

# **43° congresso nazionale ATI**

ancona 20-23 settembre 1988

---



---

*estratto*

**associazione  
termotecnica  
italiana**

---

## MISURE DI VELOCITÀ IN UN GETTO VERTICALE IMMERSO

A. DUMAS <sup>1</sup> - A. FARINA <sup>2</sup> - S. PIVA <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Processi e Metodi della Produzione Edilizia Università di Firenze

<sup>2</sup> Istituto di Fisica Tecnica - Università di Bologna

### SOMMARIO

Vengono riportate misure di velocità eseguite con anemometro Laser Doppler, per due sezioni di prova costituite da un serbatoio cilindrico, all'interno del quale sono posti uno o più tubi a simmetria assiale, che scaricano a getto in acqua quiescente o in moto debolmente equiverso.

### VELOCITY MEASUREMENTS IN SUBMERGED VERTICAL JETS

### ABSTRACT

This paper reports velocity measurements by LDA anemometry of circular water jet. The presence or not of other submerged jets and of a slow external flow field is also considered. Large eddies were singled out in laminar jets too.

## 1. INTRODUZIONE

Si intende per getto una vena fluida che attraversa un campo di fluido in quiete o in moto. Le situazioni in cui tali getti vengono impiegati sono numerosissime ed investono settori molto diversi fra di loro; per esempio gli scarichi di fluidi reflui, caldi e non, in mare o nei laghi, con tutte le implicazioni ambientali che ne derivano, le spinte e conseguenti azioni di erosione prodotte su pareti di apparati meccanici oppure in alvei, il raffreddamento di superfici calde in apparati di potenza o nella microelettronica.

Il campo di moto generato a valle dello sbocco e' stato ampiamente studiato sia dal punto di vista teorico che sperimentale, per esempio da Abramovitch in [1]. In Fig.1 sono state evidenziate le due principali regioni di moto che lo caratterizzano, come riferito da Albertson *et al.* in [2] :

1. una regione di formazione, in cui si ha il progressivo passaggio del profilo di velocita' da quello esistente all'interno del tubo a quello proprio dei getti;
2. una regione di moto stabilizzato, in cui il profilo ha assunto la sua conformazione tipica e stabile.

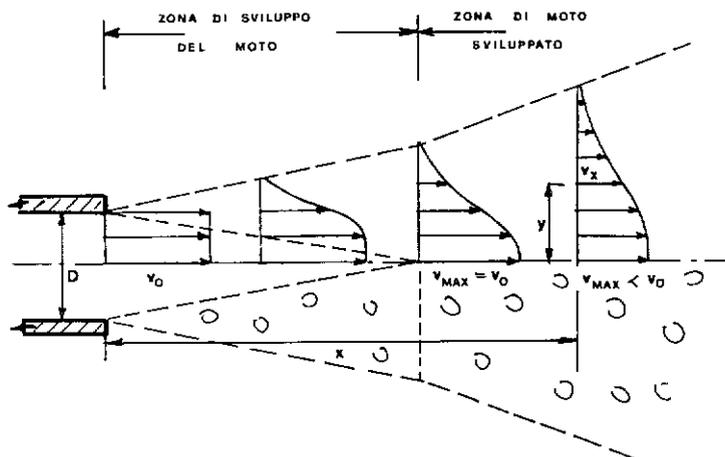


Fig.1 Profili di velocità in un getto libero

Per un getto sommerso bidimensionale il fluido scaricato puo' essere considerato a velocità relativamente costante. Nella regione in cui la velocità di efflusso e' molto superiore a quella del fluido circostante, compaiono immediatamente vortici che provvedono a diffondere la quantità di moto alle regioni laterali. L'effetto di questi fenomeni di diffusione consiste da un lato in un graduale rallentamento del fluido all'interno del getto, dall'altro in una graduale accelerazione del fluido delle regioni circostanti. Risulta così la formazione di un nucleo conico a velocità costante, pari a

quella di efflusso, ed in una crescita della larghezza complessiva del getto all'aumentare della distanza dalla sezione di efflusso. Questa zona iniziale del moto cessa quando la regione di diffusione ha raggiunto l'asse del getto. A questo punto il nucleo scompare per lasciare posto al tipico profilo di velocità a campana. Il moto di qui in avanti può essere considerato completamente instaurato e procede senza sostanziali cambiamenti di carattere. Procedendo verso regioni ancora più lontane dalla sezione di efflusso, il coinvolgimento ulteriore del fluido circostante da parte della regione vorticoso in espansione viene bilanciata da una continua diminuzione della velocità dell'intera regione centrale.

