



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## Università degli Studi di Roma La Sapienza

---

Facoltà di Ingegneria civile e industriale  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Chimica

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

### STUDIO SPERIMENTALE DELLO SCAMBIO TERMICO E DELL'EROSIONE DEI NANOFUIDI COME REFRIGERANTI

Candidato:  
**Lucia Ghidini**  
Matricola 1095882

Relatore:  
**Ing. Roberto Bubbico**  
Correlatore:  
**Ing. Francesco D'Annibale**

# Indice

<b>1</b>	<b>I nanofluidi</b>	<b>3</b>
1.1	Applicazioni . . . . .	5
1.2	Sintesi dei nanofluidi . . . . .	6
1.2.1	Preparazione delle nanoparticelle . . . . .	6
1.2.2	Preparazione dei nanofluidi . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Proprietà dei nanofluidi</b>	<b>11</b>
2.1	Meccanismo di trasporto nei nanofluidi . . . . .	12
<b>3</b>	<b>L’Impianto HETNA</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Scambio termico: correlazioni disponibili</b>	<b>23</b>
4.1	Studio analitico dello scambio termico . . . . .	24
4.2	Valutazione del coefficiente di scambio termico . . . . .	24
4.2.1	Regime laminare . . . . .	25
4.2.2	Regime turbolento . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Scambio termico: prove</b>	<b>29</b>
5.1	Acqua . . . . .	31
5.2	Carburo di silicio . . . . .	31
5.3	Zirconia . . . . .	32
5.4	Titania . . . . .	33
5.5	Allumina . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Scambio termico: analisi dei risultati</b>	<b>43</b>
6.1	Confronto dei nanofluidi: prove a potenza variabile . . . . .	49
6.2	Confronto dei nanofluidi: prove a portata variabile . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Corrosione</b>	<b>63</b>
7.1	Forme di corrosione . . . . .	68
7.1.1	Corrosione uniforme . . . . .	69
7.1.2	Pitting . . . . .	69

---

7.1.3	Corrosione per areazione differenziale . . . . .	69
7.1.4	Corrosione per contatto galvanico . . . . .	70
7.1.5	Corrosione selettiva . . . . .	70
7.1.6	Corrosione intergranulare e esfoliazione . . . . .	70
7.1.7	Corrosione-erosione . . . . .	71
7.1.8	Cavitazione . . . . .	71
7.1.9	Fretting . . . . .	72
7.1.10	Corrosione sotto sforzo . . . . .	72
7.1.11	Corrosione a fatica . . . . .	72
7.1.12	Infragilimento da idrogeno . . . . .	73
7.1.13	Corrosione per correnti disperse . . . . .	73
<b>8</b>	<b>Prove di corrosione</b>	<b>75</b>
	<b>Conclusioni</b>	<b>80</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>90</b>
	<b>Ringraziamenti</b>	<b>93</b>

**Autore:** Ghidini Lucia

**Relatore:** Bubbico Roberto

**Titolo**

*Studio sperimentale dello scambio termico e dell'erosione dei nanofluidi come refrigeranti*

**Riassunto:**

**1) Natura del problema affrontato:**

Per superare le capacità termiche limitate dei tradizionali fluidi (acqua, glicol, olio motore), sono state introdotte in sospensione nanoparticelle di materiali ad alta conducibilità termica. Si tratta in particolare di metalli stabili, ossidi metallici o carbone in varie forme. I nanofluidi trovano applicazione in diversi campi che vanno dalla medicina, ai trasporti e alla microelettronica. Notevole è l'interesse su queste nanotecnologie che spinge anche la ricerca a sviluppare nuovi metodi di sintesi per estendere la produzione su scala industriale.

**2) Utilità di sviluppare il tema:**

Nella fase iniziale della sperimentazione sui nanofluidi, l'idea che stava alla base del grande interesse mosso verso questi nuovi fluidi, era l'incremento della conduttività termica, associato all'introduzione di particelle solide, metalliche o ceramiche.

Gli studi sperimentali finora effettuati infatti, riguardano la variazione delle caratteristiche fisiche, quali conduttività termica, viscosità, tendenza delle particelle a formare agglomerati dei nanofluidi, senza considerare l'influenza del regime di flusso. Inoltre non si sono neanche svolti dei test di erosione e corrosione.

Questione cruciale è anche la corretta interpretazione dei dati raccolti che spesso danno risultati controversi perché tuttora non si è riusciti ad individuare un modello di scambio termico che spieghi correttamente il comportamento dei nanofluidi.

**3) Contributo alla soluzione del problema:**

I dati sperimentali sullo scambio termico sono stati utilizzati per cercare di comprendere il meccanismo di trasporto di calore all'interno dei nanofluidi e per trovare delle correlazioni che consentano il calcolo preventivo del coefficiente di scambio termico.

Per quanto riguarda le prove di erosione-corrosione sono stati raccolti dati su diversi materiali, mettendo in luce l'esistenza di un'azione di degrado sulle pareti e sugli organi delle apparecchiature dell'impianto, rispetto alle supposizioni riportate finora in letteratura, che ritenevano gli effetti irrilevanti data la dimensione quasi trascurabile delle particelle in sospensione.

**4) Note di complessità o di soluzioni particolarmente originali:**

Sono state condotte delle prove su un impianto costituito da due circuiti identici: in uno viene fatta scorrere l'acqua e nell'altro il nanofluido.

La soluzione adottata in queste prove consente il confronto istantaneo delle prestazioni dei due fluidi che vengono mantenuti esattamente nelle stesse condizioni operative da un sistema di controllo automatico.

Inoltre la particolare tipologia di prove effettuate per testare la corrosione ha consentito di misurare anche l'abrasione delle particelle sugli ingranaggi della pompa, rilevando un effetto per niente trascurabile dei nanofluidi sulla vita degli organi dell'impianto.