

 ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA
TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

Schema dettagliato di
progetto di una cella
meso-fluidica per la
misura della
conducibilità termica
dei fluidi termovettori
e validazione dei
metodi di misura

Alessandra Adrover

PROGETTAZIONE DI DETTAGLIO DI UN DISPOSITIVO SPERIMENTALE PER LA MISURA DELLA CONDUCEBILITÀ TERMICA DELLA CONDUCEBILITÀ TERMICA

Alessandra Adrover

Marzo 2022

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 – 3ª annualità

Obiettivo: *Tecnologie*

Progetto: Progetto 1.9 Solare Termodinamico

Linea di attività: WP1 - LA1.10 Sviluppo di fluidi termici avanzati per CSP, Ottimizzazione geometrica di un dispositivo sperimentale per la misura della conducibilità termica

Responsabile del Progetto: Alberto Giaconia, ENEA

Responsabile del Work package: Alberto Giaconia, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo di fluidi termici avanzati per CSP: analisi metallografiche dei materiali esposti a nuove miscele di sali fusi in condizioni statiche e dinamiche"

Responsabile scientifico ENEA: Elisabetta Veca

Responsabile scientifico La Sapienza: Alessandra Adrover

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	6
1.1 MODELLO UNIDIMENSIONALE PER IL MESO-DISPOSITIVO	6
1.2 ANALISI COMPUTAZIONALE DEL MESO-DISPOSITIVO E ACCURATEZZA DELLE PREVISIONI DEL MODELLO UNIDIMENSIONALE.....	10
CONCLUSIONI.....	14
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	15
CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO DEL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA, MATERIALI E AMBIENTE DELL'UNIVERSITÀ "SAPIENZA" DI ROMA.....	16

Sommario

Nella presente relazione si riportano tutti gli studi computazionali e modellistici che si sono resi necessari per il completamento della progettazione e la definizione delle condizioni operative del dispositivo “meso-fluidico” proposto per la misura sperimentale della conducibilità termica dei sali fusi nel campo di temperatura di interesse degli stessi.

Obiettivo della prima parte studio è stato quello di progettare la cella di misura, individuando dimensioni e materiali adatti al suo utilizzo nel campo di temperatura di interesse per i sali fusi, sfruttando comunque alcuni principi già in luce nel micro-dispositivo proposto in letteratura, quali un elevato rapporto di snellezza della cella di misura, senza però dover ricorrere ad un dispositivo dalle dimensioni eccessivamente piccole, con conseguenti problematiche indesiderate nell'assemblaggio, smontaggio e pulizia.

Nella seconda parte dello studio ci si è focalizzati sull'individuazione dei punti di misura di temperatura (posizionamento delle sonde) più adatti e sui valori ottimi del voltaggio per il conseguente sviluppo e messa a punto di modelli dettagliati (CFD) e semplificati per la corretta interpretazione del dato sperimentale.

Introduzione

Nell'ambito del presente progetto con riferimento alla linea di attività LA1.10, viene proposto e studiato un nuovo dispositivo basato su una cella di misura con una particolare configurazione tale da rispondere al requisito di minimizzazione di fenomeni convettivi e con l'ulteriore vantaggio di rendere estremamente brevi i tempi di misura (dell'ordine della decina dei secondi) ed estremamente piccole le quantità di fluido necessarie alla misura.

Un dispositivo simile, già proposto in letteratura da D. Kuvshinov et al., è stato originariamente sviluppato per operare su scala micro-fluidica (piccolissime quantità di materiale, cella di misura dell'ordine dei 100 micron) a temperature prossime a quella ambiente, massimo 50 gradi centigradi.

Obiettivo della ricerca è stato quindi quello di riprogettare la cella, individuando dimensioni e materiali adatti al suo utilizzo nel campo di temperatura di interesse per i sali fusi.

Lo studio precedentemente effettuato nell'ambito del progetto ha previsto:

- 1) uno studio preliminare (tramite tecniche CFD) del dispositivo proposto in letteratura ed un conseguente miglioramento del modello proposto in letteratura, rimuovendo alcune delle ipotesi semplificative alla base del modello proposto
- 2) l'individuazione della geometria e delle dimensioni della cella di misura al fine di garantire l'assenza di fenomeni convettivi, rapidi tempi di misura e contemporaneamente un facile assemblaggio e pulizia della cella;
- 3) l'individuazione dei materiali adatti alla realizzazione, a costi contenuti, dell'apparecchiatura in grado di operare alle temperature di interesse dei sali fusi

Il lavoro di ricerca svolto nell'ultimo periodo si è focalizzato su

- 1) sull'individuazione e ottimizzazione dei punti di misura di temperatura (posizionamento delle sonde)
- 2) sulla messa a punto di modelli dettagliati (CFD) e semplificati per la corretta interpretazione del dato sperimentale e quindi della misura della conducibilità.

Descrizione delle attività svolte e risultati

1.1 Modello unidimensionale per il meso-dispositivo

Prendiamo in considerazione un Solar Salt le cui proprietà termofisiche sono descritte dalle correlazioni semi empiriche riportate da Bauer et al. (vedi Figura 1). Le correlazioni utilizzate nelle simulazioni sono quelle indicate nei riquadri.

