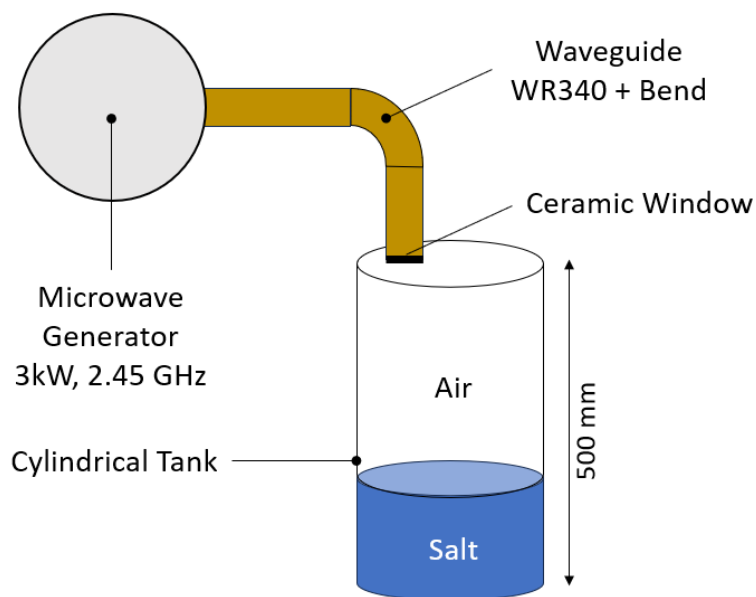


Figura 1. Schema del dispositivo sperimentale progettato nella parallela linea di attività LA 1.15

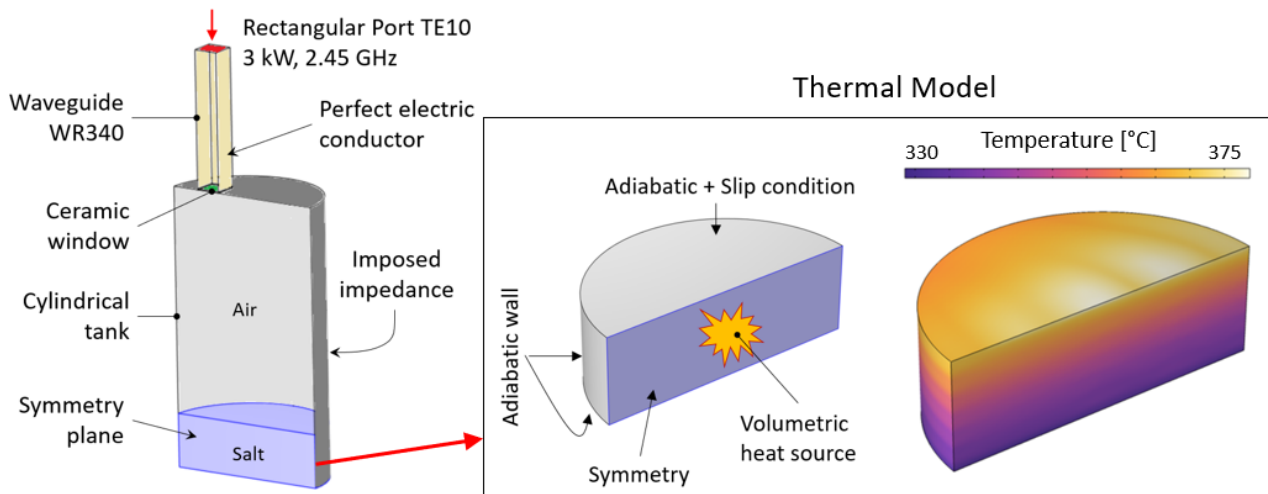


Figura 2. Dominio computazionale e condizioni al contorno del modello elettromagnetico accoppiato al modello termo-fluidodinamico e distribuzione di temperatura dopo un transitorio di 7 minuti, come da risultati della LA1.16

Nella presente linea di attività LA1.18, il modello numerico è stato aggiornato prevedendo la presenza di componenti non considerati nella precedente LA1.16 e rimuovendo alcune delle ipotesi semplificative; in particolare:

- Nel modello termo-fluidodinamico, si è rimossa l'ipotesi di condizioni adiabatiche, valutando le dispersioni termiche dal perimetro esterno dei sali (sezione 7.1.1).
- Si è inserita una girante assiale per forzare il miscelamento dei sali al fine di uniformarne la temperatura (sezione 7.1.2).
- Si è inserito lo sliding short circuit (SSC) e si è verificato l'impatto di questo dispositivo sulle prestazioni elettromagnetiche (sezione 7.1.2).

7.1.1 Modello termo-fluidodinamico con perdite termiche

In Figura 3 si riporta lo schema elettrico equivalente delle perdite termiche. La superficie laterale e quella inferiore sono a contatto con il serbatoio cilindrico. Trascurando la resistenza termica offerta dalla parete metallica del serbatoio, si considera la conduzione termica attraverso lo strato isolante (lana di roccia, conducibilità termica pari a 0.033 W/m/K) e lo scambio termico convettivo con l'ambiente esterno. Quest'ultimo, si basa su correlazioni per lo scambio termico nel caso di convezione naturale valide per piastre orizzontali (superficie inferiore) e piastre verticali (superficie laterale) [1]. Per quanto riguarda le perdite termiche dalla superficie libera dei sali, si è considerato lo scambio termico per convezione e irraggiamento nella cavità costituita dalla parte superiore del serbatoio cilindrico (con aria a pressione atmosferica) e quindi lo scambio termico per conduzione nell'isolante e per convezione con l'ambiente esterno. Per lo scambio termico convettivo nella cavità si è considerata la correlazione di Globe & Dropkin per cavità rettangolari orizzontali [1]. Per la quota di irraggiamento, si è assunta una emissività dei sali pari a 0.9 [2].

