

## ULTIMI SVILUPPI DELLA RICERCA SU FLUIDI TERMOVETTORI AD ALTA EFFICIENZA BASATI SU NANOFUIDI

Gianpiero Colangelo\*, Marco Milanese\*, Giuseppe Starace\*\*, Arturo de Risi\*

\*Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione – Università del Salento – via per Monteroni 73100 Lecce

\*\*Dipartimento di Finanza, Management e Tecnologia - Università LUM – 70010 Casamassima (BA)

---

Le crisi energetiche e ambientali globali sono questioni sempre più urgenti perché gli effetti delle scelte passate e odierne stanno già avendo e avranno conseguenze significative in un futuro sempre più prossimo; la complessità dei problemi da affrontare richiede, inoltre, sempre più l'impiego di strategie mirate in un'ampia gamma di settori tecnologici.

Negli ultimi dieci anni c'è stato grande fermento nello studio e nello sviluppo industriale dei nanofluidi, perché essi promettono alta efficienza nel trasferimento di calore e, per questo, possono contribuire grandemente all'incremento prestazionale dei sistemi energetici nel settore civile, in quello industriale, nell'elettronica o nei trasporti.

I nanofluidi sono sospensioni colloidali costituite da un fluido base tradizionale (acqua, olio, ecc.) e da nanoparticelle solide in sospensione ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ , ecc.) in grado di migliorare la conducibilità termica e le proprietà di trasferimento del calore dei fluidi di base.

L'analisi delle recenti ricerche sui nanofluidi ha qui lo scopo di fornire un breve catalogo dei filoni di ricerca attivi su di un argomento il cui interesse è alto per la sua applicabilità trasversale.

Allo stato attuale, molti sono i lavori pubblicati sulla materia e diversi sono gli aspetti che gli autori hanno inteso analizzare. Il lavoro di Colangelo et al. [1] è una rassegna delle performance termiche convettive rilevate con tecniche sperimentali di vari nanofluidi, ottenute in diverse condizioni di lavoro (turbolento e laminare), con un focus approfondito sui setup sperimentali utilizzati per le campagne scientifiche. Gli autori evidenziano che nei lavori esaminati, i nanofluidi mostrano un significativo miglioramento del coefficiente di scambio termico convettivo, ma tuttavia con una grande dispersione dei dati. Questo comportamento dipende dalle condizioni al contorno e dalle diverse apparecchiature sperimentali utilizzate negli esperimenti. In generale, i risultati mostrano la presenza di un valore critico del numero di Reynolds o delle concentrazioni di nanoparticelle

che limitano le prestazioni di scambio termico convettivo dei nanofluidi.

Anche se le campagne sperimentali sono numerose, si tratta quasi sempre di esperimenti a livello di laboratorio, con pochi esempi di sistemi che utilizzino nanofluidi su scala reale. Uno dei più interessanti è riportato nel lavoro di Milanese et al. [2]. Qui, gli autori conducono una campagna sperimentale (febbraio 2020 - marzo 2021) utilizzando un nanofluido basato su nanoparticelle di  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in un sistema HVAC di un edificio nel campus universitario di Lecce. Utilizzando i risultati sperimentali, essi confrontano le prestazioni di due sistemi HVAC (uno con nanofluido e l'altro senza) che operano simultaneamente in condizioni di lavoro identiche. Il risultato è che il coefficiente di prestazione del sistema equipaggiato con il nanofluido è più elevato in media del 9,8% in inverno e dell'8,9% in estate, con picchi medi giornalieri del 15%. Inoltre, confrontando le prestazioni dello stesso sistema HVAC funzionante con il nanofluido o con il fluido termovettore tradizionale, l'aumento medio del COP è del 13%.

Un'altra importante applicazione dei nanofluidi è relativa ai collettori solari termici, come nel lavoro sperimentale di Boldoo et al. [3], che hanno indagato sperimentalmente le proprietà termofisiche di un nanofluido magnetico di  $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  e acqua. Essi hanno evidenziato che la performance di conversione dell'energia fototermica aumenta con la concentrazione del nanofluido e il tempo di esposizione. In particolare, dopo 120 minuti di esposizione, l'efficienza di conversione dell'energia fototermica del nanofluido è del 52,7%, 53,5%, 55% e 52,2% a concentrazioni crescenti rispettivamente di 0,25, 0,5, 0,75 e 1 wt% di nanoparticelle.

Il nanofluido ibrido magnetico è stato oggetto di studio anche all'interno del lavoro di Dhia Massoudi et al. [4]. Qui sono riportati i risultati di una simulazione numerica svolta con il ricorso al software commerciale COMSOL Multiphysics riguardo il comportamento termico di un nanofluido ibrido in convezione naturale ( $\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ), confinato in un involucro inclinato a forma di W. Il lavoro investiga quanto accade all'interno di

---

quell'involucro quando in esso è contenuto un mezzo poroso insieme al nanofluido, oggetto contestualmente di generazione/assorbimento uniforme di calore e di un campo magnetico.