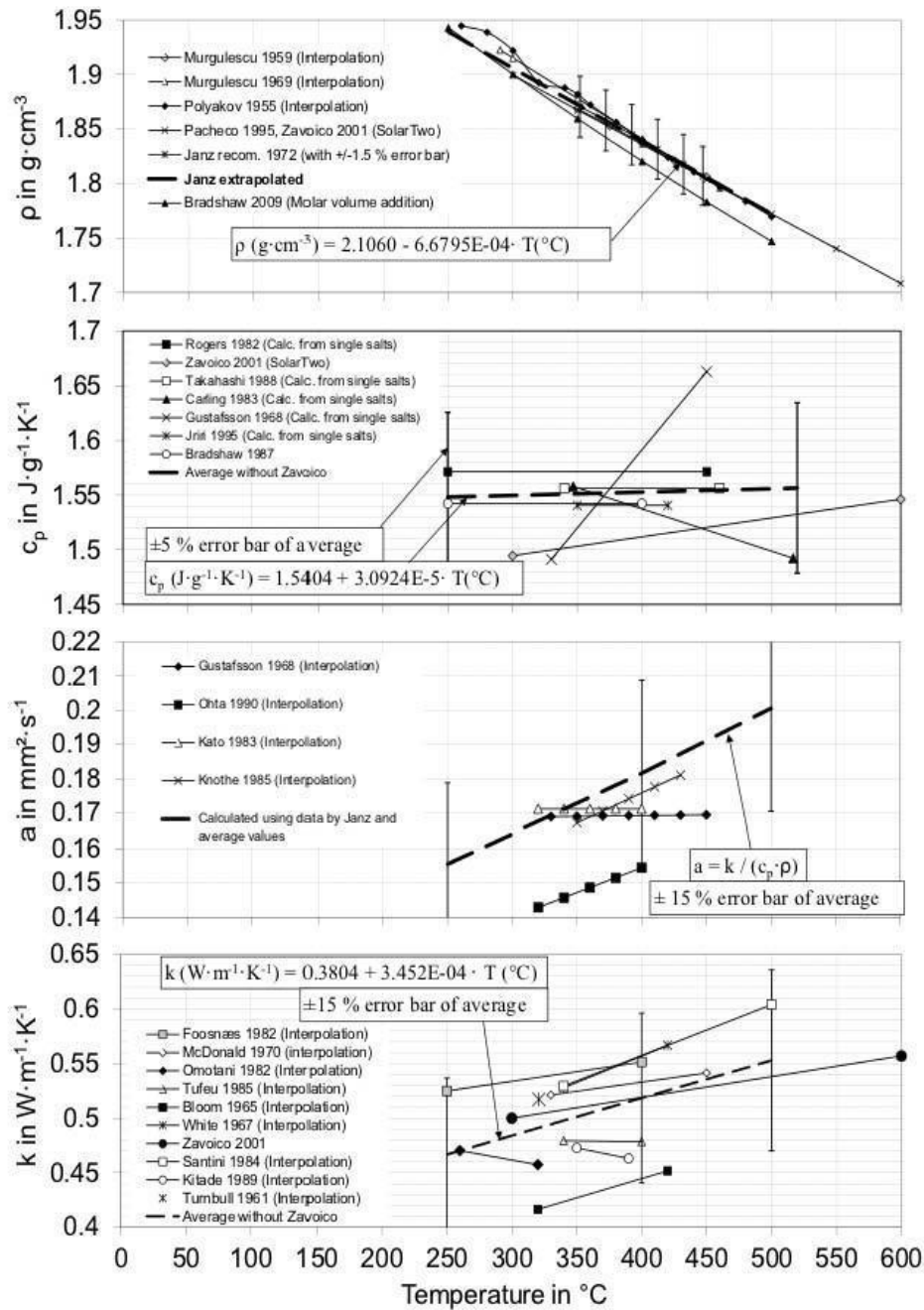


Figura 1: Proprietà termofisiche dei Solar Salts. Le correlazioni utilizzate nelle simulazioni sono quelle indicate nei riquadri.



La Figura 2 mostra la struttura dei vari strati del dispositivo semi assemblati. Si evidenzia Il posizionamento delle sonde di temperatura, indicate con S1 e S2 in Figura 2, come risultato dell'analisi dei profili di temperatura in entrambe le celle di allocazione del fluido, come riportato qui di seguito.

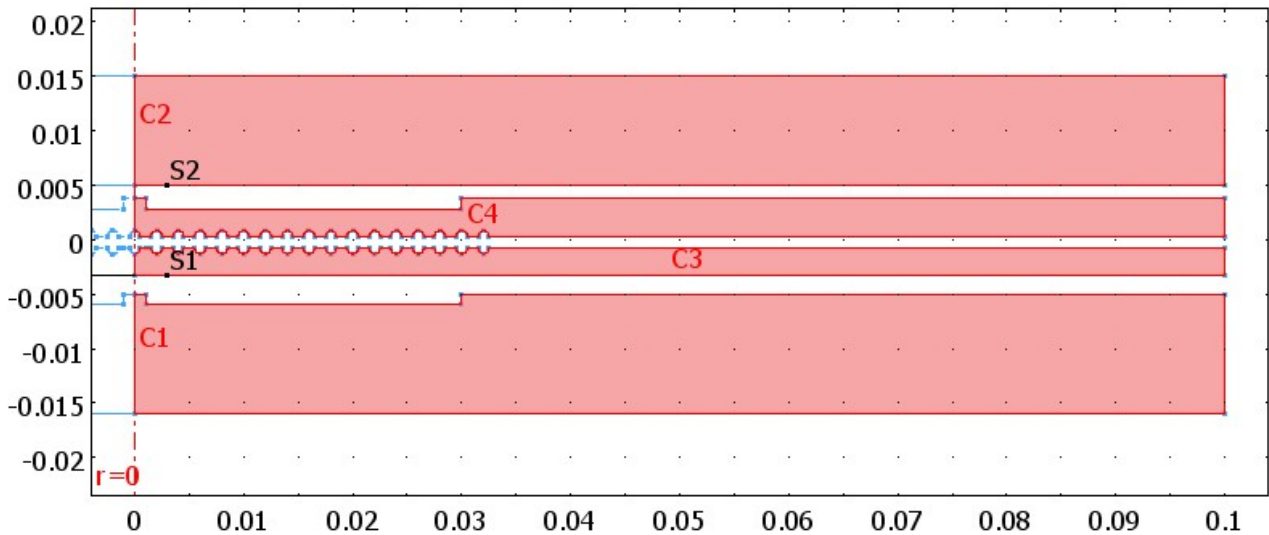


Figura 2: Posizionamento delle sonde di temperatura S1 e S2.

La Figura 3 e la Figura 4 (zoom della Figura 3 sullo strato scaldante e sulle celle di misura) mostrano il profilo di temperatura (traslata rispetto alla temperatura del forno) nel dispositivo operante a temperatura ambiente $T_0=250^\circ\text{C}$ con $\Delta V=10$ V.