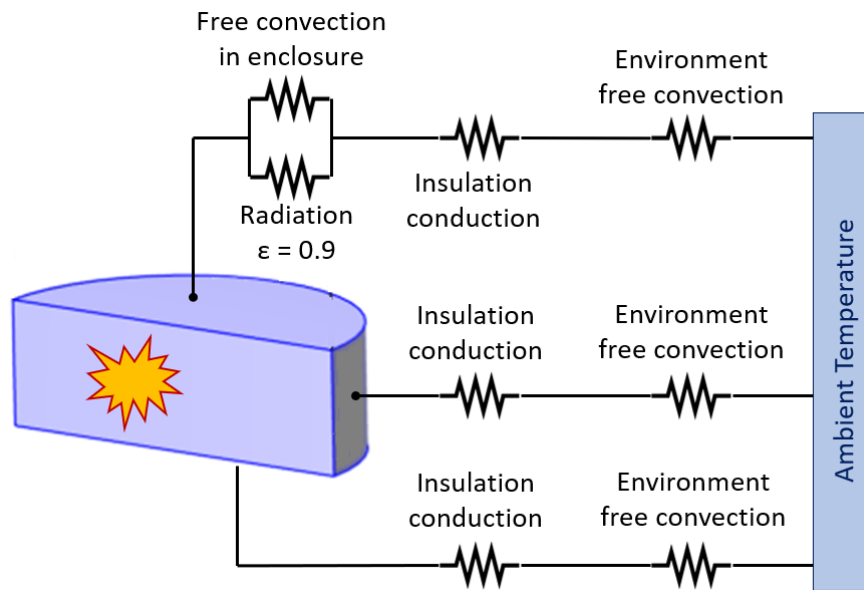


Figura 3. Schema elettrico equivalente per le perdite termiche dal volume dei sali fusi verso l'ambiente esterno

Al fine di valutare l'entità delle perdite termiche, si è simulato un transitorio di 20 minuti considerando il carico termico derivante dalla dissipazione elettromagnetica nei sali, come nella LA1.16. La temperatura ambiente si pone pari a 25 °C, mentre la temperatura iniziale dei sali è pari a 280 °C. In Figura 4 si riportano i risultati della simulazione. Le perdite termiche risultano trascurabili (< 2%), ma si deve osservare che non si è tenuto conto della complessa struttura della calotta superiore del serbatoio, che presenta diverse flange che si comportano come ponti termici. Risulta quindi importante valutare sperimentalmente, nella LA1.17, l'effettivo impatto di tali flange sulla dissipazione di energia termica.

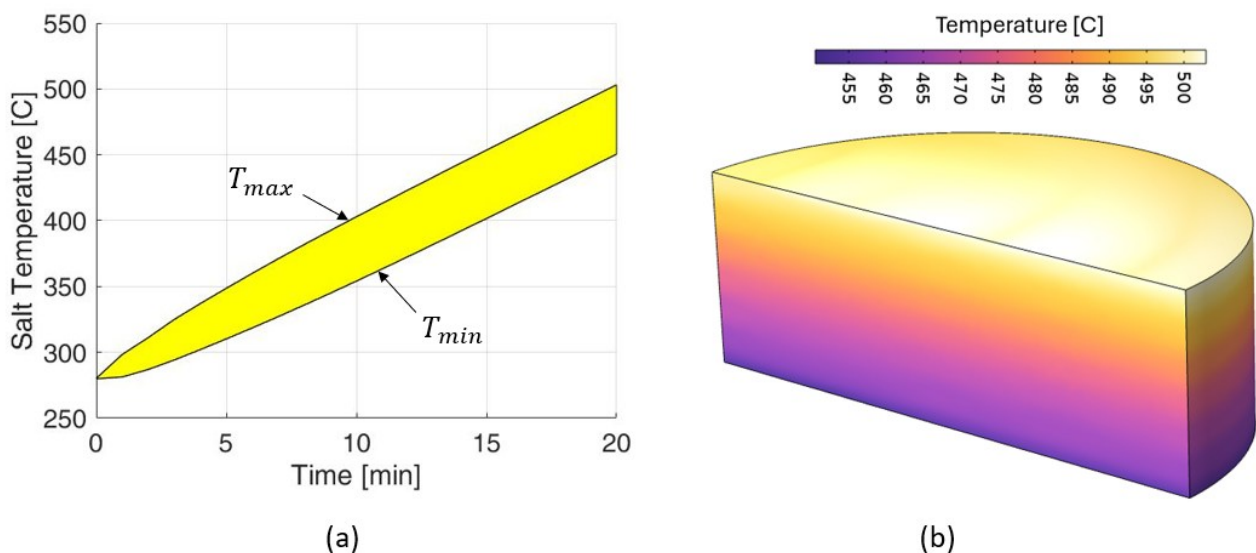


Figura 4. (a) Evoluzione della temperatura dei sali durante il transitorio e (b) distribuzione della temperatura dei sali alla fine del transitorio (20 minuti)

7.1.2 Girante assiale e sliding short circuit

I risultati della LA 1.16 suggeriscono che la distribuzione di temperatura nei sali presenti un gradiente verticale, dall'alto verso il basso, che inibisce i moti per convezione naturale. Al fine di uniformare la temperatura dei sali, si inserisce una girante assiale. La posizione della girante in direzione radiale coincide con l'asse del serbatoio, mentre in direzione verticale essa è posta

a metà altezza dei sali. Il diametro della girante è pari al 45 % del diametro del serbatoio, ovvero circa 127 mm. La velocità della girante si assume pari a 60 rpm.

Lo sliding short circuit (SSC) è un dispositivo che permette di regolare il coefficiente di riflessione di una cavità risonante. Per semplificare, lo SSC può essere considerato come un segmento di guida d'onda, chiuso ad una estremità e di lunghezza regolabile. Nel nostro caso, si è prevista una flangia sulla calotta superiore del serbatoio cilindrico, simmetrica a quella della guida d'onda, su cui installare tale dispositivo.

