

Tecniche ottiche e
termografiche per misure e
visualizzazione di flusso
in termofluidodinamica



Istituto Nazionale per la Fisica della Materia
Sezione L'Aquila



Università degli studi di L'Aquila
Dipartimento di Energetica



Unione Italiana
Termofluidodinamica

Si ricorda che per tutto il 2004
sarà possibile visualizzare le presentazioni sul sito:
dau.ing.univaq.it/~laser/UITday/thermopt.htm

*Gli Organizzatori ringraziano
gli Enti e le Società per il loro sostegno:*



Tecniche ottiche e termografiche per misure e visualizzazione di flusso in termofluidodinamica

Atti della giornata di studio
L'Aquila, 11 aprile 2003

A cura di:

Dario Ambrosini

Domenica Paoletti

Antonio Ponticiello



Copyright © MMIV
ARACNE EDITRICE S.r.l.

Amministrazione:
00040 Lanuvio (Roma)
via Gramsci, 264 – pal.6, int.3
(06) 93781065
www.aracne-editrice.it
info@aracne-editrice.it

Redazione:
00173 Roma
via Raffaele Garofalo, 133 A/B
(06) 72672222 – telefax 72672233

ISBN 88-7999-586-3

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

I edizione: febbraio 2004

The Law of Invisible Phenomena

The absence of evidence is not evidence of absence.

(from The Internet Science Jokes)

PRESENTAZIONE

L'impiego di metodologie ottiche e termografiche negli studi di termofluidodinamica ha sempre permesso di ottenere interessanti risultati sia dove la complessità della geometria non consentiva l'impiego delle tecniche tradizionali di misura sia dove era necessario effettuare misure senza interferire con i fenomeni in osservazione.

L'evoluzione di queste metodologie ha portato nei tempi recenti a nuove e più sofisticate tecniche di indagine che forniscono un'informazione completa sul fenomeno permettendo una visualizzazione dei campi termici e di velocità.

In questa giornata di studio organizzata dall'UIT e dall'Università dell'Aquila vengono presentati i recenti sviluppi delle metodologie ottiche e termografiche per le misure e la visualizzazione, con contributi dell'Interferometria Olografica nello studio della convezione termica e delle Tecniche Speckle per la visualizzazione di flussi.

Di particolare rilevanza sono ancora i contributi ottenuti con le esperienze di visualizzazione di campi termici mediante tecniche Schlieren e Termografia a Cristalli Liquidi, tecniche che permettono, rispettivamente, la misura della temperatura di fluidi trasparenti e superfici solide e quindi di risalire, con un diverso approccio, al coefficiente locale di scambio termico.

Interessanti risultati sulla misura del coefficiente di scambio in convezione sono anche ottenuti mediante la Termografia IR nei campi termofluidodinamici complessi.

Alcune relazioni sono dedicate anche alla presentazione dei principi e delle applicazioni della tecnica PIV e dell'Anemometria Laser Doppler con esempi di applicazioni.

Infine vengono discusse alcune problematiche incontrate nelle tecniche di visualizzazione dei campi di moto che si originano nell'ebollizione in convezione forzata.

Dall'insieme delle presentazioni si può ricavare l'idea di un campo di studio in continua espansione con importanti applicazioni non solo nel campo della ricerca ma anche per diversi problemi di interesse industriale, dove si richiede una sofisticata tecnologia.

L'occasione di incontro tra i ricercatori offerta da queste giornate, deve costituire quindi un valido mezzo per lo scambio delle conoscenze e, attraverso la discussione dei risultati, una opportunità di diffusione delle informazioni nel mondo delle possibili applicazioni.

Genova, 19 maggio 2003

*Claudio Pisoni
Presidente UIT*



Inaugurazione della giornata di studio. Nella foto da sinistra: Dr. G. P. Celata, Segretario U.I.T.; Prof. E. Chiricozzi, Preside della Facoltà di Ingegneria; Prof. L. Bignardi, Rettore dell'Università di L'Aquila; Dr. F. Pistoia, Assessore del Comune di L'Aquila; Prof. E. Chiappini, Direttore del Dipartimento di Energetica.

INDICE

Interferometria Olografica nello Studio della Convezione Termica

<i>Gianni Cesini (Università Politecnica delle Marche)</i>	1
1. Introduzione	1
2. La Determinazione del Coefficiente di Scambio Termico Convettivo.....	2
3. I Metodi Ottici per Misure di Temperatura in Fluidi	3
4. Le Tecniche Interferometriche.....	5
5. L'Interferometria Olografica [4-10]	8
6. Esempi di Applicazione della Interferometria Olografica allo Studio della Convezione Naturale in Cavità Bidimensionali.....	12
7. L'Interferometria Olografica Multidimensionale [7, 30-40]	25
Bibliografia	26

