



Politecnico di Torino  
Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Infrastrutture Civili

# **XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche**

Torino, 16-18 Settembre 1996

Atti - Volume III

Edizioni MAF Servizi - Torino

# CAMPO DI MOTO GENERATO DA UN GETTO IN PRESENZA DI MOTO ONDOSO.

Michele Mossa

*Dottorando di Ricerca in Ingegneria Idraulica per l'Ambiente e il Territorio (VIII ciclo)  
Università della Calabria, della Basilicata, di Salerno e Politecnico di Bari*

## SOMMARIO

Nel presente studio si riporta un'analisi dei rilievi sperimentali dei campi di moto generati da un getto interagente con un moto ondoso e dallo stesso getto immesso in un campo di liquido in quiete. Per i getti interagenti con il moto ondoso i rilievi delle componenti longitudinali di velocità, effettuati con un sistema LDA bidimensionale, hanno messo in evidenza un appiattimento ed un allargamento dei diagrammi rispetto a quelli rilevati sullo stesso getto immesso in acqua ferma.

I dati di velocità, relativi alla ZEF (*Zone of Established Flow*), opportunamente adimensionalizzati, si addensano intorno ad un'unica curva.

Per quanto attiene lo scarto quadratico medio delle componenti di velocità (*r.m.s.*), a differenza del caso di un getto immesso in acqua ferma, gli andamenti nelle diverse sezioni non si addensano intorno ad un'unica curva, ma sono parametrizzabili con un numero indice definito come il rapporto tra la velocità in asse del getto e la massima velocità verticale di moto ondoso per la sezione in analisi. Questo risultato conferma l'influenza del moto ondoso sul processo di diffusione.

La portata, calcolata per integrazione delle componenti longitudinali di velocità, presenta un'andamento crescente in funzione della distanza dall'ugello. Inoltre, i valori delle portate in tutte le sezioni trasversali sono marcatamente maggiori rispetto a quelli relativi allo stesso getto immesso in acqua ferma.

## SUMMARY

This paper considers the dispersion of vertical round non-buoyant jets discharged beneath a series of progressive waves and of the identical jet in a stagnant ambient.

A LDA system was developed to measure simultaneously the two dimensional velocity field. The vertical velocity profiles of the jets discharged in a wave environment are flatter and wider than the ones of the same jet in a stagnant ambient. Besides, within the ZEF (*Zone of Established Flow*) the dimensionless vertical velocity components collapse on a single curve.

The *r.m.s.* velocity components of the jets discharged in a wave environment can be analysed using a dimensionless parameter, defined as the ratio of the jet axial velocity and a velocity scale of the wave flow.

The volume flux was determined by integrating the velocity profile at each measuring section. The results show that the additional wave-induced mixing has increased the volume flux.

## 1. INTRODUZIONE

Lo scarico in mare delle acque reflue è un sistema di smaltimento che negli ultimi anni sta avendo sempre maggiore impiego. L'opera di scarico deve consentire una diluizione degli inquinanti,

in modo che nella massa marina e lungo le coste prossime alla zona di immissione siano rispettati gli indici di qualità delle acque stabiliti da leggi o regolamenti.

E' noto che per raggiungere questo obiettivo si realizzano delle condotte sottomarine, aventi nella parte estrema dei diffusori, che, se ben progettati, debbono garantire la diluizione del soluto. Quest'ultima si ottiene sfruttando i fenomeni idrodinamici di diffusione che caratterizzano l'efflusso dei getti. In particolare, nel caso di immissione in mare calmo, il getto effluente da un orifizio tende a seguire la direzione di uscita, normalmente orizzontale, per poi essere spinto verso l'alto dalla forza di galleggiamento, nell'ipotesi pratica che la densità del fluido del getto sia inferiore a quella del fluido ambiente. Il processo di intrusione che interviene durante la risalita del getto determina un mescolamento del fluido dello stesso con quello dell'ambiente circostante, realizzando un benefico effetto di diluizione degli inquinanti immessi. I fenomeni idrodinamici a cui si è accennato si riferiscono alla prima parte del processo di diffusione, durante la quale i getti di densità risalgono fino a raggiungere un livello, generalmente non coincidente con la superficie libera, oltre il quale il campo di moto si modifica divenendo a sviluppo prevalentemente orizzontale. I due fenomeni di diffusione accennati (il primo relativo alla fase di risalita e il secondo relativo alla fase di moto con componenti di velocità orizzontali dominanti su quelle verticali) sono alla base della diluizione.

Le considerazioni fatte innanzi si riferiscono al caso, assai raro nella realtà, in cui il getto di densità sia immesso in un campo di liquido in quiete.

Diversi studi hanno evidenziato che la presenza di un campo di moto del fluido ambiente può incrementare notevolmente il processo di diffusione del getto. Nella pratica progettazione degli scarichi sottomarini, in effetti, di ciò si tiene in parte conto, in quanto, in genere, si considerano condizioni di immissione in presenza di correnti nella massa ricevente.

Alcuni autori (*Biggiero, 1974; Chin, 1987; Di Natale, 1989*) hanno evidenziato, però, che, ai fini della progettazione delle condotte sottomarine, è di fondamentale importanza non solo l'effetto delle correnti, ma anche quello del moto ondoso. In particolare, tali studi mostrano che anche modesti valori dell'altezza d'onda determinano un aumento sensibile della diluizione rispetto al caso della stessa immissione in ambiente calmo o in presenza delle sole correnti.

*Ger (1979)* e *Chin (1987)* dimostrarono sperimentalmente che il moto ondoso consente di migliorare la diluizione del soluto trasportato da un getto. *Chin (1988)* propose un modello matematico per lo studio dell'interazione di un getto con un campo di moto ondoso basato sulla conservazione della massa e della quantità di moto. *Chyan e Hwung (1993)* misero in evidenza come, pur essendo ormai vasta la letteratura a riguardo degli scarichi in mare per quanto attiene i processi di intrusione, la forza di galleggiamento, l'interazione con le correnti, etc., sia ancora scarsa la conoscenza dell'azione del moto ondoso sulla diffusione dei getti, sostenendo l'importanza della realizzazione di rilievi *in situ* e sperimentazioni su modelli fisici, che possano consentire di approfondire questa tematica.