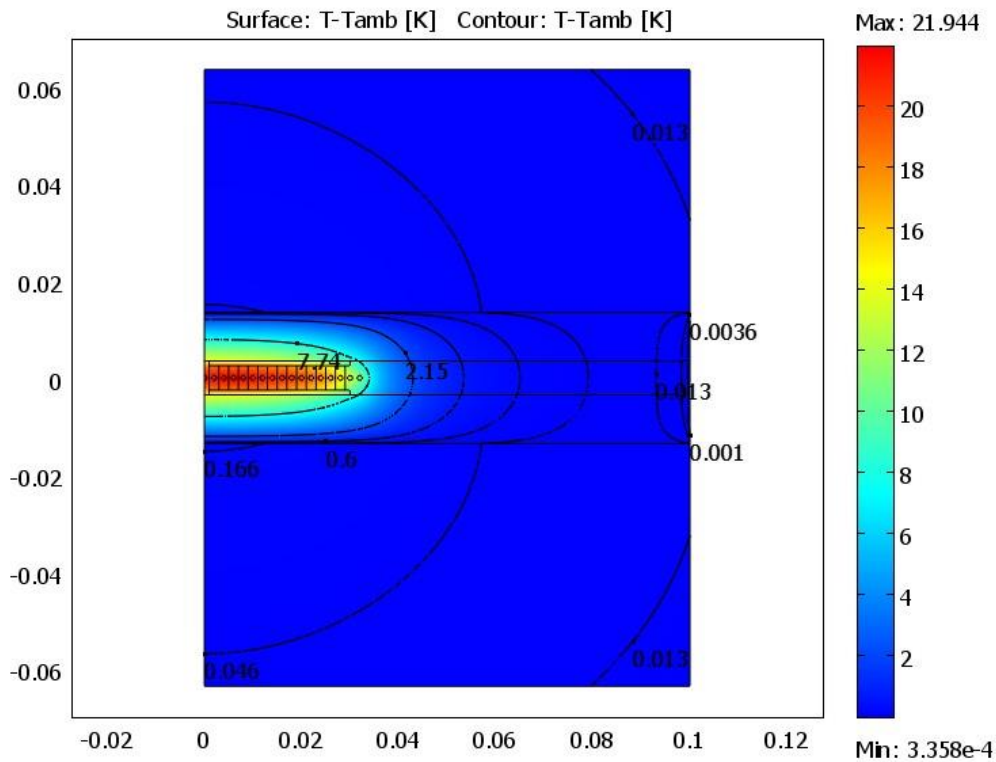


Figura 3: Profili di temperatura (riscaldata rispetto alla temperatura iniziale del forno) in condizioni stazionarie ($t=15$ minuti) nel dispositivo operante a temperatura ambiente $T_0=250^\circ\text{C}$ con $\Delta V=10$ V con un sale solare di proprietà termofisiche note e identificate in Figura 1.

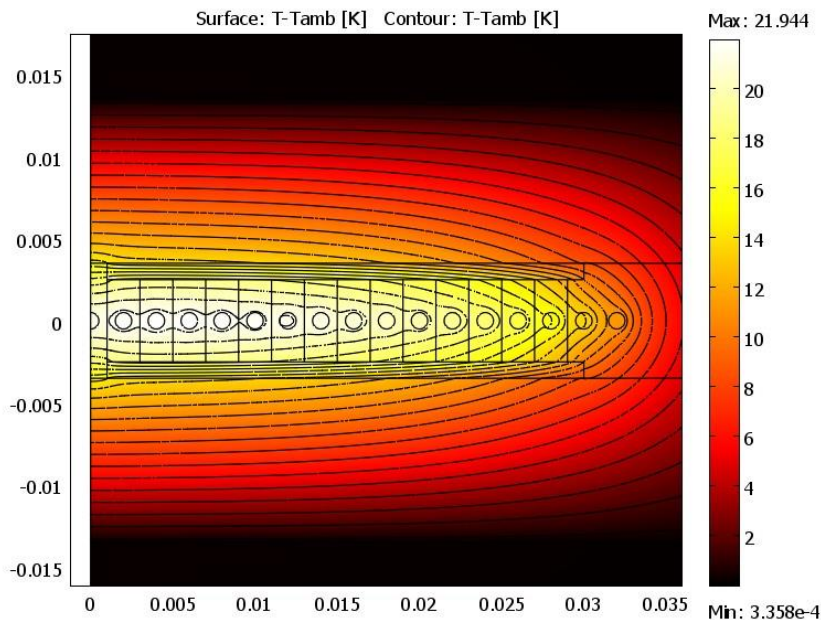


Figura 4: Zoom della Figura 3 sulla regione che comprende filo scaldante e celle di misura.

Si osserva come i profili di temperatura siano perfettamente simmetrici rispetto al piano $z=0$ e come la temperatura nei blocchi di rame sia prossima alla temperatura ambiente $T_0=250^\circ\text{C}$.

Dalla Figura 4 si osserva bene come le linee di livello del campo di temperatura siano, nelle celle di misura, sostanzialmente orizzontali e parallele fra loro, soprattutto in prossimità dei punti di sonda.

La posizione delle celle di misura (distanza dallo strato scaldante) e delle sonde termiche è stato ottimizzato al fine di realizzare sperimentalmente le condizioni operative migliori per poter adottare un modello unidimensionale di trasporto di energia nella direzione verticale z.

Analogamente a quanto visto nell'analisi del dispositivo micro-fluidico proposto in letteratura, al fine di stimare la conducibilità termica del fluido sarebbe sufficiente rilevare la sola temperatura T_1 (sonda S1) poiché dal semplice bilancio di energia in condizioni stazionarie si ricava

$$T_1 - T_0 = q \left(\frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_Q}{\lambda_Q} + \frac{\delta_{Cu}}{\lambda_{Cu}} \right) \quad (1)$$

essendo q la componente verticale del flusso termico nel punto di sonda S1, $\delta_{Cu} = 5 \text{ cm}$ lo spessore di ciascuno dei due blocchi di rame, $\delta_Q = 1 \text{ cm}$ lo spessore di ciascuno dei due blocchi di quarzo, $\delta = 1 \text{ mm}$ lo spessore di ciascuna delle due celle di alloggiamento del fluido, ciascuna in grado di alloggiare un volume di fluido pari a $V = 2.824 \text{ cm}^3$.