Sperimentalmente è stato riscontrato da Albertson et al [2] e da Franzetti e Tanda [3] che il campo conico di velocità costante ha una lunghezza pari circa a  $6D$ . La presenza di un piano, costituito da una superficie solida o da un'interfaccia liquido-gas, permette una ulteriore classificazione dei getti. Essi vengono detti corti se tale piano è posto ad una distanza  $h$  inferiore a  $6D$ , lunghi se  $h$  è superiore a  $8.5 D$ . Le poche eccezioni sperimentali al comportamento sopra descritto sono riportate da Davanipour e Sami [4].

Dumas e Salvigni [5], in un'indagine sperimentale svolta per conto dell'ENEA, sulla misurabilità dei campi di velocità in un modello di reattore nucleare mediante anemometria laser-Doppler hanno eseguito misure di velocità del fluido all'uscita delle guaine che alloggiavano le barrette di combustibile nucleare. Essi hanno riscontrato profili radiali di velocità assiale che, nella zona di formazione del moto, presentano un minimo sull'asse del getto, dovuto ad un ostacolo che impedisce il libero sbocco del fluido.

## 2. L'APPARATO SPERIMENTALE

L'impianto sperimentale è composto dal circuito idraulico e dall'apparato elettronico di misura della velocità'.

Il primo è stato già descritto da Dumas e Salvigni [5] e da Dumas e Mazzacane [6], cui si rimanda per la descrizione. Viene qui solo ricordato che esso permette di alimentare le sezioni di prova a carico costante con una prevalenza massima di circa 100 kPa.

La strumentazione di misura, indicata schematicamente in Fig. 2, coincide sostanzialmente con quella descritta in [5]. Essa è stata però potenziata sia per quanto riguarda la parte ottica che elettronica. Il raggio laser di 25 mW di potenza viene suddiviso in due raggi di pari intensità, spaziatosi di 80 mm, uno dei quali viene traslato di 40 MHz mediante una cella di Bragg, onde consentire l'individuazione della direzione del moto. Mediante un sistema di specchi mobili a controllo numerico, i raggi vengono fatti convergere attraverso una lente di 300 mm di focale all'interno della regione di fluido da studiare. Il sistema di controllo numerico consente una precisione del posizionamento dell'incrocio dei raggi di 0.1 mm, ben inferiore cioè alle dimensioni del volume di misura stesso, pari a circa mm 2.25.

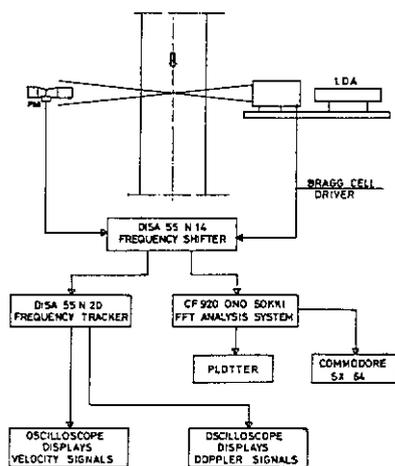


Fig.2 L'apparecchiatura di misura.

Le particelle che transitano all' interno della regione di incrocio intersecano le frange di interferenza ivi prodotte dalla sovrapposizione dei due raggi di luce monocromatica, diffondendo un segnale luminoso che viene captato dal fotomoltiplicatore, collimato sull'incrocio stesso. L'intensita' di corrente prodotta dal fotomoltiplicatore e' modulata dalla frequenza Doppler, proporzionale alla velocita' della particella.

Tale segnale elettrico proveniente dal fotomoltiplicatore, dopo essere stato opportunamente amplificato, attraversa un miscelatore di frequenza Dantec 55N11, che rimuove la componente di 40 MHz introdotta dalla cella di Bragg ed aggiunge un ulteriore slittamento di frequenza positivo o negativo, utile per portare la frequenza Doppler al centro del campo di misura della successiva strumentazione destinata all'analisi del segnale. Tale apparato si e' reso necessario per effettuare misure di componenti di velocita' ad elevata fluttuazione attorno ad un valore medio prossimo a zero.