Nel presente lavoro si riportano i risultati di una ricerca sperimentale sulle grandezze caratteristiche di un getto immesso in un campo di liquido in moto ondoso.

L'indagine è stata condotta nel laboratorio del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, nell'ambito del corso di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica per l'Ambiente e il Territorio, con sede amministrativa l'Università della Calabria e sedi consorziate il Politecnico di Bari, l'Università della Basilicata e l'Università di Salerno.

## **2. DESCRIZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE**

### **2.1. Canale con generatore di moto ondoso**

L'impianto sperimentale è costituito da un canale per moto ondoso con le pareti di cristallo e fondo di plexiglass, sostenute da una serie di telai in ferro posti ad una distanza reciproca di circa 44

cm. Il canale è largo 100 cm, alto 120 cm e lungo circa 45 m. La struttura è sufficientemente robusta da limitare le deformazioni conseguenti al riempimento e svuotamento entro pochi decimi di millimetro.

Nel canale sono individuate 100 sezioni poste ad una distanza reciproca di 44 cm circa una dall'altra. Le sezioni sono state numerate a partire dalla berma di riva fino al generatore del moto ondoso. Il fondo del canale è orizzontale dalla sezione 100, ove si genera l'onda, fino alla sezione 72, dove inizia un profilo di spiaggia realizzato con sabbia a granulometria abbastanza uniforme con  $d_{50}=0.18$  mm.

Il moto ondoso è realizzato mediante una ventola piana, posta ad una estremità del canale, azionata mediante un cinematismo studiato in modo da imprimere un movimento di rototraslazione che meglio simuli il moto ondoso in fondali di profondità limitata. Gli spostamenti del cinematismo, e quindi della ventola, sono ottenuti con un circuito oleodinamico comandato da un segnale elettrico (Lamberti et al., 1988).

Le misurazioni del profilo della superficie libera sono state eseguite mediante una sonda resistiva collegata ad un calcolatore di processo.

La temperatura nel canale è stata misurata con un termometro digitale che consente di valutare il decimo di grado Celsius.

## 2.2. Sistema di generazione del getto

L'indagine sperimentale è stata effettuata analizzando getti di quantità di moto sommersi ad asse verticale effluenti da una luce posta a 16.7 cm dal fondo del canale. Tale distanza, al di fuori dello strato limite di fondo, consente di evitare di effettuare le misurazioni in una zona molto vicina al fondo stesso, dove la concentrazione di sabbia, eventualmente presente, può essere troppo elevata. Per quanto attiene lo spessore dello strato limite al fondo del canale ( $\delta$ ) si può utilizzare la formula  $\delta=2(\nu T\pi)^{0.5}$ , in cui  $\nu$  è la viscosità cinematica dell'acqua e  $T$  è il periodo d'onda (Ragone, 1983). Tale formula fornisce un valore di 5.01 mm, 4.24 mm e 3.54 mm per frequenze del moto ondoso, utilizzate nell'ambito di questo studio, rispettivamente di 0.5 Hz, 0.7 Hz e 1.0 Hz.

Per la generazione del getto sommerso è stato realizzato un apposito impianto; questo, nelle sue parti essenziali, è costituito da un ugello di forma e dimensioni che è possibile variare opportunamente. L'alimentazione dell'ugello è realizzata utilizzando una vasca di carico, di dimensioni in pianta 1.30x0.50 m<sup>2</sup> ed altezza 0.50 m, dotata di un sistema di sfioro che consente di mantenere un carico costante al di sopra della luce di efflusso. Una seconda vasca, di dimensioni in pianta 1x1 m<sup>2</sup> ed altezza 1 m, disposta alla quota zero di riferimento, viene impiegata, durante lo svolgimento delle prove, per l'alimentazione della vasca di carico mediante sollevamento meccanico. Per entrambe le vasche sono stati realizzati dei sistemi di scarico di troppo pieno e di scarico di fondo. Lo scarico di troppo pieno della vasca di carico immette l'acqua nella vasca di alimentazione. L'ugello utilizzato nel presente studio era di forma tronco-conica con diametro all'uscita  $D=2.1$  mm.

L'ugello è posto su un tratto orizzontale del fondo, ad una distanza di 11 m dal generatore del moto ondoso e di 34 m dalla linea di riva, ove non è presente il profilo sabbioso della spiaggia. Tale posizione è considerata ottimale sia per evitare gli effetti legati alle condizioni al contorno tipiche della sezione in cui è presente il generatore del moto ondoso, sia al fine di evitare una eccessiva concentrazione di sabbia in sospensione, propria delle sezioni *onshore*, ove è presente un profilo di spiaggia.

La misura della portata immessa è realizzata attraverso l'uso di un flussimetro.

La temperatura dell'acqua immessa è stata misurata con il termometro digitale di cui si è parlato nel par. 2.1.

### 2.3. Sistema LDA

Il sistema LDA, descritto in un precedente lavoro (*Damiani e Mossa, 1996*), nelle sue linee essenziali è costituito da una sorgente laser Ar-Ion Coherent Innova serie 70 di potenza 5 Watt, raffreddata ad acqua. Esso è del tipo a fibre ottiche, in modalità *backscattering*, bidimensionale a quattro raggi, con lunghezze d'onda di 488.0 nm e 514.5 nm.

Il processore di segnale è un 58N40 FVA Enhanced della Dantec, comprensivo di una scheda per la seconda dimensione.

L'acquisizione dei dati è realizzata con il software Floware della Dantec Measurement Technology.

Il sistema di acquisizione è in grado, attraverso una scheda di conversione A/D della Keithley Metrabyte modello DAS 50/4, di acquisire, contemporaneamente alle due componenti di velocità, le uscite analogiche provenienti da quattro trasduttori. L'intero sistema è assistito da un calcolatore di processo.