Il comportamento di nanofluidi ibridi in mezzi porosi in condizioni di convezione forzata è stato, invece, studiato da Saghir et al. [5] attraverso simulazioni numeriche a portata e flusso termico costanti. Gli autori hanno indagato il comportamento di quattro diversi nanofluidi ibridi:  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu}$ ,  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ,  $\text{FWCNT-Fe}_3\text{O}_4$  e  $\text{ND-Fe}_3\text{O}_4$ . Tutti hanno mostrato buone capacità di scambio termico. Tuttavia le migliori prestazioni complessive, ovvero quelle che tengono conto sia dei miglioramenti nel coefficiente di scambio termico, sia degli effetti di incremento delle perdite di carico indotte dalla presenza delle nanoparticelle solide, sono state ottenute utilizzando il nanofluido  $\text{ND-Fe}_3\text{O}_4$  con una concentrazione dello 0,2% in acqua-glicole.

Nel lavoro di Ahmad et al. [6], sono state condotte sia un'indagine numerica (utilizzando Ansys Fluent), sia un'analisi sperimentale con la finalità di valutare le prestazioni termiche di nanofluidi  $\text{SiC-acqua}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-acqua}$  che fluisce attraverso un tubo circolare con all'interno un nastro elicoidale a passo costantemente aumentato. Il risultato principale del loro studio è l'aumento delle prestazioni di scambio termico. L'uso di un nastro elicoidale con passo costantemente aumentato (passo dinamico) genera vortici secondari più elevati all'ingresso. Invece, un passo più elevato all'uscita produce un miglioramento delle performance di scambio termico complessivo fino al 10% con l'uso del nanofluido  $\text{SiC-acqua}$ .

Ancora, nuove conoscenze scientifiche agli studi numerici sulla convezione naturale di nanofluidi all'interno di cavità D2Q9 LBM con un approccio mesoscopico scaturiscono dallo studio di Chaabane et al. [7]. La simulazione numerica è stata effettuata utilizzando un nanofluido acqua-rame. I risultati evidenziano che il numero di Nusselt locale aumenta utilizzando condizioni al contorno termiche parzialmente sinusoidali e che il trasferimento di calore aumenta in modo deciso utilizzando un'eccitazione sinusoidale.

Khan et al. [8], nel loro lavoro, hanno discusso un nuovo modello di nanofluido ibrido  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$  in acqua per la termofluidodinamica in canali obliqui convergenti/divergenti. Nel loro lavoro, propongono una nuova serie di equazioni non lineari. I loro risultati, applicabili a un'ampia gamma di casi ingegneristici, confermano l'affidabilità del modello, attraverso un confronto tra quanto da

loro sviluppato e i modelli già presenti in letteratura.

Pur essendo i lavori scientifici su questo argomento già molti, c'è ancora spazio per esplorare aspetti fisici diversi, che non trovano ancora una risposta chiara sia dal punto di vista teorico, sia da quello sperimentale.

## Bibliografia

1. Colangelo, G.; Diamante, N.F.; Milanese, M.; Starace, G.; de Risi, A. A Critical Review of Experimental Investigations about Convective Heat Transfer Characteristics of Nanofluids under Turbulent and Laminar Regimes with a Focus on the Experimental Setup. *Energies* 2021, 14, doi:10.3390/en14186004.
2. Milanese, M.; Micali, F.; Colangelo, G.; de Risi, A. Experimental Evaluation of a Full-Scale HVAC System Working with Nanofluid. *Energies* 2022, 15, doi:10.3390/en15082902.
3. Boldoo, T.; Ham, J.; Cho, H. Comprehensive Experimental Study on the Thermophysical Characteristics of DI Water Based  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  Nanofluid for Solar Thermal Harvesting. *Energies* 2020, 13, 6218, doi:10.3390/en13236218.
4. Dhia Massoudi, M.; Ben Hamida, M.B.; Mohammed, H.A.; Almeshaal, M.A. MHD Heat Transfer in W-Shaped Inclined Cavity Containing a Porous Medium Saturated with  $\text{Ag/Al}_2\text{O}_3$  Hybrid Nanofluid in the Presence of Uniform Heat Generation/Absorption. *Energies* 2020, 13, 3457, doi:10.3390/en13133457.
5. Saghir, M.Z.; Rahman, M.M. Forced Convection of  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu}$ ,  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ,  $\text{FWCNT-Fe}_3\text{O}_4$ , and  $\text{ND-Fe}_3\text{O}_4$  Hybrid Nanofluid in Porous Media. *Energies* 2020, 13, 2902, doi:10.3390/en13112902.
6. Ahmad, S.; Abdullah, S.; Sopian, K. Numerical and Experimental Analysis of the Thermal Performances of  $\text{SiC/Water}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{/Water}$  Nanofluid Inside a Circular Tube with Constant-Increased-PR Twisted Tape. *Energies* 2020, 13, 2095, doi:10.3390/en13082095.
7. Chaabane, R.; D'Orazio, A.; Jemni, A.; Karimipour, A.; Ranjbarzadeh, R. Convection Inside Nanofluid Cavity with Mixed Partially Boundary Conditions. *Energies* 2021, 14, 6448, doi:10.3390/en14206448.
8. Khan, U.; Adnan; Ahmed, N.; Mohyud-Din, S.T.; Baleanu, D.; Khan, I.; Nisar, K.S. A Novel Hybrid Model for  $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3\text{/H}_2\text{O}$  Nanofluid Flow and Heat Transfer in Convergent/Divergent Channels. *Energies* 2020, 13, 1686, doi:10.3390/en13071686.