Il modello elettromagnetico è stato modificato introducendo questi due dispositivi. Figura 5 mostra il dominio computazionale e le condizioni al contorno. Si nota che il dominio computazionale, a causa della girante, non risulta più simmetrico e deve essere considerato nella sua interezza. La posizione delle palette della girante può essere ruotata liberamente, così come la posizione verticale della piastra mobile dello SSC. Nel corso di questo studio si considerano due posizioni della girante (0° e 60°) e due scorrimenti verticali dello SSC, rispettivamente, minima e massima lunghezza.

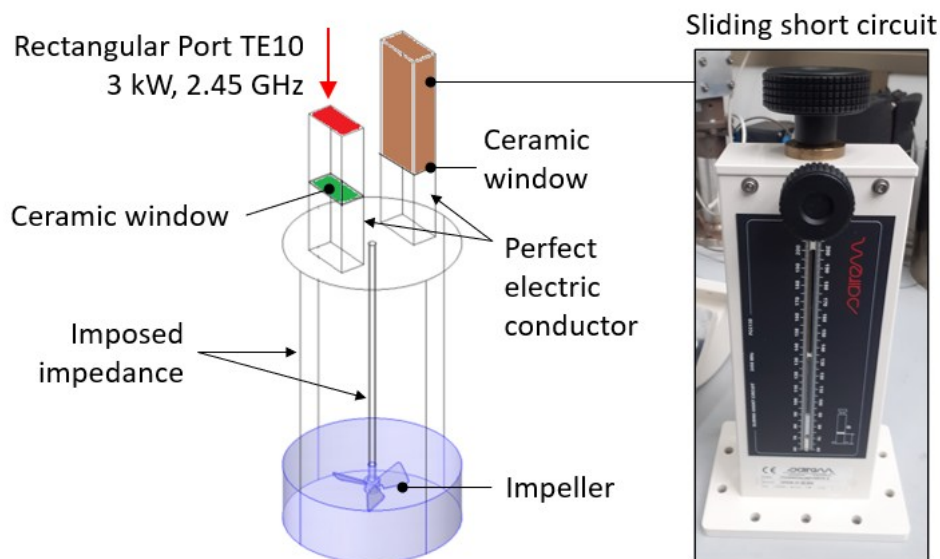


Figura 5. Dominio computazionale e condizioni al contorno applicate al modello elettromagnetico comprensivo della girante assiale e dello sliding short circuit

I risultati delle simulazioni (Figura 6) mostrano che l'introduzione della girante assiale provoca una riduzione delle prestazioni elettromagnetiche del sistema, passando da circa -26.5 dB (0.2 % di potenza riflessa) a circa -13.4 dB (4.5 % di potenza riflessa), indipendentemente dalla posizione delle palette. Il campo elettromagnetico ha dei picchi in prossimità dell'albero della girante. Lo SSC ha un effetto trascurabile, indipendentemente dall'estensione considerata. Ciò si deve alla posizione in cui è stata prevista l'installazione del dispositivo, che non permette una efficace interazione con il campo elettromagnetico all'interno della cavità. La scelta della posizione in cui installare lo SSC è stata dettata da ragioni strutturali e di accessibilità.

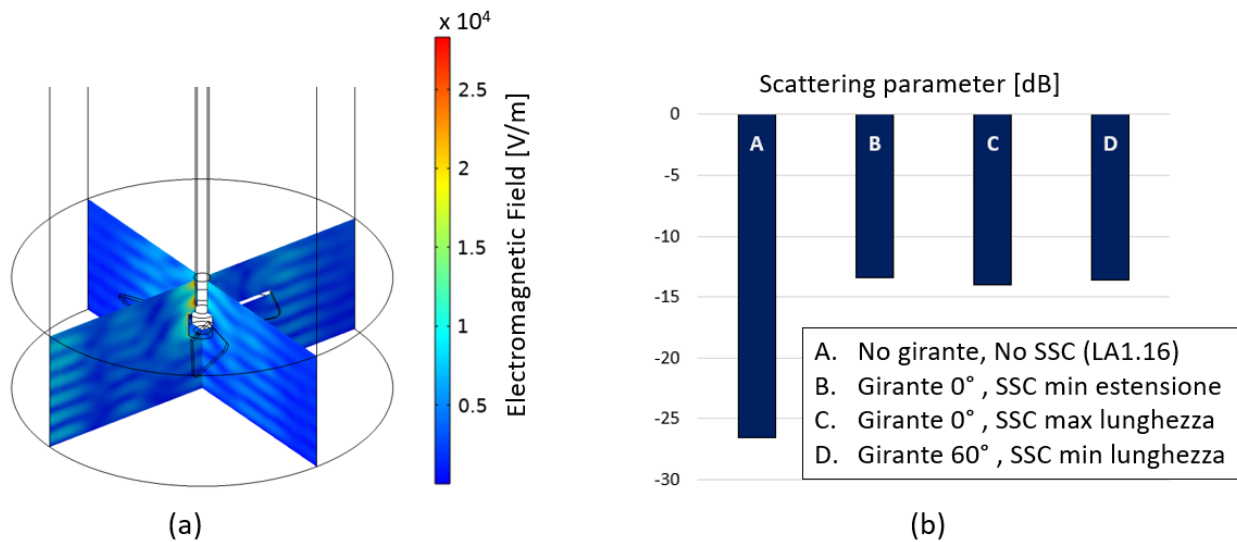


Figura 6. (a) Campo elettromagnetico calcolato nei sali nel caso di girante con palette in posizione 0° e SSC alla minima estensione. (b) Coefficiente di riflessione (S11) nel caso senza girante e SSC (LA1.16) e nel caso con girante (palette a 0° e 60°) e SSC alla minima/massima estensione

Ai fini della campagna sperimentale (LA1.17), si ritiene interessante, sulla base dei risultati ottenuti, verificare l'effettivo comportamento elettromagnetico della cavità risonante al variare della temperatura del sale. Infatti, come discusso nella LA1.16, il modello numerico non tiene conto della dipendenza delle proprietà dielettriche dalla temperatura, per assenza di dati.