### 3. CONFIGURAZIONI ANALIZZATE

Nel presente lavoro, per brevità, si presentano solo alcuni risultati di una ricerca sperimentale condotta nell'ambito dell'VIII Ciclo del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica per l'Ambiente e il Territorio, con sede amministrativa l'Università della Calabria - Cosenza e sedi consorziate il Politecnico di Bari, l'Università della Basilicata - Potenza e l'Università di Salerno (*Mossa, 1996*).

Il programma delle prove sperimentali è consistito nell'analisi del campo di moto di un getto in acqua ferma (configurazione A), nell'analisi del solo campo di moto ondoso (configurazione B) del tipo che avrebbe successivamente interagito con il getto e, infine, nell'analisi dei getti interagenti con campi di moto ondoso con diverse frequenze (configurazioni C, D ed E).

Tale programma è stato messo a punto al fine di una comparazione tra i getti in acqua ferma e quelli interagenti con un campo di moto ondoso. Inoltre, per una oggettiva valutazione del tipo di onde generate in canaletta, è stata effettuata un'analisi sperimentale del solo campo di moto ondoso (*Mossa, 1996; Damiani e Mossa, 1996*). Si ritiene che tale modo di procedere renda più obiettive le conclusioni della ricerca svolta.

Le prove, come si è detto, sono state condotte con un ugello di diametro  $D=2.1$  mm, la cui sezione di uscita era posta a distanza 16.7 cm dal fondo. Tutte le prove sono state effettuate con una profondità dell'acqua in canale  $h=80$  cm, una portata di efflusso  $Q_0=80.0$  l/h, una velocità di efflusso  $U_0=6.42$  m/s e un numero di Reynolds  $Re=13482$ ; quest'ultimo parametro consente di poter classificare i getti

analizzati come turbolenti, secondo *Fisher et al. (1979)*.

Nelle tabb. I e II, per le configurazioni con presenza di moto ondoso, sono riportate l'altezza d'onda ( $H$ ), la lunghezza

d'onda ( $L$ ), il periodo ( $T$ ), i parametri  $H/L$ ,  $h/L$ ,  $h/(gT^2)$ ,  $H/(gT^2)$ , il numero di Ursell ( $U$ ), la velocità caratteristica  $\bar{V}_{max}$ , definita come il massimo valore assunto dalla componente orizzontale di velocità del campo di moto ondoso in corrispondenza del fondo, e la scala delle lunghezze  $Z_M=(Q_0U_0)^{1/2}/\bar{V}_{max}$ , che rappresenta la distanza dall'ugello oltre la quale è dominante l'effetto del campo di moto ondoso sulla quantità di moto del getto.

Tab. I

Serie	Campo di moto	H [cm]	L [m]	T [sec]	H/L	h/L
B	Moto ondoso	7.3	5.10	2.00	0.014	0.16
C	Getto con moto ondoso	4.20	5.10	2.00	0.0082	0.16
D	Getto con moto ondoso	4.40	3.05	1.43	0.014	0.26
E	Getto con moto ondoso	4.13	1.56	1.00	0.027	0.51

Tab. II.

Serie	Campo di moto	$h/(gT^3)$	$H/(gT^2)$	$U=HL^2/h^3$	$\bar{V}_{max} = \frac{(gHT)/(2L \cosh(2\pi h/L))}{[m/s]}$	$Z_{M=(Q_0 U_0)^{1/2} / \bar{V}_{max}}$ [m]
B	Moto ondoso	0.020	0.0019	3.71	0.092	-
C	Getto con moto ondoso	0.020	0.0011	2.13	0.053	0.23
D	Getto con moto ondoso	0.040	0.0022	0.80	0.038	0.32
E	Getto con moto ondoso	0.082	0.0042	0.20	0.010	1.16

Tab. III.

Serie di dati C (f=0.5 Hz)		
Sezione	Distanza dall'ugello z [mm]	Distanza dal fondo [cm]
C1	5	17.2
C2	10	17.7
C3	60	22.7
C4	110	27.7
C5	160	32.7
C6	210	37.7
C7	260	42.7

Nell'ambito delle singole prove sono state rilevate le temperature dell'acqua nella vasca di alimentazione del circuito del getto e nel canale con generatore di moto ondoso. Questo ha consentito di valutare e confrontare la densità dell'acqua nella vasca che alimenta il getto e di quella nel canale. Il confronto è particolarmente interessante al fine di valutare eventuali effetti di galleggiamento dovuti ad una differenza di temperatura. Quest'ultima è risultata al massimo di 1.4°C (per  $T_{max}=15.3^\circ\text{C}$  e  $T_{min}=13.9^\circ\text{C}$ ). Il corrispondente numero di Froude densimetrico è  $F_r=U_0/(\Delta\rho/\rho \cdot gD)^{0.5}=3330$ , con ovvio significato dei simboli.

Come evidenziato da *Pedersen (1986)*, tale valore consente di affermare che il flusso può ritenersi generato da un getto puro di quantità di moto, ossia che nel fenomeno sono

del tutto trascurabili gli effetti di galleggiamento.

Nel seguito si riporteranno alcuni risultati ottenuti per il caso dei getti interagenti con un moto ondoso. In particolare si limiterà l'analisi alle grandezze caratteristiche degli stessi in funzione della distanza dall'ugello z, alla similitudine dei diagrammi di velocità, confrontando tali risultati con quelli rilevati sullo stesso getto immerso in un campo di liquido in quiete.

Nelle tabb. III, IV e V si riportano le sezioni trasversali dei getti interagenti con un campo di moto ondoso, nelle quali sono state rilevate le componenti di velocità. Le misure sono state condotte su entrambi i lati dell'asse z per le sezioni a distanza 5 mm e 10 mm dall'ugello, al fine di verificare le condizioni di simmetria.

Tab. IV.

Serie di dati D (f=0.7 Hz)		
Sezione	Distanza dall'ugello z [mm]	Distanza dal fondo [cm]
D1	5	17.2
D2	60	22.7
D3	110	27.7

Tab. V.