La rilevazione della frequenza Doppler viene eseguita in parallelo mediante due differenti apparati : il primo e' un Inseguitore di Frequenza Dantec 55N21, collegato al miscelatore di frequenza, in modo da riconoscere automaticamente la presenza dell'ulteriore slittamento di frequenza e da depurarne pertanto il risultato. Il secondo apparato e' costituito da un analizzatore FFT ONO SOKKI CF 920, che estrae l'informazione della frequenza Doppler tramite l'individuazione di un picco sullo spettro del segnale. Questo secondo strumento opera in un campo di frequenza variabile da 0 a 100 kHz, pertanto la presenza dello slittamento elettronico di frequenza e' determinante per poter far rientrare il valore della frequenza

Doppler entro il limite massimo consentito dallo strumento. L'analizzatore FFT e' collegato tramite bus IEEE 488 ad un microcomputer Commodore SX 64, che provvede alla gestione del flusso di dati proveniente dall' analizzatore ed alla memorizzazione degli stessi.

La presenza di due diverse apparecchiature per la rilevazione della frequenza Doppler porta sovente a stime diverse del valore della stessa : cio' e' dovuto al fatto che l'inseguitore di frequenza opera correttamente con segnali continui, prodotti dal passaggio contemporaneo di un elevato numero di particelle molto piccole nel volume di misura, e con frequenza Doppler fluttuante entro certi limiti ma con rapidita' di fluttuazione non troppo elevata. Viceversa l'analizzatore FFT esegue la misura solo quando si verifica il passaggio di una particella che invia un segnale molto forte ("Burst"), e la misura risulta essere discontinua : il valore medio della frequenza Doppler viene calcolato dal microcomputer come media aritmetica sui valori prodotti da qualche centinaio di bursts. E' possibile cosi' operare una trattazione statistica dei risultati valida anche in caso di fluttuazioni della velocita' delle particelle molto vistose, con inversioni di moto ed improvvise accelerazioni. Tuttavia i limiti di velocita' dello analizzatore FFT fanno si' che la misura non sia in tempo reale, e pertanto e' necessario mediare su un elevato numero di eventi se si vuole evitare che il campionamento intermittente degli stessi influenzi significativamente la statistica dei risultati.

### 3. LE SEZIONI DI PROVA

Per quanto riguarda l'apparato di misura , sono state utilizzate due distinte sezioni di prova. La prima, il cui schema e' riportato in Fig 3, gia' utilizzata in [5] ed ivi denominata "Peschino", consiste in un recipiente cilindrico del diametro di 500 mm, realizzato in plexiglass, contenente 61 tubi verticali cavi dello stesso materiale, del diametro interno di 26 mm e diametro esterno di 32 mm aventi 6 fori ai piedi di ciascuno di essi costituenti linee di fuga del fluido. La geometria di questa sezione di prova rappresenta il modello in scala del nocciolo di un reattore nucleare : ciascun tubo verticale rappresenta un contenitore di barre di combustibile, percorso longitudinalmente dal liquido di raffreddamento delle barre stesse.

E' stata realizzata una seconda sezione di prova, denominata "Monotubo", schematicamente mostrata in Fig 4. Essa e' costituita ancora da un grosso recipiente cilindrico, di 0.5 m di diametro interno, dotato di un unico tubo centrale di scarico, anch'esso in perspex con diametro interno di 34 mm e diametro esterno di 40 mm. L'intera portata d'acqua viene immessa attraverso il tubo, ed e' possibile studiare il moto sia nelle immediate vicinanze dello sbocco che all'interno del tubo stesso, senza che ostacoli circostanti impediscano il posizionamento dei raggi.

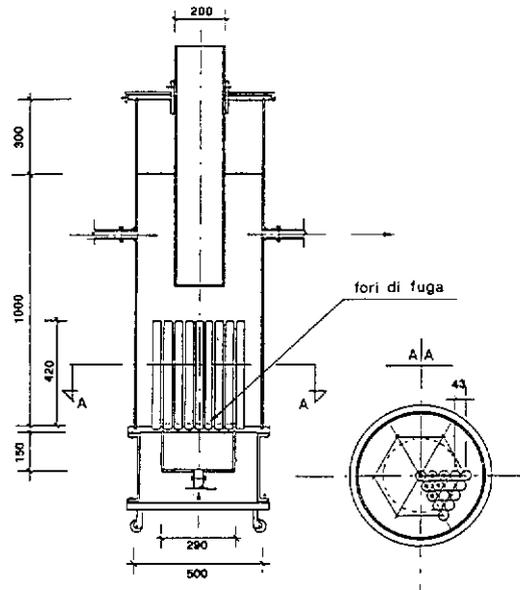


Fig.3 Sezione di prova "Peschino"