Il carico termico volumetrico calcolato con il modello elettromagnetico viene imposto nel modello termo-fluidodinamico, che tiene conto delle perdite termiche e del campo di velocità determinato dalla girante. Simulando un transitorio di 7 minuti, si è verificato che la girante permette di ottenere una distribuzione uniforme della temperatura (Figura 7).

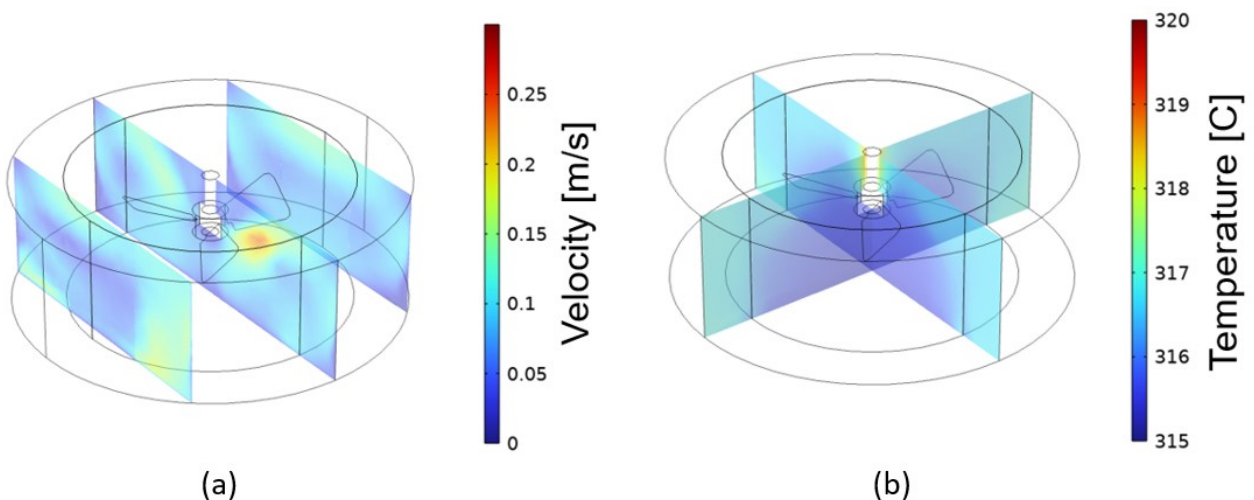


Figura 7. (a) Campo di velocità e (b) temperatura nel volume dei sali al termine del transitorio

7.2 Modello numerico di un sistema di accumulo "full-scale"

In questa sezione si descrive il modello numerico di un sistema di accumulo ad alta temperatura, su scala significativa, che integri la tecnologia di riscaldamento elettrico mediante microonde. Il sistema di accumulo scelto come riferimento per questo studio è quello considerato nelle linee di attività LA 1.11, 1.12, 1.13 e 1.14. Si tratta di un sistema di accumulo indiretto di tipo termoclino. Nella presente LA1.18, si assume che il mezzo di accumulo sia una miscela di sali binari (Solar Salt). Figura 8 mostra la configurazione di riferimento del

termoclino: il sistema si caratterizza per la presenza di due serpentine, una di carica e una di scarica, collegate tramite un canale verticale, che guida il movimento dei sali durante le fasi di carica e scarica (Figura 9).