Serie di dati E (f=1.0 Hz)		
Sezione	Distanza dall'ugello z [mm]	Distanza dal fondo [cm]
E1	5	17.2
E2	60	22.7
E3	110	27.7

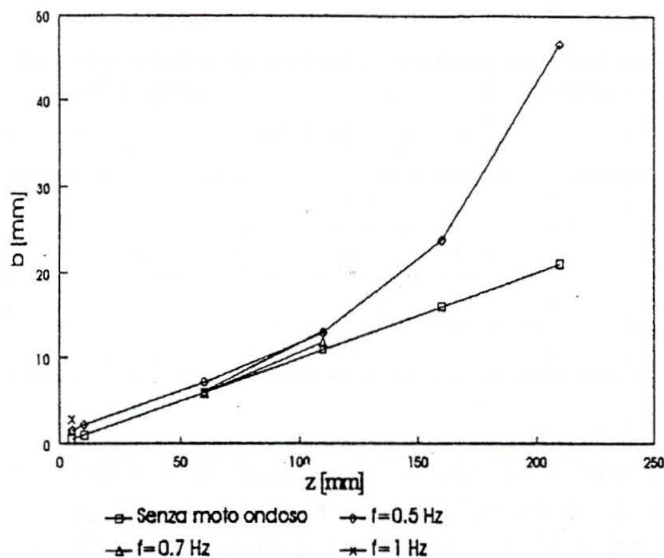


Fig. 1. Andamento della scala delle lunghezze  $b$ .

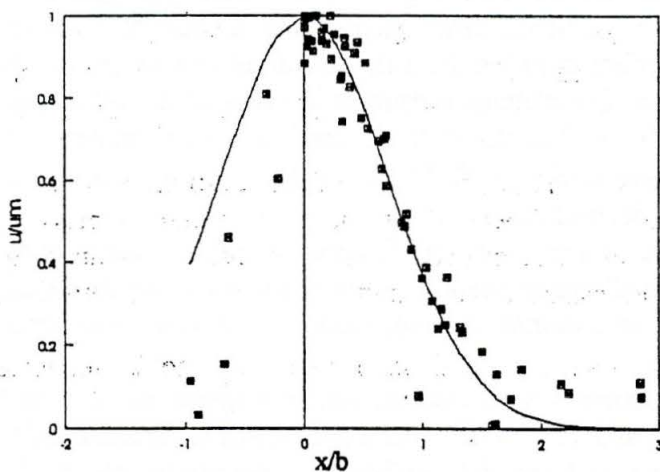


Fig. 2. Diagramma adimensionale dei profili di velocità.

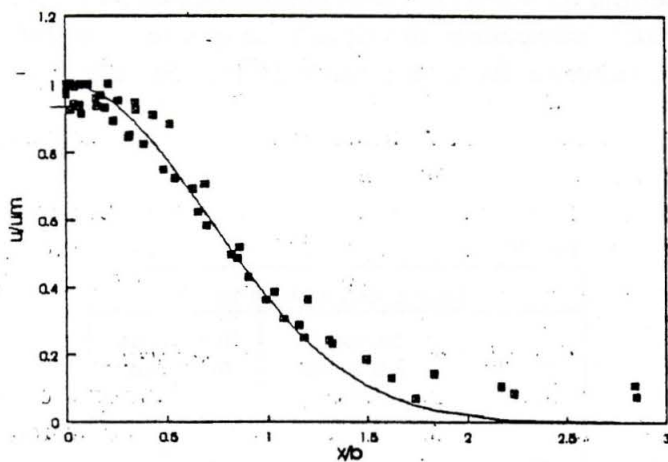


Fig. 3. Diagramma adimensionale dei profili di velocità (senza le sezioni C1 e C2).

#### 4. ANALISI DEI RISULTATI SPERIMENTALI

In fig. 1 è riportata la scala delle lunghezze trasversali  $b$  (definita come la distanza dall'asse medio del getto in corrispondenza della quale la velocità verticale media locale è uguale a  $1/e$  volte quella in asse) in funzione di  $z$ . Nel diagramma sono riportati gli andamenti per le configurazioni C, D ed E. E' inoltre riportata la curva interpolante i dati relativi al getto immesso in un campo di liquido in quiete (configurazione A). Dalla figura si nota che, per le sezioni prossime all'ugello, l'andamento della scala  $b$  è comparabile per tutte le configurazioni analizzate; viceversa, per le sezioni più distanti dall'orifizio, si nota un notevole aumento di  $b$  per i getti interagenti con le onde rispetto allo stesso getto immesso in un campo di liquido in quiete.

Inoltre, l'andamento di  $b$  relativo alla configurazione C non è di tipo lineare, come invece si verifica per il caso di immissione in acqua ferma.

Per i rilievi condotti nell'ambito di questa ricerca, è poco evidente la dipendenza di  $b$  dalla frequenza del campo di moto ondoso.

Nella fig. 2 si riporta l'andamento dei profili di velocità verticali della configurazione C, adimensionalizzati con la velocità verticale in asse  $u_m$ , in funzione della distanza dall'asse medio del getto  $x$ , adimensionalizzata con la scala delle lunghezze trasversali  $b$ .

Dalla figura si nota che i dati si addensano su un'unica curva, in analogia con quanto rilevato per il getto immesso in un campo di liquido in quiete (Mossa, 1996). I punti del diagramma di fig. 2, che non sono ben interpolati dalla relazione  $u/u_m = \exp(-x^2/b^2)$ , sono quelli delle sezioni C1 e C2 di tab. III, a distanza, rispettivamente, di 5 mm e 10 mm dall'ugello, appartenenti alla ZFE (Zone of Flow Establishment). Eliminando i suddetti punti, si nota, dalla fig. 3, che quelli rimanenti,

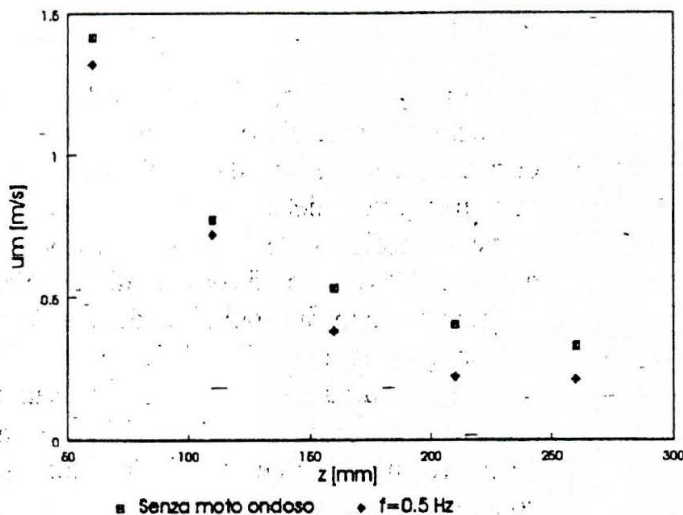


Fig. 4. Velocità verticali in asse.