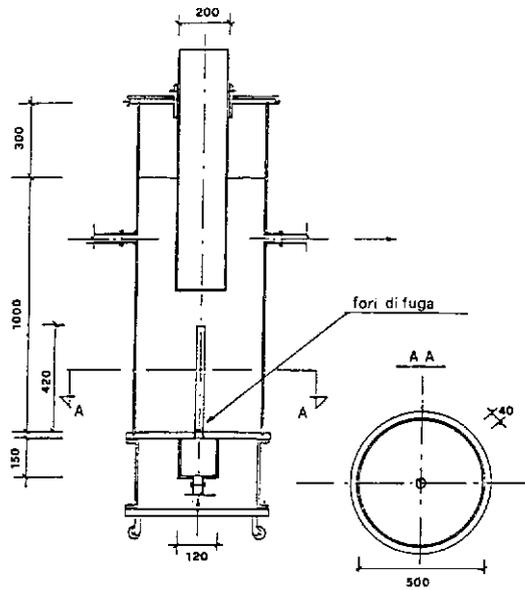


Fig.4 Sezione di prova "Monotubo".

## 4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Una prima serie di misure e' stata eseguita con la sezione "Monotubo", in regime sia laminare che turbolento, per valori di  $Re$  da 1000 a 10000. In Fig.5 sono riportati gli andamenti riscontrati per due diverse condizioni di moto. La misura e' stata eseguita su di un piano posto a 4mm dalla sezione di efflusso, distanza pari a circa  $0.1 D$ . Durante queste prove il pelo libero e' stato posizionato a circa  $10D$  dalla sezione di efflusso; i getti ottenuti rientrano fra quelli cosiddetti lunghi. Tale geometria e' stata presa in esame al fine di ottenere un confronto con i profili di velocita' reperibili in letteratura.

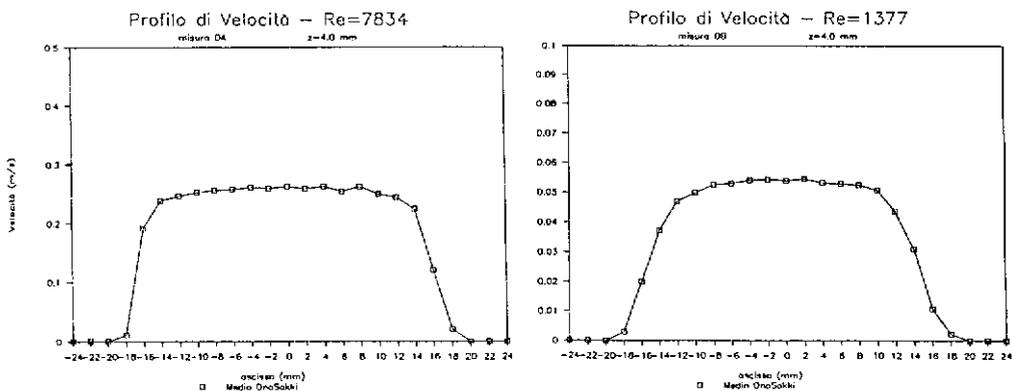


Fig.5 Profili di velocita' : sezione "Monotubo".

Gli andamenti riscontrati sono quelli tipici dei corrispondenti regimi di moto; si presentano cioe' con un andamento parabolico in moto laminare, e con la regione a forte gradiente di velocita' di spessore piu' ridotto in moto turbolento.

Per una prima valutazione della validita' delle misure eseguite, e' stata fatta la verifica sul bilancio di massa integrale. Si sono confrontate fra loro la portata misurata sperimentalmente con il metodo della pesata e quella calcolata integrando i profili di velocita'. Nel caso del profilo di moto laminare riportato lo scostamento riscontrato fra i due valori e' pari al 2.73 %, mentre nel caso turbolento esso e' del 4.18 %.