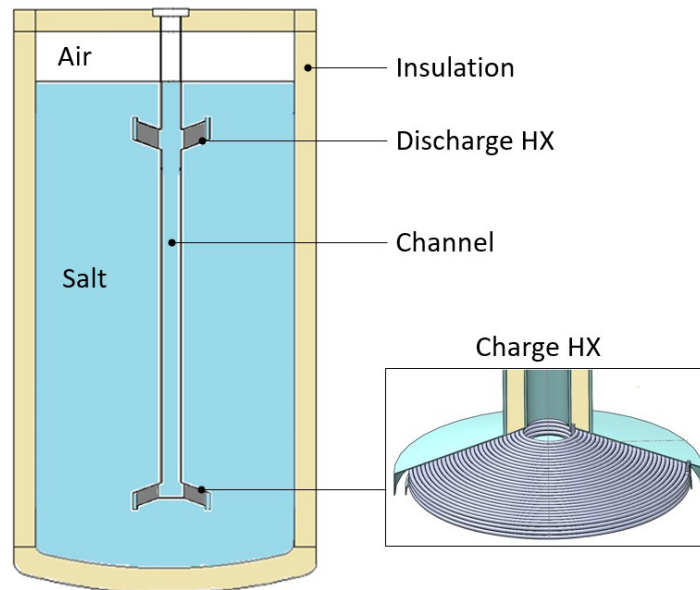


Figura 8. Schema del sistema di accumulo termoclino di riferimento

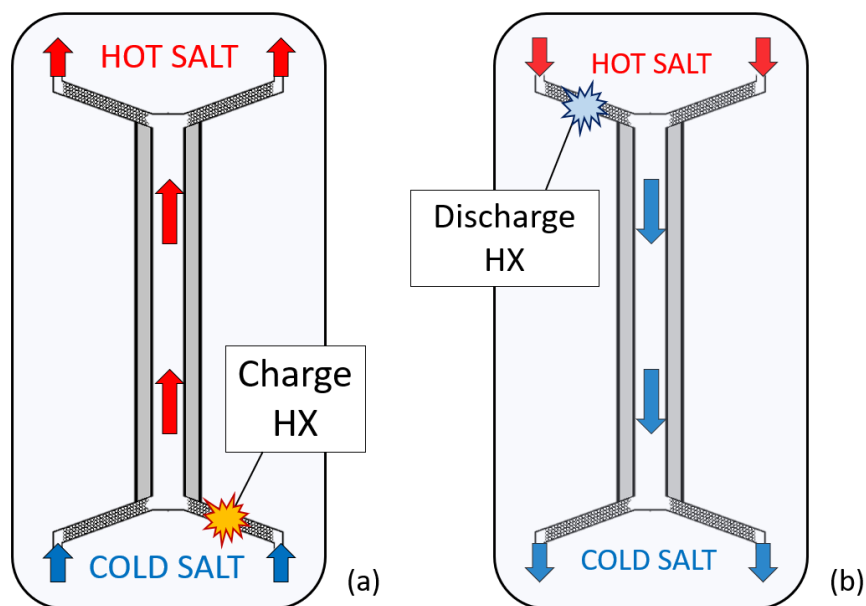


Figura 9. Schema di funzionamento del sistema di accumulo termoclino di riferimento: (a) carica e (b) scarica

Al fine di integrare nel sistema di accumulo termoclino un dispositivo per il riscaldamento elettrico dei sali mediante microonde, si immagina di collocare, sotto alla serpentina di carica, una cavità risonante (con aria all'interno) di forma cilindrica; si veda Figura 10. Le pareti della cavità sono in acciaio, ad eccezione della piastra superiore, realizzata in materiale ceramico per consentire alla radiazione elettromagnetica di uscire dalla cavità e dissipare la propria energia nei sali. Si individua, quindi, un volume riscaldato per mezzo delle microonde confinato tra la piastra ceramica e la serpentina di carica. La cavità viene raggiunta da una serie di guide d'onda che si innestano radialmente nel cilindro; ogni guida d'onda è collegata ad un magnetron che si trova esternamente al serbatoio di accumulo. Durante la fase di carica, i sali lambiscono la parete laterale della cavità, circolano nel volume riscaldato dalle microonde e quindi

risalgono lungo il canale passando attraverso la serpentina di carica (Figura 10). Con questa configurazione è possibile preriscaldare elettricamente i sali prima che questi passino attraverso la serpentina di carica.

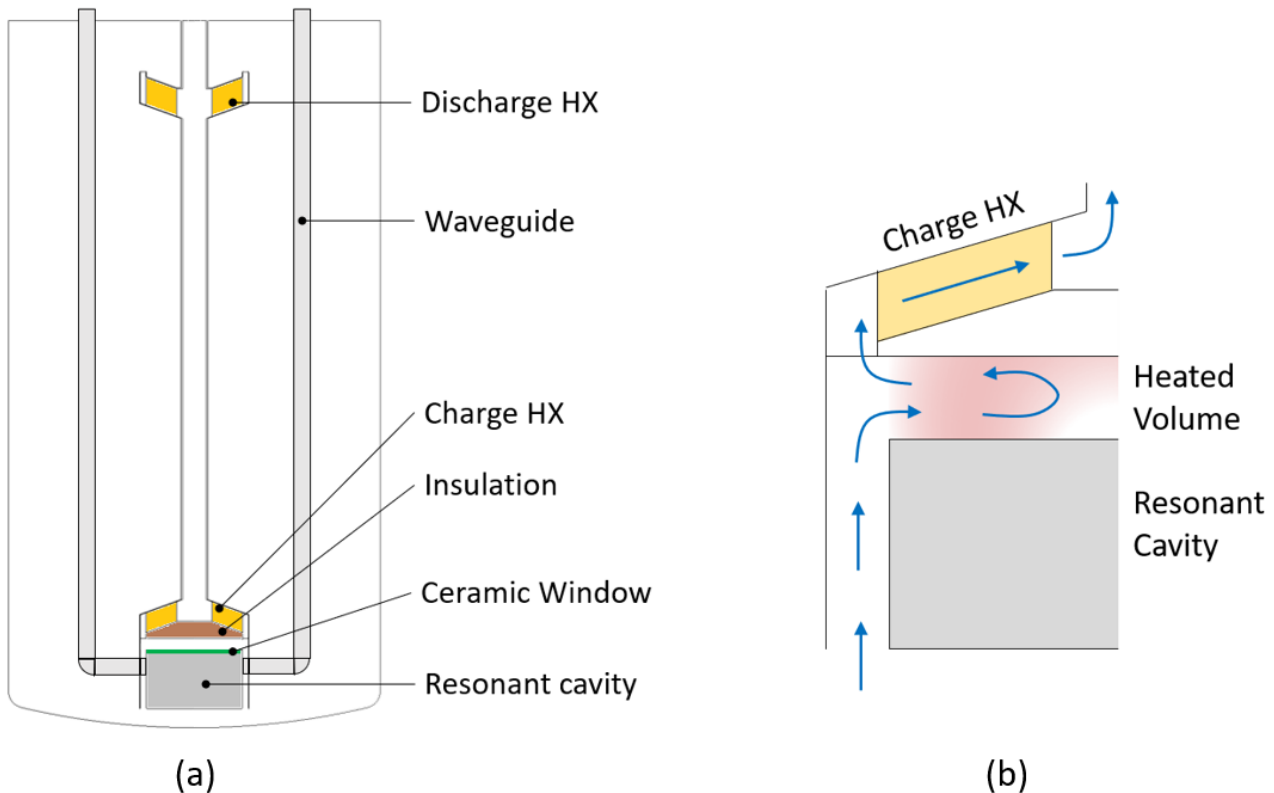


Figura 10. (a) Configurazione del sistema di accumulo termocline con tecnologia di riscaldamento elettrico mediante microonde e (b) schema del flusso dei sali durante un transitorio di carica

In sezione 7.2.1 si descrive il modello numerico; i risultati sono discussi in sezione 7.2.2.