5 mm e 10 mm dall'orifizio.

In fig. 4 si propone soltanto il confronto tra i dati relativi al getto effluente in un campo di liquido in quiete (configurazione A) e quelli del medesimo getto interagente con il campo di moto ondoso a frequenza 0.5 Hz (configurazione C), in quanto le configurazioni D ed E presentano un numero limitato di punti nella ZEF.

Dal diagramma si nota che i valori di velocità in asse, per il caso di un getto immerso in un campo di liquido in moto ondoso, sono sempre minori rispetto al caso dello stesso getto immerso in un campo di liquido in quiete. Tale risultato mette in evidenza che le oscillazioni di un getto interagente con un campo di moto ondoso provocano un appiattimento dei profili trasversali di velocità.

Chyan e Hwung (1993) per descrivere l'andamento di  $u_m$  hanno proposto la seguente relazione

$$\frac{u_m}{U_w} = C_w \frac{Z_w}{z} \quad (1)$$

in cui  $U_w = Hg \tanh(2\pi h/L) / (2\pi^2 h/T)$  è una scala di velocità del campo di moto ondoso, definita come la velocità orizzontale delle onde mediata su tutta la profondità ( $h$ ) e su mezzo periodo ( $T/2$ ),  $Z_w = (Q_0 U_0)^{1/2} / U_w$  è una scala di lunghezza simile a  $Z_M$ , precedentemente definita,  $C_w$  è una costante da ricavarsi sperimentalmente e con ovvio significato degli altri simboli.

In fig. 5 si riporta l'andamento delle componenti verticali di velocità in corrispondenza dell'asse medio dei getti interagenti con un campo di moto ondoso ( $u_m$ ), adimensionalizzate con  $U_w$ , in funzione di  $z/Z_w$ . L'andamento dei dati della figura, in cui vengono riportati alcuni risultati di Chyan e Hwung (1993), indica un sostanziale accordo con la legge di questi ultimi.

Nelle figg. 6 e 7 si riportano i valori degli scarti quadratici medi (*r.m.s.*) rispettivamente delle componenti verticali e orizzontali di velocità, adimensionalizzati con  $u_m$ , in funzione di  $x$  adimensionalizzata con  $b$  (configurazione C). A differenza del caso del getto immerso in un campo di liquido in quiete, i dati non si addensano su un'unica curva. La ragione di questo risultato può essere spiegato effettuando un'analisi dimensionale del fenomeno. Nel caso di un getto immerso in un campo di liquido in quiete si può scrivere la seguente relazione funzionale

$$f(r.m.s., u_m, x, b) = 0 \quad (2)$$

appartenenti alla zona di flusso completamente sviluppato (ZEF, Zone of Established Flow), presentano un miglior adattamento con la relazione teorica. Ciò evidenzia il diverso comportamento delle due zone del getto, in accordo con Koole e Swan (1994).

Il diagramma di fig. 4 riporta l'andamento delle velocità verticali in corrispondenza dell'asse medio del getto ( $u_m$ ) in funzione della distanza dal fondo  $z$ . Si osserva che i dati riportati in figura si riferiscono alla ZEF; sono stati eliminati, dunque, i punti rappresentativi delle componenti verticali di velocità sull'asse medio relative alle sezioni poste a distanza



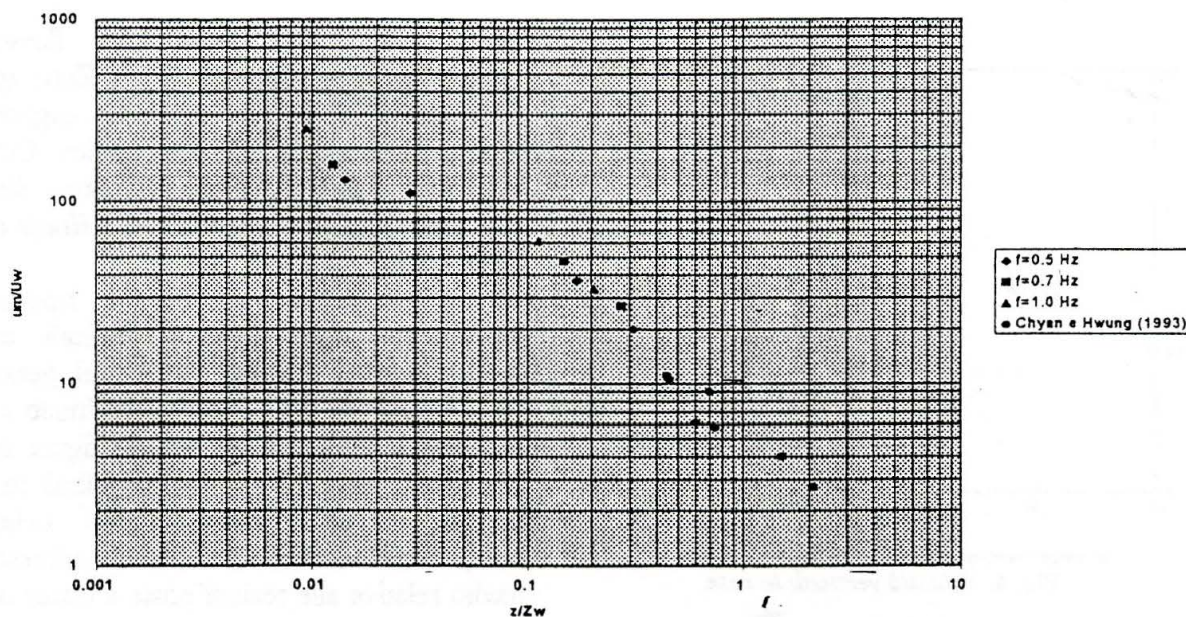


Fig. 5. Diagramma adimensionale di  $u_m$  secondo Chyan e Hwung (1993).