Nella zona di diffusione del getto e' stata riscontrata, anche nel caso del moto laminare, la formazione dei grandi vortici tipici dei fenomeni turbolenti. L'apparecchiatura DANTEC di cui si dispone

riesce a seguire bene tale evoluzione, ma non la restituisce in modo tale da potere svolgere considerazioni sull'intensita' dei fenomeni turbolenti in corso. Infatti il DANTEC visualizza su display, senza registrarlo, il valore medio della velocita' in un tempo anche molto breve; in tale modo e' possibile seguire l'evoluzione temporale dei vortici. Viceversa l'ONO SOKKI non segue con continuita' il fenomeno, ma ne fa una campionatura random. In questo caso la presenza dei vortici puo' essere riscontrata solo attraverso gli istogrammi che riportano, per ogni punto di misura, la distribuzione statistica delle velocita'. Per esempio in Fig.6 sono riportati tali istogrammi per due punti della prova di moto laminare riportata in Fig.5. Come si puo' osservare la campana relativa al punto posto nella zona di diffusione del getto e' molto piu' larga e bassa di quella relativa al punto posto al centro del nucleo.

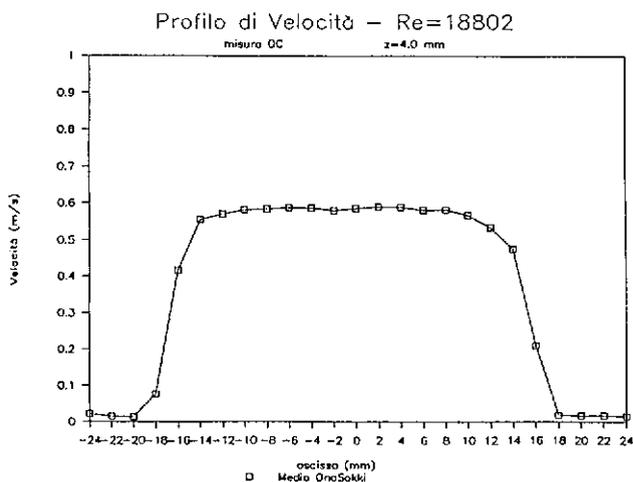


Fig.6 Profili di velocità : sezione "Monotubo" con fori di fuga aperti.

In Fig.7 e' riportato, ancora per la sezione "Monotubo", il profilo radiale di velocità assiale allo sbocco di un getto in un ambiente in moto equiverso. Tale campo di moto e' stato realizzato aprendo 6 fori di fuga alla base del serbatoio. Tali misure sono state eseguite anche al fine di verificare sperimentalmente l'effetto dei fori di fuga praticati alla base dei getti nel modello "Peschino". Come prevedibile qualitativamente, tale effetto, per le portate e le dimensioni in gioco, e' praticamente trascurabile. In questo caso lo scostamento fra la portata misurata e quella calcolata e' del 11.81 %; pertanto se ne deduce che l'effetto dei fori di fuga e' limitato ad un modestissimo moto d'insieme del fluido contenuto nel serbatoio.

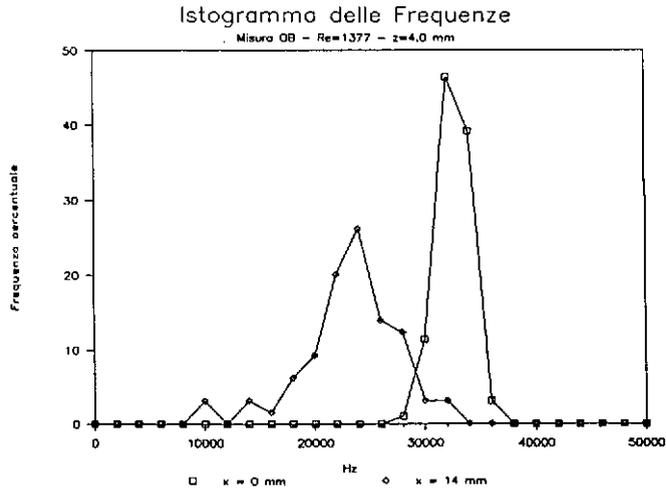


Fig.7 Istogramma di distribuzione delle velocità in un getto laminare.