7.2.1 Modello termo-fluidodinamico

Il modello termo-fluidodinamico (CFD) del sistema di accumulo termocline dotato della tecnologia di riscaldamento elettrico dei sali fusi mediante microonde è stato sviluppato con Star-CCM+. Il modello si basa su quello sviluppato nella LA1.12. Il dominio computazionale corrisponde al solo volume dei sali fusi: tutte le pareti solide, l'isolante, lo strato di aria sopra il pelo libero dei sali e la cavità risonante e sono escluse dal dominio di calcolo. Trascurando la presenza delle guide d'onda, il dominio risulta 2D assialsimmetrico. Le condizioni al contorno applicate sono rappresentate in Figura 11; si veda il report della LA1.12 per maggiori dettagli. La forzante termica è rappresentata da una sorgente di calore uniforme nel volume riscaldato dalle microonde e una sorgente di calore uniforme nel mezzo poroso corrispondente alla serpentina di carica. Il modello è laminare e adotta l'approssimazione di Boussinesq. La griglia di calcolo consta di 2.4×10^5 celle con trattamento a parete (Figura 11).

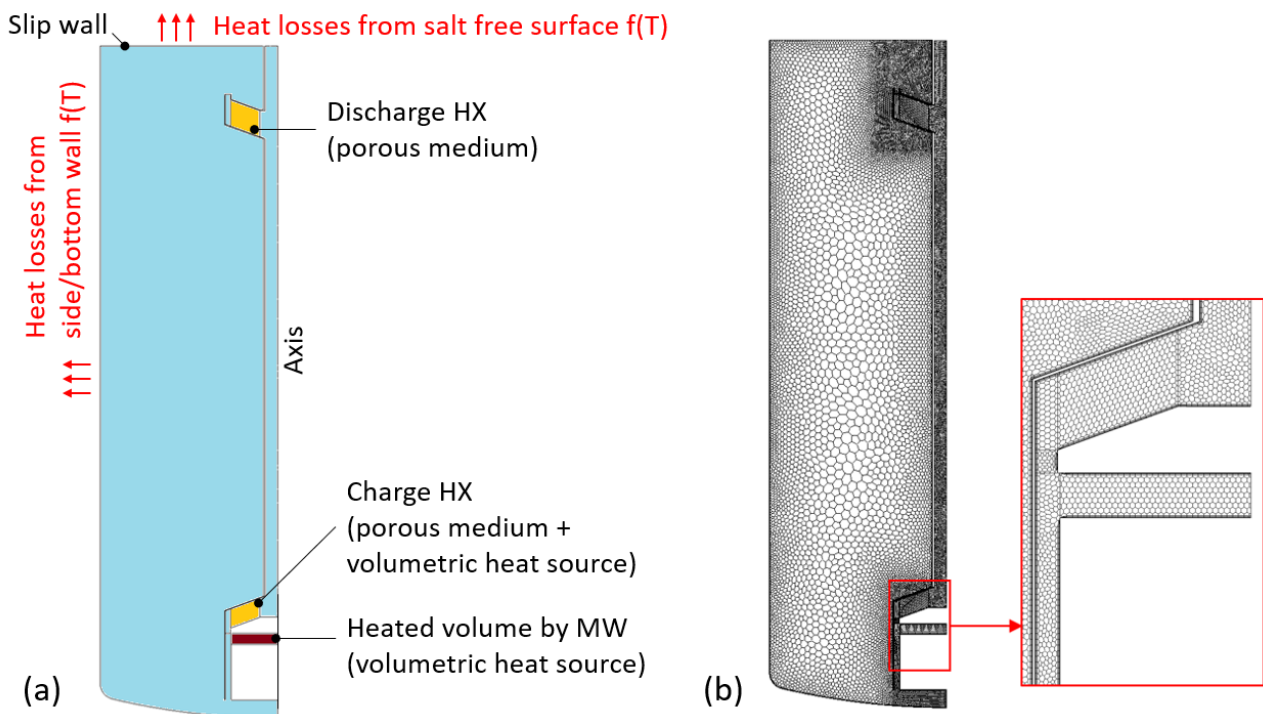


Figura 11. (a) Dominio computazionale e condizioni al contorno adottate nel modello CFD e (b) griglia di calcolo

7.2.2 Discussione dei risultati

Con il modello CFD sviluppato, si è simulato un transitorio di carica della durata di 60 minuti. La temperatura ambiente si impone pari a 15 °C e la temperatura iniziale dei sali pari a 290 °C. La forzante termica è data dalle sole microonde (110 kW). In Figura 12 si riporta il campo di velocità e temperatura nei pressi del volume riscaldato. Si osserva che, in corrispondenza dell'asse del serbatoio di accumulo, si ha una zona di non circolazione del fluido, che comporta un innalzamento locale (indesiderato) della temperatura dei sali.