con ovvio significato dei simboli. Applicando il teorema di Buckingham, si ottiene

$$\frac{r.m.s.}{u_m} = g\left(\frac{x}{b}\right). \quad (3)$$

I dati sperimentali relativi alla ZEF del getto immesso in acqua ferma confermano la validità della (3), in quanto gli andamenti degli *r.m.s.* adimensionalizzati in funzione di  $x/b$  si addensano su un'unica curva (Mossa, 1996).

Per il caso dei getti immessi in un campo di liquido in moto ondoso, si può scrivere la seguente relazione funzionale

$$f(r.m.s., u_m, U_{mo}, x, b) = 0 \quad (4)$$

avendo ora indicato con  $U_{mo}$  una velocità caratteristica delle onde con cui il getto interagisce. In particolare, si è posto  $U_{mo}$  uguale al massimo valore di velocità verticale del moto ondoso analizzato, al variare della distanza dal fondo. Applicando il teorema di Buckingham, si ha

$$\frac{r.m.s.}{u_m} = g\left(\frac{x}{b}, \frac{u_m}{U_{mo}}\right). \quad (5)$$

Si osserva che nel caso dei getti interagenti con un campo di moto ondoso, gli *r.m.s.* sono legati sia alle fluttuazioni dovute alla turbolenza sia alle fluttuazioni periodiche dovute al campo di moto dell'ambiente esterno (Hussain e Reynolds, 1970). La precedente relazione mette in evidenza che, nel caso dei getti interagenti con un campo di moto ondoso, interviene il parametro adimensionale  $u_m/U_{mo}$ . Questo risultato è avallato dai dati riportati nelle figg. 6 e 7, in cui si osserva che le singole curve possono essere parametrizzate in funzione di  $u_m/U_{mo}$ . Dagli stessi diagrammi si nota che, per le sezioni particolarmente distanti dall'ugello, la dipendenza di  $r.m.s./u_m$  da  $u_m/U_{mo}$  è più marcata rispetto alle sezioni più vicine ad esso. Ciò conferma che la relazione funzionale (5) ben interpreta i dati relativi alle sezioni ove non si risente delle condizioni iniziali del getto. Tale

conclusione appare logica, se si osserva che con l'aumentare della distanza dall'ugello le fluttuazioni di velocità sono prevalentemente dovute al campo di moto ondoso.

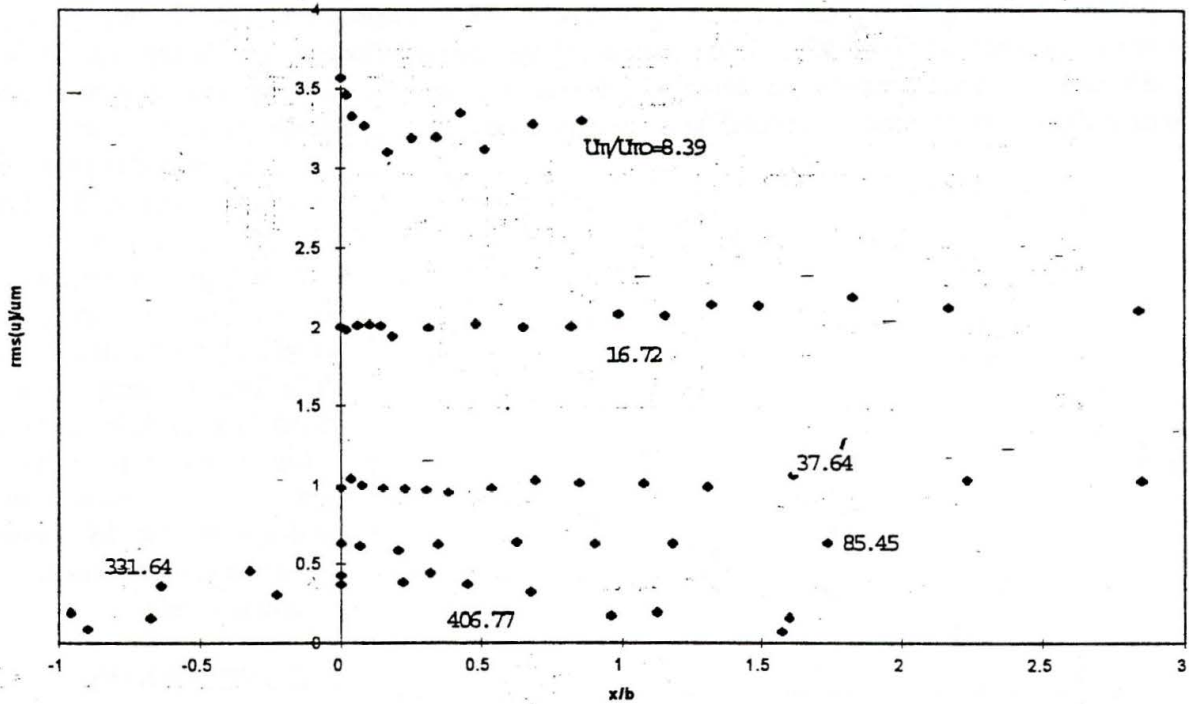


Fig. 6. r.m.s. della componente verticale di velocità.