In Fig. 8 sono riportati i profili radiali di velocità assiale per il getto centrale della sezione di prova "Peschino". In questo caso i valori di Re sono stati ricavati direttamente dall'integrazione del profilo di velocità sperimentale. Il minimo di velocità che si manifesta al centro del profilo è dovuto ad un ostacolo cilindrico che attraversa il tubo lungo un diametro a breve distanza dalla sezione di efflusso. Il minimo di velocità misurato si conserva per molti diametri a valle dello sbocco, attenuando la sua entità al

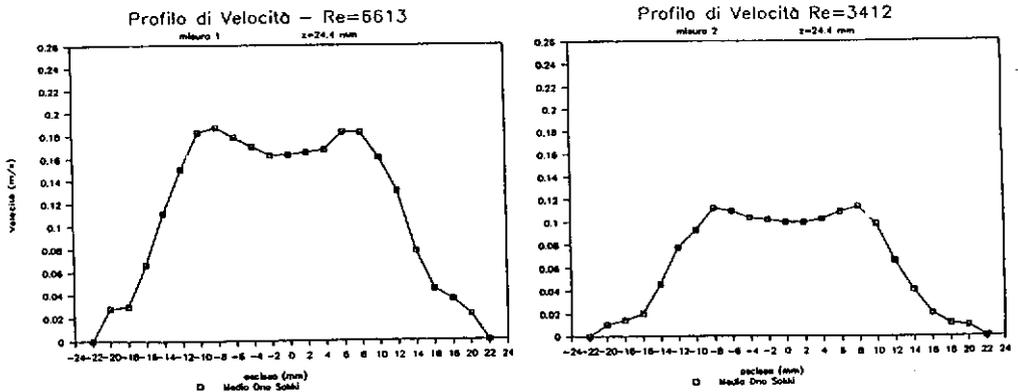


Fig.8 : Profili di velocità : sezione "Peschino".

diminuire della velocità massima. Gli andamenti raccolti non manifestano, nell'intervallo di variazione di  $Re$  investigato, fenomeni di interazione, almeno fino ad una distanza pari a  $10D$  dallo sbocco.

## 5. CONCLUSIONI

Nel corso delle prime misure sperimentali eseguite su getti isotermi assialsimmetrici, lanciati entro serbatoi in quiete o in moto equiverso, sono risultate ancora una volta confermate le prerogative del metodo di misura non intrusivo impiegato. Sia la metodologia di misura che la strumentazione si sono mostrate molto affidabili, anche nello studio di fenomeni vorticosi estesi a grandi regioni di fluido. Poche sono state le incertezze nel ricavare i profili di velocità anche a grandi  $Re$ .

Oltre a ciò, la strumentazione si è mostrata molto duttile, ed in grado di affrontare anche la misura dell'intensità di turbolenza.

I profili radiali di velocità assiale sono sempre stati in buon accordo con quelli reperiti in letteratura.

Particolarmente interessante è risultato come anche per getti a  $Re$  tali da rimanere in campo laminare, a brevissima distanza dalla sezione di efflusso siano state riscontrate strutture vorticose.

L'impiego dell'analizzatore di Fourier consente stime più accurate del valore medio della velocità rispetto all'inseguitore di frequenza, e fornisce anche il valore dello scarto quadratico medio delle fluttuazioni di velocità. Tuttavia il limite posto dalla frequenza massima di 100 kHz ne limita l'impiego allo studio di campi di velocità relativamente bassa.

## BIBLIOGRAFIA

1. G.N.Abramovich : "The theory of turbulent jets" The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.
2. M.L.Albertson, Y.B.Dau, R:A:Jensen and Hunter Rouse : "Diffusion of submerged jets" in Transactions of American Society of Civil Engineers, Paper n.2409, vol.115, pp.630-697.
3. S.Franzetti e M.G.Tanda : "Caratteristiche idrodinamiche di getti d'acqua assialsimmetrici deviati esterni e sommersi" in Atti del XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova 8-10 settembre 1986, pp 833-844.
4. T.Davanipour and S.Sami : "Short jet impingement" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol.103, No. HY5, pp. 557-567, 1977.
5. A.Dumas e S.Salvigni : "1D e PESCHINO : Prove di supporto all'esperimento VENUS. Misure di velocita' con L.D.A.", Rapporto finale non pubblicato, Bologna, 1988.
6. A.Dumas e S.Mazzacane : "Un circuito sperimentale per misure termofluidodinamiche" in Atti del 42° Convegno Nazionale ATI, Genova, 8-12 settembre 1987, pp. IV 11- IV 24.

## NOMENCLATURA

D diametro interno del getto allo sbocco  
 h distanza del piano di deviazione dallo sbocco  
 Re numero di Reynolds