Si presentano però una serie di problemi che in ordine di importanza sono

(1) la struttura dello strato scaldante non permette una stima esatta di q , essendo quest'ultimo dipendente anche dalla conducibilità termica del fluido in analisi. Una strategia possibile potrebbe essere quella di costruire una "curva di taratura" dello strumento $q = f(\Delta V, \lambda, T_0)$, utilizzando fluidi a conducibilità note ed effettuando una serie di misure a differenti temperature.

(2) per fluidi a basse conducibilità termiche (quali i sali fusi) il salto termico nella cella di misura può essere molto elevato (anche 5°C). Di conseguenza la conducibilità termica del fluido misurata non è in realtà la conducibilità alla temperatura ambiente T_0 ma la conducibilità alla temperatura media del fluido nella cella $T_{av} = (T_1 + T_2)/2$, per cui occorrerebbe comunque misurare anche T_2 (sonda S2).

(3) la conducibilità termica del quarzo fuso è anche essa dipendente dalla temperatura, e.g. $\lambda_Q(250^\circ\text{C}) = 1.63 \text{ W/(mK)}$, $\lambda_Q(600^\circ\text{C}) = 2.4 \text{ W/(mK)}$. Quindi il valore di λ_Q da inserire nell'equazione (11) è $\lambda_Q(T_{av}^Q)$ alla temperatura media nel blocco di quarzo $T_{av}^Q = (T_2 + T_0)/2$, per cui occorrerebbe comunque misurare anche T_2 (sonda S2).

Se i problemi 2 e 3 sono sicuramente di più scarsa rilevanza e facilmente superabili operando una stima della temperatura T_2 a partire dalla conoscenza di T_1 e della conducibilità termica misurata, il problema al punto 1 è decisamente più importante e potrebbe portare ad errori di misura inaccettabili.

La soluzione ai problemi 1, 2 e 3 risiede nella semplice aggiunta della sonda S2 e della conseguente rilevazione della temperatura T_2 .

Dalla rilevazione della temperatura T_1 (sonda S1) e temperatura T_2 (sonda S2) e dal semplice bilancio di energia in condizioni stazionarie si ha

$$T_1 - T_2 = q \frac{\delta}{\lambda(T_{av})} T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (2)$$

$$T_1 - T_0 = q \left(\frac{\delta}{\lambda(T_{av})} + \frac{\delta_Q}{\lambda_Q(T_{av}^Q)} + \frac{\delta_{Cu}}{\lambda_{Cu}} \right) T_{av}^Q = \frac{T_2 + T_0}{2} \quad (3)$$

da cui si può eliminare q ottenendo una stima di λ indipendente da q

$$\lambda(T_{av}) = \delta \frac{\frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_2}}{\frac{\delta_Q}{\lambda_Q(T_{av}^Q)} + \frac{\delta_{Cu}}{\lambda_{Cu}}} \quad (4)$$

Nel paragrafo seguente il modello presentato verrà analizzato e verificato sulla base di una ampia campagna di simulazioni.

1.2 Analisi computazionale del meso-dispositivo e accuratezza delle previsioni del modello unidimensionale.

Il primo problema da affrontare nell'utilizzo del dispositivo è la stima dei valori asintotici T_1 e T_2 da inserire nel modello Eq. (4), tenendo presente che, come discusso nell'analisi del micro-dispositivo di letteratura, essi rappresentano i valori asintotici rilevati dalle sonde qualora la convezione forzata operante dal forno sia "perfetta" e quindi si possa assumere un coefficiente di trasferimento termico $h \rightarrow \infty$.

La figura 5 mostra le temperature rilevate dalle due sonde S1 e S2 in funzione del tempo nel meso-dispositivo in cui è inserito Solar Salt a due diverse temperature del forno $T_0=250^\circ\text{C}$ e $T_0=600^\circ\text{C}$, per $\Delta V=10\text{ V}$ e $h = 100\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (valore basso).