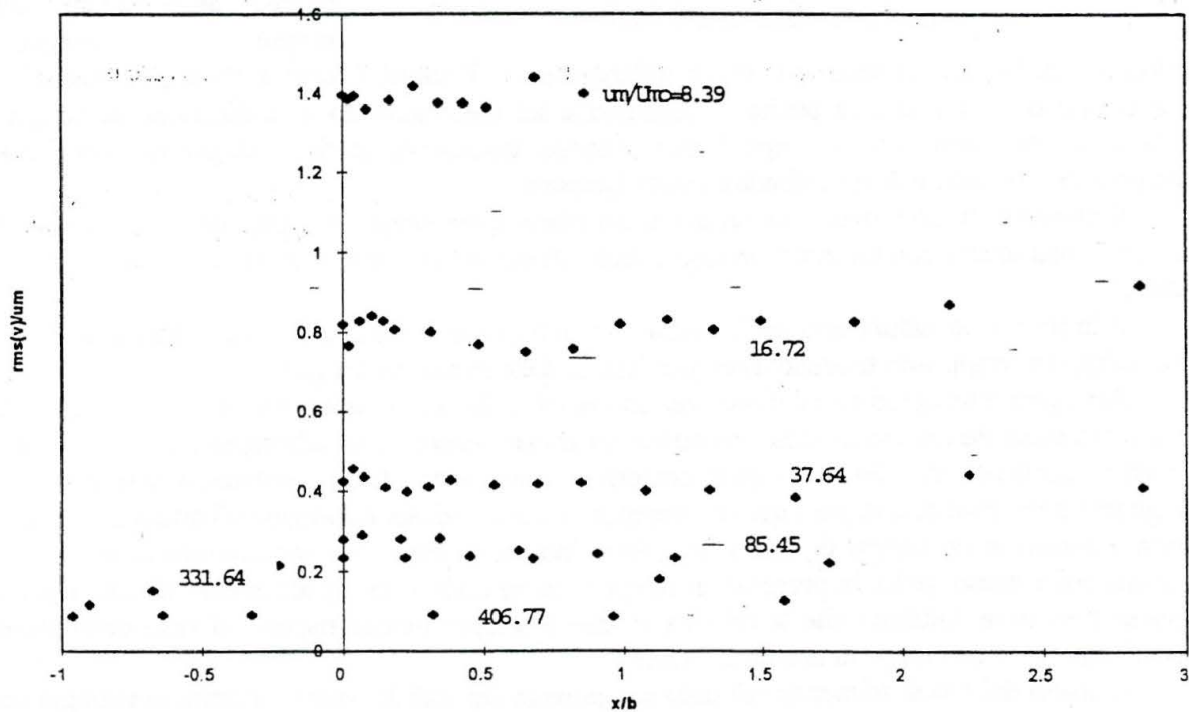


Fig. 7. r.m.s. della componente orizzontale di velocità.

In fig. 8 si riporta l'andamento delle portate in ogni sezione trasversale ottenute per integrazione dei profili delle velocità medie verticali. Dalla figura si nota che per le sezioni prossime all'ugello le portate sono comparabili a quelle del getto immesso in un campo di liquido in quiete. Viceversa, per le sezioni più distanti dall'orifizio, si osserva un incremento delle portate abbastanza significativo per i getti in presenza di moto ondoso. Ciò è in accordo con quanto trovato, sempre sperimentalmente, da Ger (1979). Tale risultato, inoltre, conforta l'ipotesi fatta da altri autori (Chin, 1988) che, nei modelli matematici lagrangiani da essi proposti, utilizzano, nel caso di getti immessi in un campo di moto ondoso, un coefficiente di intrusione forzato in aggiunta a quello classico.

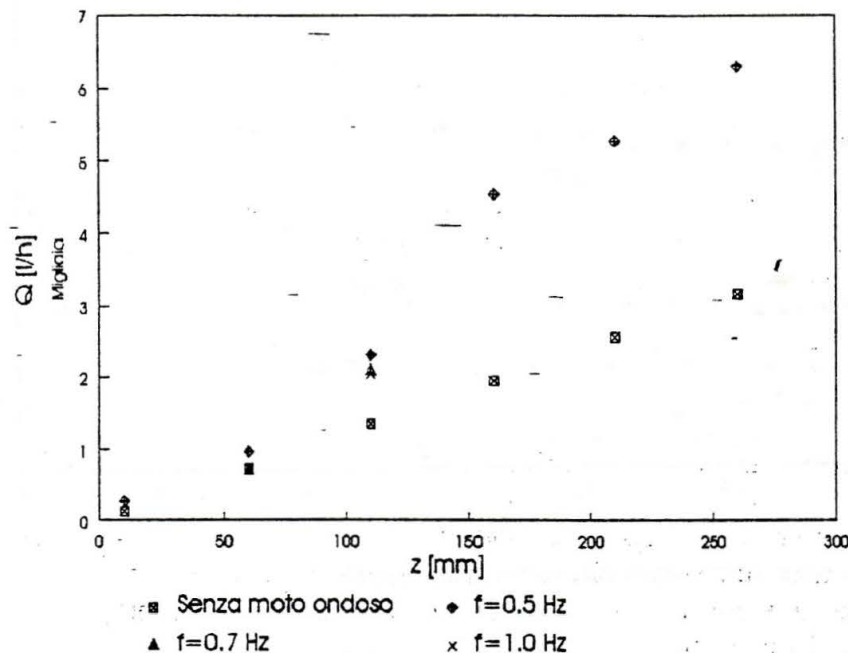


Fig. 8. Andamento delle portate.

Il comportamento, per le sezioni prossime all'orifizio, è dovuto al fatto che, per tali sezioni, i getti interagenti con le onde mantengono la loro identità, per così dire, in virtù della loro rigidità. A causa di ciò, la scala delle lunghezze  $b$  (fig. 1) e le portate (fig. 8) sono sostanzialmente analoghe al caso dello stesso getto immesso in un campo di liquido in quiete.

## 5. CONCLUSIONI

L'impiego di scarichi a mare delle acque reflue ha trovato negli ultimi anni sempre maggiore

utilizzazione. Numerose sono le ricerche sull'argomento. Tuttavia, Chyan e Hwung (1993) hanno evidenziato che sono ancora poche le conoscenze sul mescolamento e la diluizione di un getto turbolento interagente con un campo di moto ondoso, auspicando ulteriori indagini su modelli fisici che possano consentire di approfondire questa tematica.