Tecniche Speckle per la Visualizzazione di Flussi Termici e di Massa

<i>Dario Ambrosini (Università di L'Aquila)</i>	31
1. Introduzione	31
2. Il Fenomeno degli Speckle	31
3. La Fotografia Speckle	33
3.1. Trend nella Fotografia Speckle di Flussi	37
3.1.1. Fotografia Speckle Digitale	38
3.1.2. Fotografia Speckle Digitale in Luce Bianca	39
3.1.3. Tomografia Speckle.....	42
4. ESPI	42
4.1. Caratterizzazione del Trasporto di Massa	44
4.2. Caratterizzazione della Convezione Naturale.....	47
4.3. Trend nell'ESPI per la Visualizzazione di Flussi	49
4.3.1. Studio di Transitori in Convezione	50
Bibliografia	53

Esperienze di Visualizzazione di Campi Termici con la Tecnica

Schlieren e la Termografia a Cristalli Liquidi

<i>Giovanni Tanda (Università di Genova)</i>	55
1. Introduzione	55
2. La Tecnica Schlieren	55
2.1. Equazioni	56
2.2. Lo Schema Ottico	57
2.3. Metodo Schlieren a Colori	58
2.4. Metodo del Filamento Focale	60
2.5. Ricostruzione del Campo di Temperatura e del Coefficiente di Scambio Termico.....	60
2.6. Alcuni Esempi Applicativi.....	61
2.7. Sviluppi Futuri: Applicazione allo Studio di Campi Termici Tridimensionali	62
3. La Termografia a Cristalli Liquidi	63
3.1. Principio di Misura	64
3.2. Riconoscimento del Colore	65
3.3. Tecniche di Calibrazione	66
3.4. Ricostruzione del Campo di Temperatura e del Coefficiente di Scambio Termico	68
3.5. Apparato Sperimentale e Modalità Operative	69
3.6. Alcuni Esempi Applicativi	71
Bibliografia	73

Infrared Thermography: a Thermo-Fluid-Dynamic Tool

<i>T. Astarita, G. Cardone, G. M. Carlomagno and C. Meola (Università degli Studi di Napoli "Federico II")</i>	75
1. Summary	75
2. Basics of Infrared Thermography	75
3. Measurements of Heat Fluxes by Means of Irsr	79
3.1. Historical Footsteps in the Infrared Imaging Technique	80
4. Degradation and Restoration of a Thermal Image	82

4.1. Modulation Due to the Sensor	83
4.2. Modulation of the Ir Imaging System	85
4.3. Thermogram Restoration	86
5. Applications	87
5.1. Aerodynamic Bodies	87
5.2. Jet Flows	93
5.3. Internal Flows	99
6. Concluding Remarks	106
References	106

PIV: Principi ed Applicazioni

<i>Enrico Nino (Università degli Studi della Basilicata)</i>	111
1. Introduzione	111
2. Principi di Funzionamento	111
3. Interrogazione di Immagini PIV	113
4. Metodo della Cross-Correlazione	115
5. Esempi di Applicazione della PIV	118
6. PIV a Tre Dimensioni	121
Bibliografia	124

L'Anemometria Laser Doppler

<i>Gianpietro Elvio Cossali (Università degli studi di Bergamo)</i>	127
1. Introduzione	127
2. La Sorgente Laser	128
3. Fondamenti Fisici dell'Anemometria Laser Doppler	128
3.1. L'effetto Doppler	128
3.2. Configurazione "dual beam"	129
3.3. La misura di Δf_D	131
4. Lo Scattering di Mie	133
5. Configurazione dell'Ottica di Trasmissione	134
6. Ambiguità Direzionale	138

7. Configurazione dell'Ottica di Ricezione	140
8. Analisi del Segnale	141
9. Scelta delle Particelle Traccianti	144
10. Sorgenti di Errore	146
10.1. Errore nella Valutazione dell'Angolo tra i Fasci	146
10.2. Basso Rapporto Segnale Rumore (SNR) Dovuto a Bassa Intensità o Attenuazione	147
10.3. Dimensioni delle Particelle Inseminanti	147
10.4. Velocity Bias (per Alti Livelli di Turbolenza)	147
11. Applicazioni	149
11.1. Getto Gassoso Non-Stazionario	149
11.2. Spettri della Turbolenza	152
11.3. Analisi di Moto di un Fluido in Prossimità di uno Spray Non- Stazionario	153
Bibliografia	156

Problematiche di Visualizzazione nell'Ebollizione in Convezione

Forzata

<i>Gian Piero Celata (ENEA, Casaccia, Istituto di Termofluidodinamica Energetica, Roma)</i>	159
1. Introduzione	159
2. I Principali Problemi nella Visualizzazione dell'Ebollizione in Convezione Forzata	159
2.1. Complessità dell'Ebollizione in Convezione Forzata (Pressione, Flusso Termico, Velocità del Fluido, Dimensioni delle Bolle)	160
2.2. Invasività delle Sezioni di Prova Visualizzate	160
2.3. Geometria delle Sezioni di Prova Visualizzate	161
2.4. Alterazioni Dovute alla Geometria	161
3. Applicazioni della Visualizzazione nell'Ebollizione in Convezione Forzata presso L'Istituto di Termofluidodinamica Energetica dell'Enea	162
3.1. Visualizzazione della Fenomenologia Hypervapotron	162
3.2. Visualizzazione del Burnout in Ebollizione Sottoraffreddata	166

4. Conclusioni	173
Bibliografia	174