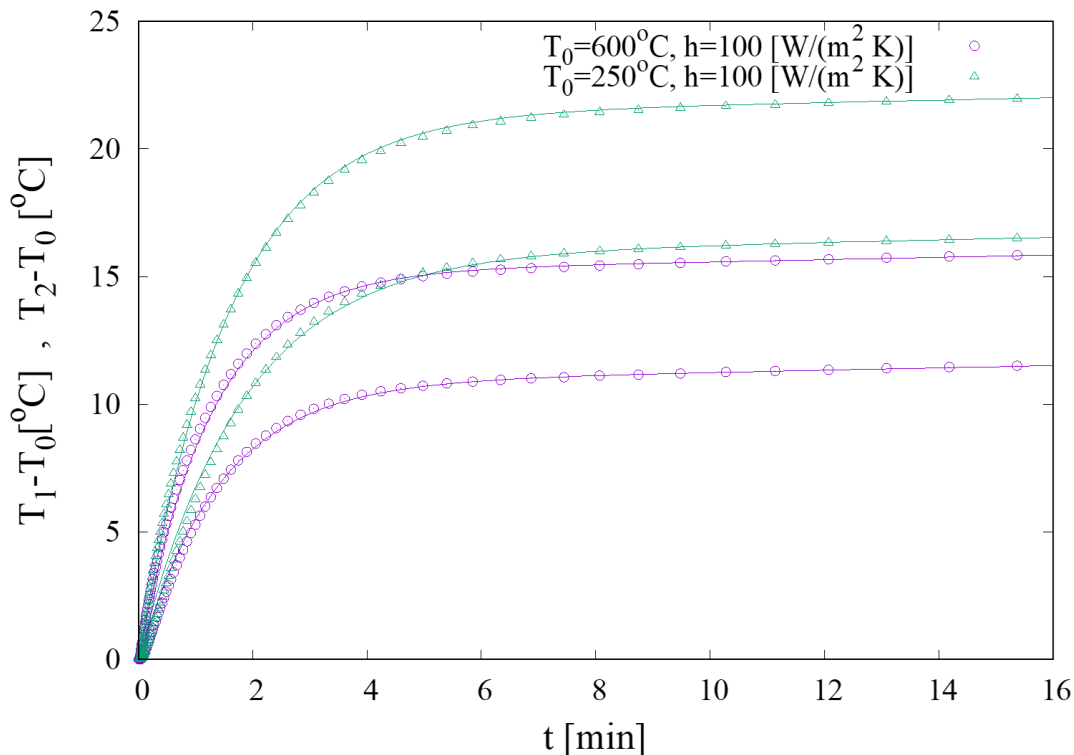


Figura 5: Temperature rilevate dalle due sonde S1 e S2 in funzione del tempo nel meso-dispositivo in cui è inserito Solar Salt a due diverse temperature del forno $T_0=250^\circ\text{C}$ e $T_0=600^\circ\text{C}$, per $\Delta V=10\text{ V}$ e $h = 100\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. I punti rappresentano i dati di simulazione. Le curve a tratto pieno il best fit sulla base delle Equazioni (15)-(16)

Tramite best fit delle curve sulla base delle equazioni seguenti

$$T_1(t) = T_0 + \Delta T_1(1 - e^{-((t-t_0)/\tau_1)}) + \gamma_1(t - t_0) \quad (5)$$

$$T_2(t) = T_0 + \Delta T_2(1 - e^{-((t-t_0)/\tau_2)}) + \gamma_2(t - t_0) \quad (6)$$

si ricavano i valori ΔT_1 e ΔT_2 corrispondenti ai valori asintotici T_1 e T_2 da inserire nel modello Eq. (4). I valori di best fit ΔT_1 e ΔT_2 mostrano un errore inferiore allo 0.1% se confrontati con i valori asintotici di T_1 e T_2

ottenuti dalle simulazioni imponendo $h \rightarrow \infty$, ossia imponendo $T = T_0$ come condizione al contorno su tutta la superficie in contatto con aria in convezione forzata.

I valori γ_1 e γ_2 sono uguali per tutte le simulazioni e pari a $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = 0.045$ K/min, cosa attesa dal momento che γ dipende esclusivamente dal coefficiente di trasferimento h .

L'andamento temporale delle temperature di sonda evidenzia anche come l'intervallo di tempo che è necessario esplorare, con il dispositivo meso-fluidico, per stimare accuratamente ΔT_1 e ΔT_2 (ossia T_1 e T_2 da inserire nel modello) sia dell'ordine dei 15 minuti e non più dei 15 secondi come nell'apparecchio micro fluidico. Questo è dovuto ovviamente all'incremento di dimensioni di circa un ordine di grandezza (dal micro-fluidico al meso-fluidico) a cui corrisponde un incremento di un ordine di grandezza delle scale di tempi.

La Figura 6 mostra l'ottimo accordo fra le previsioni del modello Eq. (4) a partire dai dati di simulazione ΔT_1 e ΔT_2 ed i valori esatti per tre diverse temperature $T_0 = 250^\circ\text{C}$, $T_0 = 400^\circ\text{C}$ e $T_0 = 600^\circ\text{C}$ al variare di ΔV e quindi al variare della potenza erogata dal filo scaldante. L'errore massimo rilevato è inferiore al 2% e risulta sostanzialmente indipendente da ΔV .

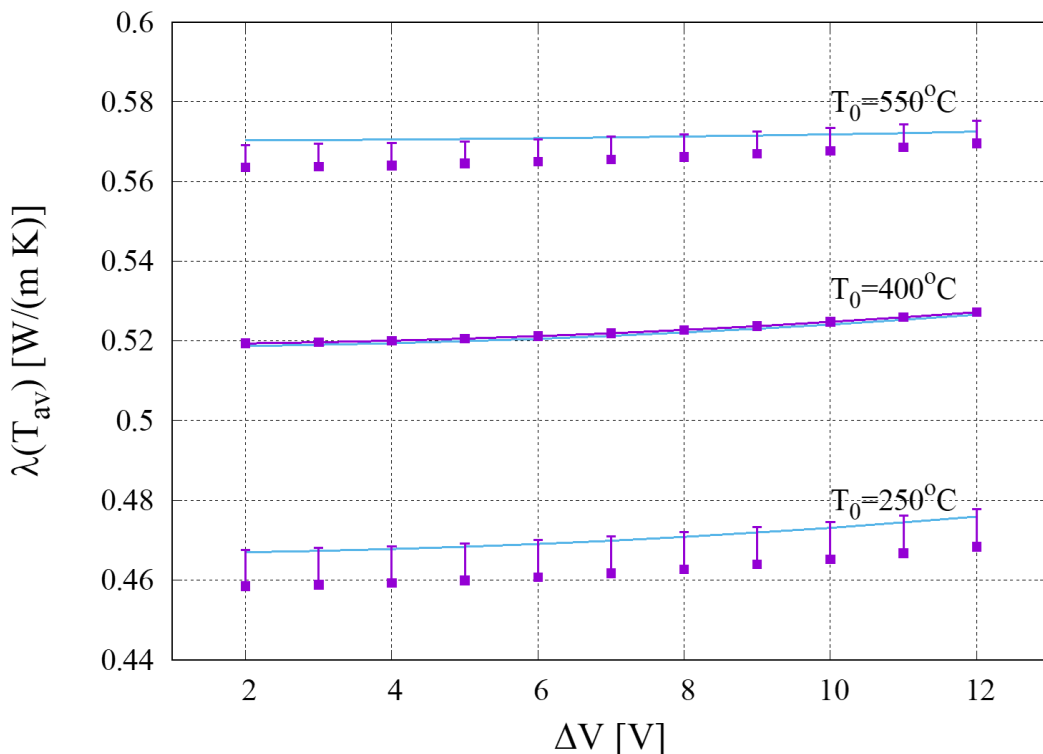


Figura 6: Confronto fra valori predetti (punti) e valori esatti (curve continue) della conducibilità termica al variare della potenza erogata dal filo scaldante per tre diverse temperature nell'intervallo di interesse. A $T_0 = 250^\circ\text{C}$ l'error bar rappresenta un errore del 2%. A $T_0 = 550^\circ\text{C}$ l'error bar rappresenta un errore dell'1%.