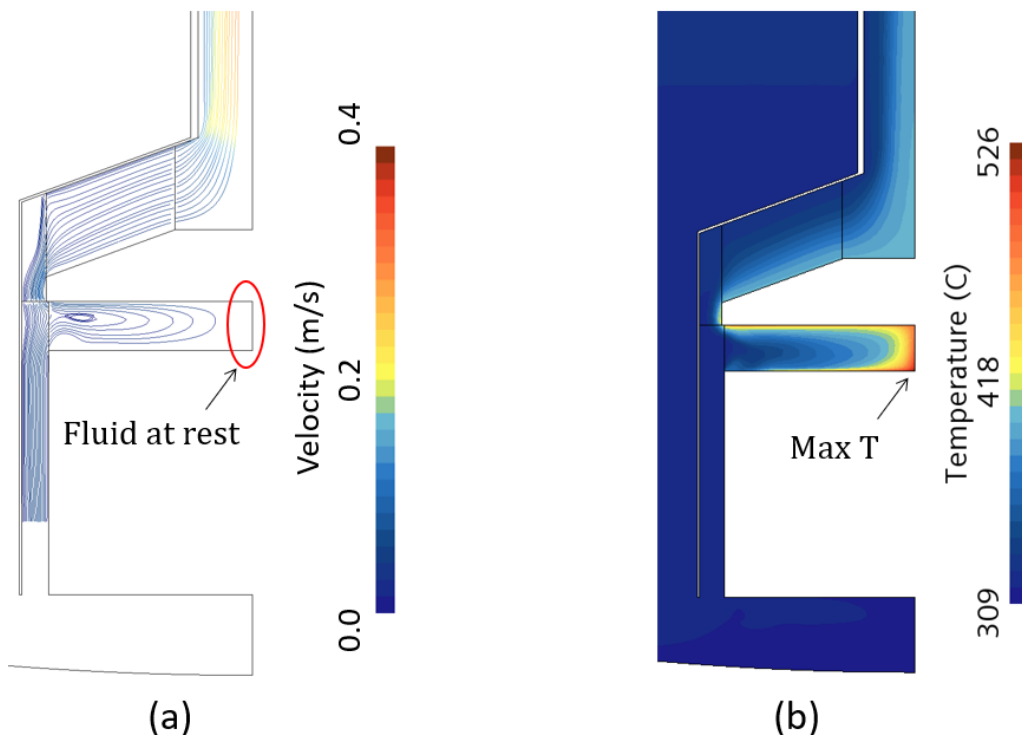


Figura 12. (a) Campo di velocità e (b) di temperatura calcolati alla fine del transitorio

Al fine di limitare la massima temperatura raggiunta dal sale, si rimuove la zona di non circolazione del fluido inserendo un cilindro di diametro pari a 4 pollici, riempito con isolante termico (Figura 13). Così facendo, si riduce il volume della zona riscaldata dalle microonde.

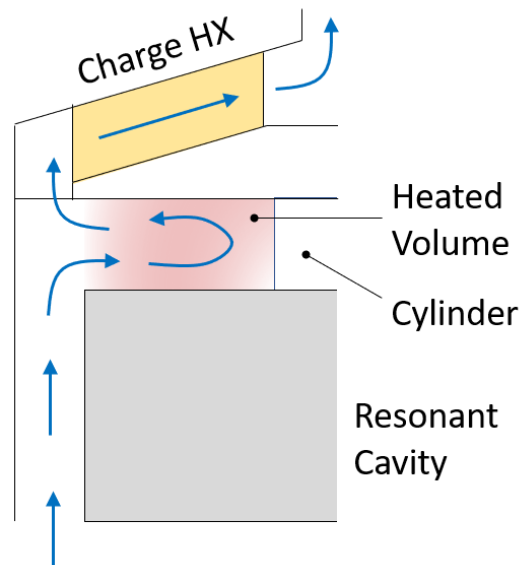


Figura 13. Schema della configurazione del serbatoio di accumulo modificato con riduzione del volume riscaldato

In Figura 14, si riporta il campo di velocità ottenuto con la nuova configurazione; le linee di flusso ora interessano l'intero volume riscaldato dalle microonde. Ciò determina una riduzione della temperatura massima dei sali nel volume riscaldato di circa $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 15), a parità di temperatura raggiunta all'interno del canale verticale (Figura 16).

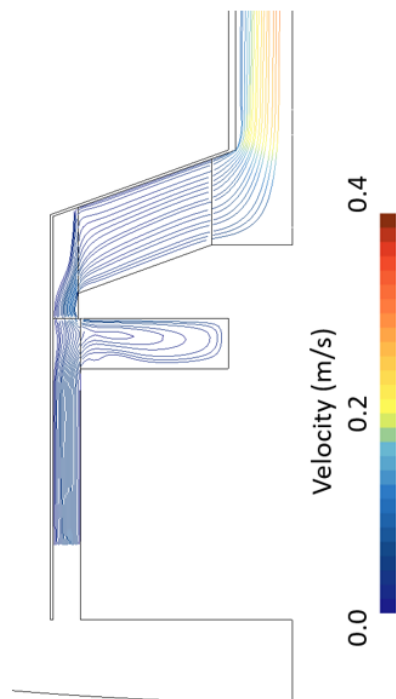


Figura 14. Linee di flusso e campo di velocità nella configurazione con volume riscaldato ridotto

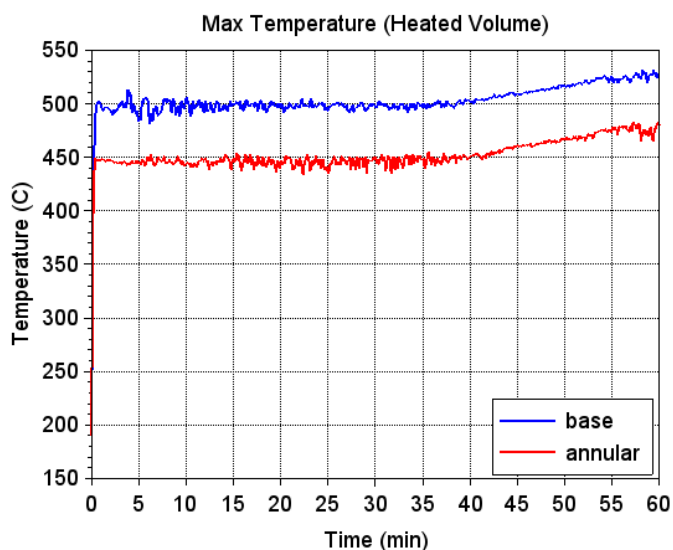


Figura 15. Andamento nel tempo della temperatura massima dei sali nel volume riscaldato per la configurazione base (base) e per quella con riduzione del volume riscaldato (annular)