La scelta del valore di ΔV a cui operare può esser fatta sulla base dell'analisi delle differenze di temperatura rilevate dalle due sonde. E' opportuno operare con valori di ΔV per cui si osserva una significativa differenza fra T_1 e T_2 , anche per minimizzare gli effetti di errori di misura delle sonde ed eventuali fluttuazioni dei dati sperimentali.

La Figura 7 mostra l'andamento delle temperature asintotiche T_1 e T_2 al variare di ΔV per due temperature operative diverse (minima e massima). Si osserva che, per $\Delta V = 10$ V, la differenza fra T_1 e T_2 si attesta intorno ai 5-6 °C e questo è già un intervallo di temperatura sufficiente, senza doversi spingere a valori troppo elevati di differenza di potenziale.

Il range operativo di valori di ΔV consigliato si attesta fra gli 8 V e i 10 V. La possibilità di utilizzare valori più bassi di ΔV è legata alla possibilità di disporre di sonde termiche più precise (precisione di 0.1°C pur mantenendo diametri molto piccoli, dell'ordine dei 0.25 mm).

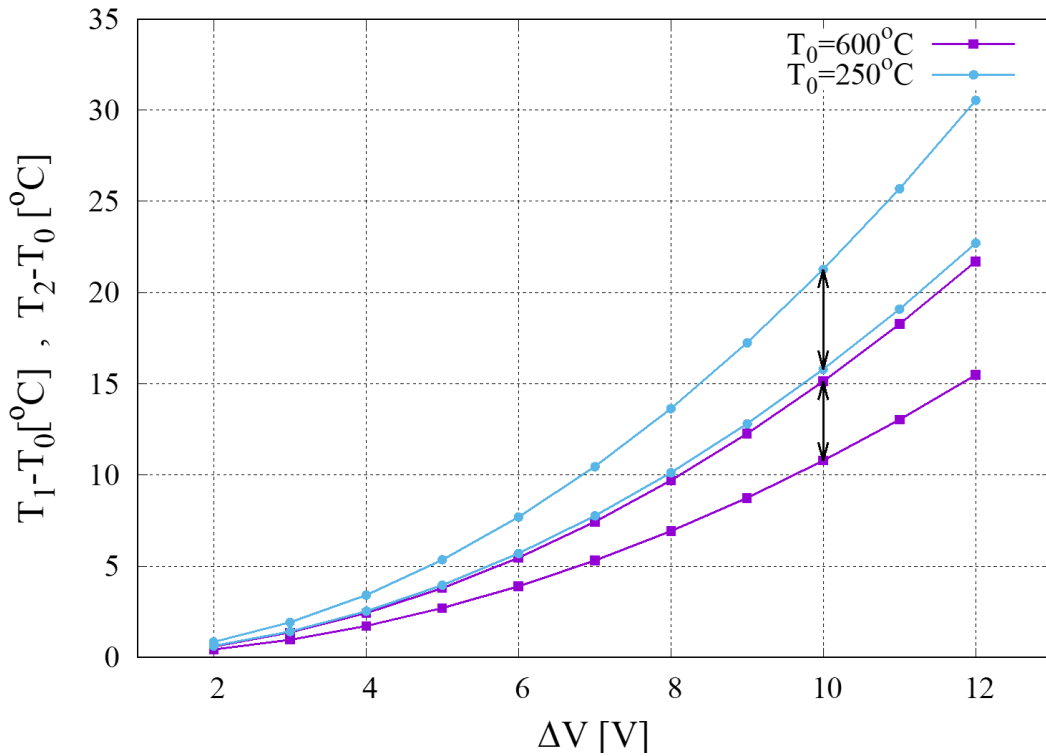


Figura 7: Temperature asintotiche rilevate dalle due sonde in funzione della differenza di potenziale applicata al circuito per due diverse temperature operative.

La Figura 8 mostra l'ottimo accordo fra le previsioni del modello Eq. (4) (a partire dai dati di simulazione ΔT_1 e ΔT_2) ed i valori esatti per $\Delta V=10$ V al variare della temperatura operativa T_0 . L'errore massimo rilevato è inferiore al 2% (error bar) in tutto il campo di temperatura di interesse.

Nella Figura 8 è anche riportato il valore della temperatura media del fluido nella cella di misura T_{av} al variare di T_0 , evidenziando come, nelle condizioni operative $\Delta V=10$ V, la temperatura media del fluido sia circa pari a $T_{av} = T_0 + 15^\circ\text{C}$ e che il valore stimato della conducibilità termica è quello alla temperatura media del fluido T_{av} e non della temperatura operativa T_0 .