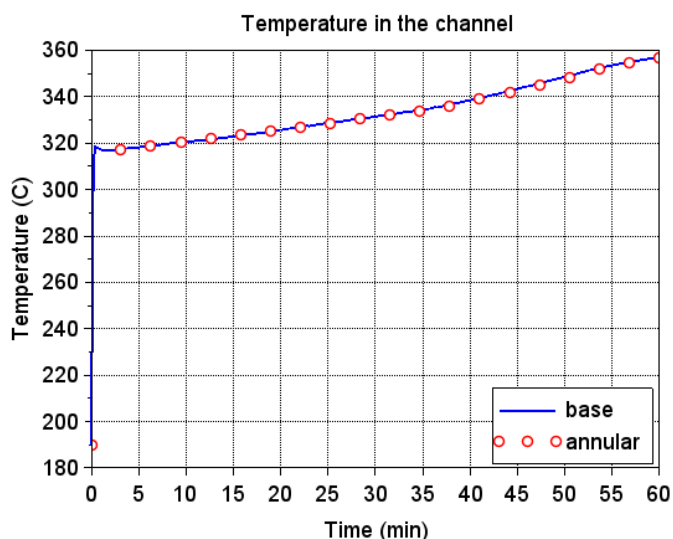


Figura 16. Andamento nel tempo della temperatura dei sali nel canale verticale per la configurazione base (base) e per quella con riduzione del volume riscaldato (annular)

Infine, si è simulato un transitorio di carica in cui il riscaldamento elettrico dei sali avviene in contemporanea al riscaldamento termico. Si impone una potenza scaricata nei sali pari a 110 kW sia per la quota elettrica che per quella termica. La temperatura ambiente è sempre 15 °C e quella iniziale dei sali è 290 °C.

In Figura 17 si riporta l'andamento nel tempo della temperatura dei sali nel canale per il caso di solo riscaldamento con microonde e per il caso di riscaldamento combinato elettrico e termico. In quest'ultimo caso, la maggiore potenza scaricata nei sali porta ad un aumento della temperatura del fluido che risale lungo il canale verticale, che a sua volta determina un aumento delle forze di galleggiamento e quindi della portata nel canale (Figura 18). L'aumento della portata limita la temperatura raggiunta dal sale nel canale verticale.

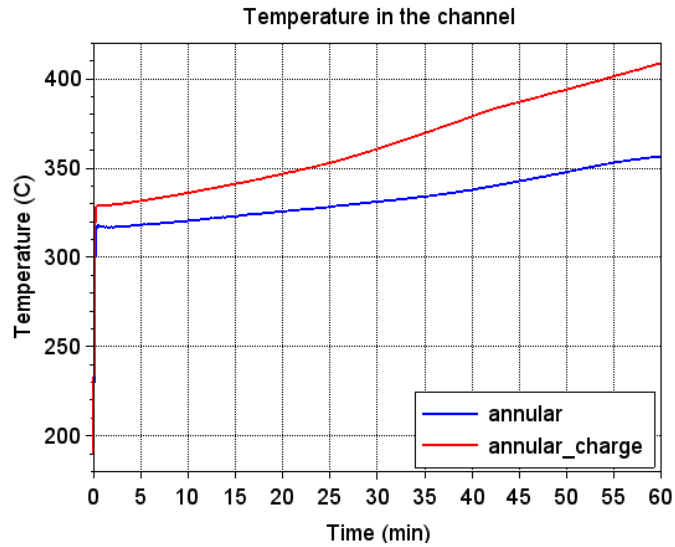


Figura 17. Andamento nel tempo della temperatura dei sali nel canale verticale per la configurazione con volume riscaldato ridotto, nel caso di sole microonde (annular) e nel caso di riscaldamento elettrico + termico (annular_charge)

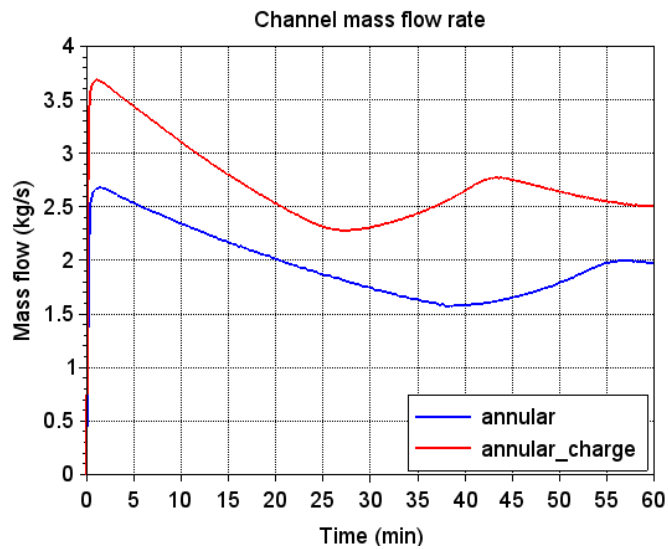


Figura 18. Andamento nel tempo della portata dei sali nel canale verticale per la configurazione con volume riscaldato ridotto, nel caso di sole microonde (annular) e nel caso di riscaldamento elettrico + termico (annular_charge)

7.3 Bibliografia

1. Incropera et al., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th edition (2011)
2. Pacific Northwest National Laboratory, Development of High-Temperature Emissivity Measurement Capabilities for Molten Salts at PNNL, PNNL-33480 (2022)

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state utilizzate consulenze nell'ambito della LA1.18.

9 Pubblicazioni scientifiche

- M. Cagnoli, R. Grena, M. Lanchi, G. Vecchi, R. Zanino, "Numerical investigation about the electrical heating of a molten salt mixture for thermal energy storage applications", Proceedings of the 16th IEA ES TCP International Conference on Energy Storage, Lyon (France), June 5-7, 2024.

10 Eventi di disseminazione

- The 16th IEA ES TCP International Conference on Energy Storage, ENERSTOCK 2024, Lyon (France), June 5-7, 2024
- 30th SolarPACES Conference, Rome (Italy), October 8-11, 2024