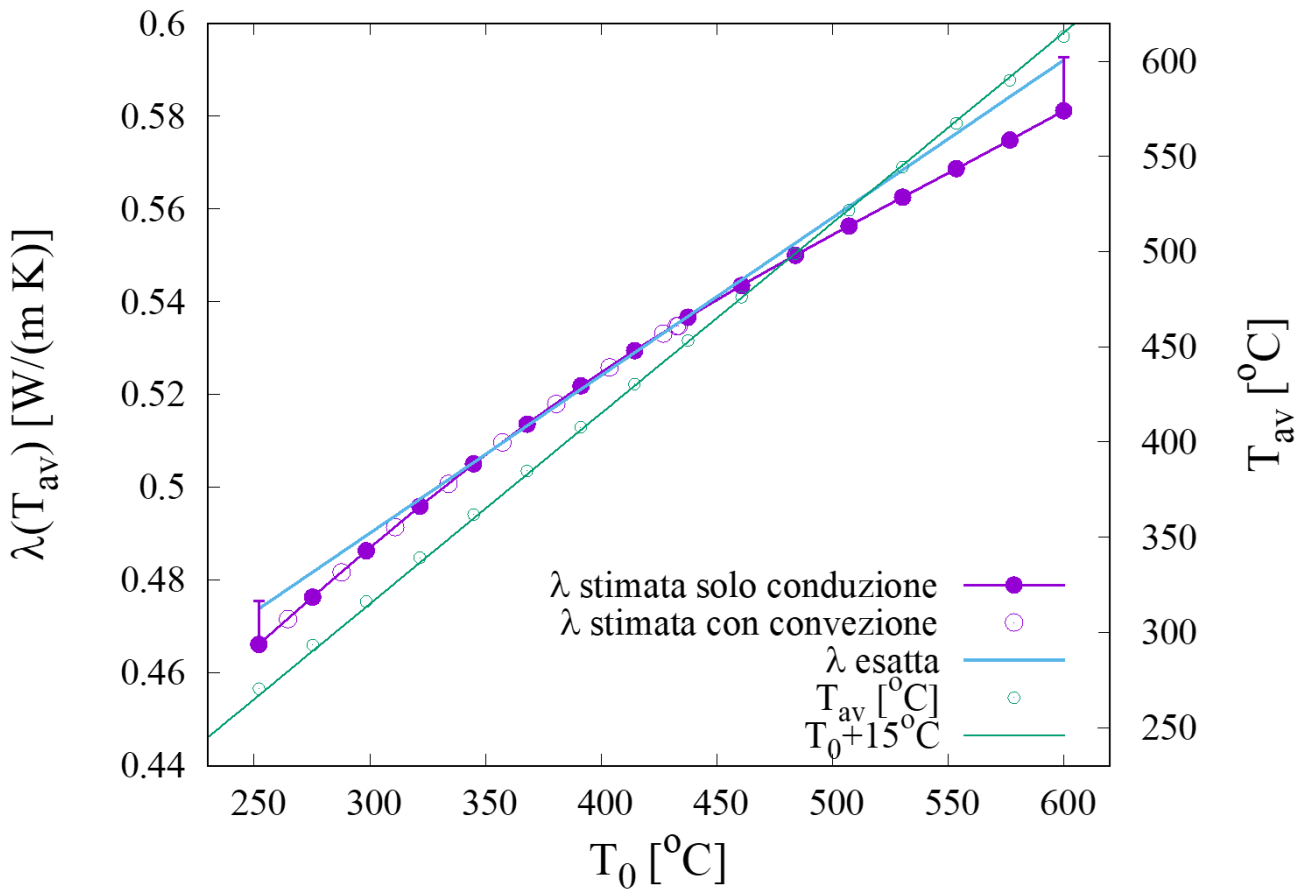


Figura 8: Confronto fra le previsioni del modello Eq. (4) (a partire dai dati di simulazione ΔT_1 e ΔT_2) ed i valori esatti per $\Delta V=10$ V al variare della temperatura operativa T_0 . L'errore massimo rilevato è inferiore al 2% (error bar).

Sempre nella Figura 21, le previsioni del modello (rappresentate dai punti viola pieni e vuoti) sono di due tipi. I punti pieni rappresentano le previsioni del modello basate sui valori asintotici T_1 e T_2 ottenuti dalle simulazioni in cui si tiene conto esclusivamente del trasporto di calore per conduzione nella cella di misura, quindi considerando il fluido fermo.

I punti vuoti rappresentano le previsioni del modello basate sui valori asintotici T_1 e T_2 ottenuti dalle simulazioni in cui si prende in considerazione il trasporto di calore per sia per conduzione che per convezione. Si tiene quindi conto che in seno al fluido si originano dei moti convettivi per effetto dei gradienti termici e per effetto della dipendenza della densità dalla temperatura.

A tal fine si risolvono contemporaneamente, in condizioni non stazionare, sia l'equazione di bilancio di energia sia le equazioni di bilancio di quantità di moto, tenendo conto della dipendenza dalla temperatura sia della densità che della viscosità del Solar Salt (Manohar S. et al.)

La Figura 9 mostra l'intensità del campo di velocità indotto dai gradienti termici in seno al fluido nella cella di misura (e le corrispondenti linee di corrente) per $\Delta V=10$ V e $T_0=264.5^\circ\text{C}$.

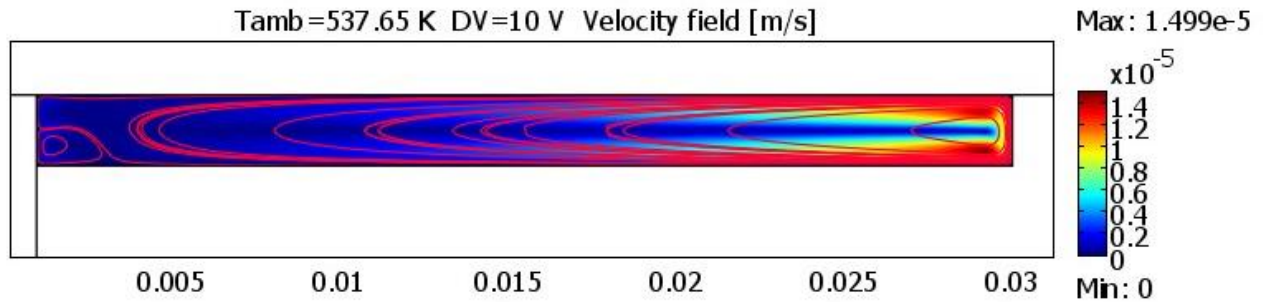


Figura 9: Intensità del campo di velocità indotto dai gradienti termici in seno al fluido nella cella di misura (e le corrispondenti linee di corrente) per $\Delta V=10$ V e $T_0=264.5^\circ\text{C}$.

Si osserva come la velocità massima sia molto bassa ($v_{\max}=0.015$ mm/s) e come le sonde siano posizionate ($r=3$ mm) in una zona di totale ristagno del fluido.

La geometria della cella (basso rapporto spessore su diametro) e il fatto che sia chiusa (e quindi si abbiano condizioni di no slip su tutte le superficie della cella) fa sì che il campo convettivo indotto sia effettivamente trascurabile, e che il trasporto di energia avvenga esclusivamente per il contributo conduttivo (unico contributo di cui si tiene conto nel modello unidimensionale).

Conclusioni

Il dispositivo, proposto in letteratura da D. Kuvshinov et al., sviluppato per operare su scala micro-fluidica e a temperature prossime a quella ambiente, è stato analizzato nel dettaglio, evidenziando aspetti positivi ma anche limiti sia nella progettazione che nel modello unidimensionale adottato, di cui è stato proposto un significativo miglioramento.

Prendendo spunto dagli aspetti positivi del dispositivo micro-fluidico è stato progettato e dimensionato un nuovo dispositivo meso-fluidico, in grado di operare alle temperature di interesse per i sali fusi. La geometria della cella (basso rapporto spessore su diametro) e il fatto che sia chiusa (e quindi si abbiano condizioni di no slip su tutte le superficie della cella) fa sì che (1) il campo convettivo indotto da gradienti di temperatura sia effettivamente trascurabile e che (2) il trasporto di energia avvenga esclusivamente per il contributo conduttivo lungo la direzione verticale si da poter adottare un semplice modello di trasporto unidimensionale.

Fra gli aspetti più innovativi del dispositivo proposto è la predisposizione di due celle di alloggiamento del fluido e il posizionamento di due sonde termiche.

Il lavoro sviluppato nell'ultimo periodo del progetto ha previsto l'individuazione e l'ottimizzazione dei punti di misura di temperatura (posizionamento delle sonde) tramite modelli dettagliati (CFD) sia in regime stazionario che in regime transitorio. L'ottimizzazione della posizione delle sonde, così come la scelta del voltaggio applicato al circuito, risulta di fondamentale importanza per lo sviluppo del modello semplificato per la corretta interpretazione del dato sperimentale (temperatura delle sonde) e per la conseguente stima della conducibilità termica del fluido in esame.

Riferimenti bibliografici

- [1] D. Kuvshinov et al., Thermal conductivity measurement of liquids in a microfluidic device, D. Kuvshinov, M. R. Bown, J. M. MacInnes, R. W. K. Allen, R. Ge, L. Aldous, C. Hardacre , N. Doy, M. I. Newton, G. McHale, *Microfluid Nanofluid* (2011) 10:123–132 , DOI 10.1007/s10404-010-0652-x.
- [2] Bauer, T. and Breidenbach, N., Overview of Molten Salt Storage Systems and Material Development for Solar Thermal Power Plant, Innostock 2012, The 12th International Conference on Energy Storage, Lleida, Spain, 2012.
- [3] Bauer, T., Laing, D. and Tamme, R., Characterization of Sodium Nitrate as Phase Change Material, *International Journal of Thermophysics* 33, pp. 91-104, 2012.
- [4] Manohar S. Sohal, Matthias A. Ebner, Piyush Sabharwall, Phil Sharpe, Engineering Database of Liquid Salt Thermophysical and Thermochemical Properties, Idaho National Laboratory, Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Nuclear Energy, Under DOE Idaho Operations Office INL/EXT-10-18297 March 2010.

Curriculum scientifico del gruppo di lavoro del Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente dell'Università "Sapienza" di Roma

Prof. Alessandra Adrover

Alessandra Adrover is a Full Professor of Chemical Engineering at the Department of Chemical Engineering of Sapienza University of Rome, since 2018. She graduated in Chemical Engineering at Sapienza in 1994. She took the PhD in Chemical Process Engineering from Sapienza in 1997.

She is a member of the committee for the PhD program in Chemical Process Engineering of Sapienza University of Rome. Five PhD theses completed as advisor, and one in progress.

She teaches undergraduate and graduate courses in Chemical Engineering at the Faculty of Civil and Industrial Engineering, Sapienza University of Rome.

She organized several national and international conferences CFIC 96, Roma, September 1996; Fractals in Engineering V, June 2005, Tours, Francia; Workshop on Model Reduction in Reacting Flow, September 2007, Roma. She chaired or co-chaired a number of international workshops or mini symposia.

She gave seminars and invited lectures at Rutgers University, University of North Dakota, Purdue University, New Jersey Institute of Technology, INRIA Rocquencourt.

She is referee for several international journals such as Industrial & Engineering Chemistry, Langmuir, Chemical Engineering Journal, Physica D, Journal of Membrane Science, International Journal of Hydrogen Energy, Chemical Engineering Science, Food, Pharmaceutics, Physics of Fluids.

In the last 25 years she has published 140 research papers in international journals of chemical engineering, fluid mechanics, heat transfer, applied mathematics, computational physics.

Citation record: 1406 citations, h-factor 21.

Research interests: Stochastic approach to transport in liquid-solid systems. Lattice methods for transport phenomena in heterogeneous systems. Modelling and optimization of bioseparation processes.

Renormalization methods for rigorous analysis of transport phenomena in graph systems and fractal structures. Reduction methods for PDEs. Reacting flows. Simplification and reduction of complex kinetics.

Fluid-solid non-catalytic reactions. Modeling of hydrogen transport in palladium membranes. Laminar Mixing theory. Transport processes in microflows. Laminar boundary layer theory. Transport in Polymers.

Drug Release. Food process engineering.

Prof. Massimiliano Giona

- 1993-1998 - Assistant professor (SSD ING-IND 24 Chemical Engineering Fundamentals) at the University of Cagliari.

- 1998-2005 - Associate professor (ING-IND 24) at La Sapienza University of Rome.

- 2005-current - Full professor (ING-IND 24) at La Sapienza University of Rome.

Teaching

During the years he has taught classes in Transport Phenomena, Biochemical Engineering, Non-Equilibrium Thermodynamics.

Currently, he teaches a course on Non-Equilibrium Thermodynamics in the Master Curriculum in Chemical Engineering (english program) and the classes on Biochemical Engineering Principles and Transport in Microfluidic Systems for the Master Curriculum in Nanotechnology.

Research

In the past his main field of research was the study of dynamic phenomena in disordered systems, fractals and fluid mixing. More recently, the focus has been shifted on the analysis of stochastic models in transport theory and in the analysis of irreversible processes, on the theory of stochastic processes, and on microfluidics.

He authored more than 210 scientific papers on peer-reviewed international journals. Total citations 3103. h index 26.