Il presente studio è rivolto ad un'analisi dei rilievi sperimentali dei campi di moto generati da un getto interagente con un moto ondoso e dallo stesso getto immesso in un campo di liquido in quiete.

Allo scopo, nel laboratorio del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, si è realizzato un'apposito modello fisico per l'analisi della diffusione dei getti.

Per i getti interagenti con il moto ondoso i rilievi delle componenti verticali di velocità, in una analisi euleriana del campo di moto, mostrano un appiattimento ed un allargamento dei diagrammi rispetto a quelli rilevati sullo stesso getto immesso in acqua ferma. Ciò è confermato dalla scala delle lunghezze trasversali  $b$ , che, per i getti in presenza di moto ondoso, è maggiore di quella dello stesso getto immesso in un campo di liquido in quiete. Inoltre, i rilievi della componente verticale della velocità sullo stesso getto, in presenza di campi di moto ondoso di uguale altezza d'onda, ma con diverse frequenze, indicano che la velocità in asse è sempre minore rispetto al caso dello stesso getto immesso in un campo di liquido in quiete.

L'analisi dei profili adimensionali delle componenti verticali di velocità mostra, in analogia con il caso dei getti immessi in un campo di liquido in quiete, una differenza di comportamento tra le sezioni della ZFE e quelle della regione di flusso completamente sviluppato (ZEF). In particolare, i

dati di velocità relativi alla ZEF, opportunamente adimensionalizzati, si addensano intorno ad un'unica curva.

L'andamento delle componenti verticali di velocità in corrispondenza dell'asse medio dei getti interagenti con un campo di moto ondoso ( $u_m$ ), adimensionalizzate con  $U_w$ , in funzione di  $z/Z_w$  presenta un sostanziale accordo con i dati sperimentali di Chyan e Hwung (1993).

Per quanto attiene lo scarto quadratico medio delle componenti di velocità (r.m.s.), a differenza del caso di un getto immesso in acqua ferma, gli andamenti nelle diverse sezioni non si addensano intorno ad un'unica curva, ma sono parametrizzabili con un numero indice definito come il rapporto tra la velocità in asse del getto e la massima velocità verticale di moto ondoso nella sezione in analisi. Questo risultato conferma l'influenza del moto ondoso sul processo di diffusione.

La portata, calcolata per integrazione delle componenti verticali di velocità, presenta un'andamento crescente in funzione della distanza dall'ugello. Inoltre, i valori delle portate in tutte le sezioni trasversali sono marcatamente maggiori rispetto a quelli relativi allo stesso getto immesso in acqua ferma.

Ciò è in accordo con quanto trovato, sempre sperimentalmente, da Ger (1979). Tale risultato, inoltre, conforta l'ipotesi fatta da altri autori (Chin, 1988) che, nei modelli matematici lagrangiani da essi proposti, utilizzano, nel caso di getti immessi in un campo di moto ondoso, un coefficiente di intrusione forzato in aggiunta a quello classico.

## BIBLIOGRAFIA

- Abraham G. (1963), *Jet diffusion in stagnant ambient fluid*, Delft Hydraulics Publication No. 29, Delft, The Netherlands.
- Benfratello G. (1988), *Scarichi sottomarini; aspetti idraulici: fenomeni di diffusione*, A.I.I. Sez. Campania; Convegno sul tema: Immissione di acque reflue in mare, maggio.
- Biggiero V. (1974), *Diffusione a mare da scarichi profondi*, Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia, quaderno n. 90.
- Calabrese M., Di Natale M. (1992), *Indagine sperimentale sulla diffusione in mare di getti di densità profondi*, XXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Firenze, settembre.
- Calabrese M., Di Natale M. (1994), *Diffusione di un getto liquido sommerso in presenza di un moto ondoso stazionario*, XXIV Conv. di Idr. e Costr. Idrauliche, Napoli, settembre 20-22.
- Chin D.A. (1987), *Influence of surface waves on outfall dilution*, ASCE, Jour. of Hydr. Eng., Vol. 113, No. 8, August.
- Chin D.A. (1988), *Model of buoyant-jet-surface-wave interaction*, ASCE, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 114, No. 3, May.
- Chyan J.M., Hwung H.H., Chang Y.H. (1991), *Wave effects on the mean flow characteristics of turbulent round jets*, Environmental Hydraulics, Lee & Cheung (eds), Balkema, Rotterdam.
- Chyan J.M., Hwung H.H. (1993), *On the interaction of a turbulent jet with waves*, IAHR, Jour. of Hydr. Res., Vol. 31, no. 6.
- Citrini D. (1946), *Ricerca sperimentale sulla diffusione di una vena liquida effluente in un campo di liquido in quiete (prime serie di prove)*, L'Energia Elettrica, agosto.
- Citrini D. (1946), *Diffusione di una vena fluida effluente in campo di fluido in quiete (premessa ad una ricerca sperimentale)*, L'Energia Elettrica, vol. XXIII, aprile.
- Damiani L., Mossa M. (1996), *Indagine sul campo di moto di un'onda regolare*, Giornate di Studio in Ricordo di Mario Ippolito, Napoli, 16-17 maggio.
- Di Natale M. (1989), *Influenza del moto ondoso e delle correnti sulla diluizione iniziale di acque reflue in mare scaricate in mare*, A.I.I. Sezione campana convegno sul tema: immissione di acque reflue in mare, Ischia, 10-12 maggio.

- Di Natale M. (1990), *Diluizione nella fase di risalita di un getto sottomarino in presenza di moto ondoso*, XXII Conv. Idraulica e Costr. Idrauliche, Cosenza, 4-7 ottobre.
- Di Silvio G. (1970), *Indagine sperimentale sulle condizioni di similitudine di grossi getti liquidi liberamente effluenti*, L'Energia Elettrica, n.5.
- Fan L.N., Brooks N.H. (1969), *Numerical solutions of turbulent buoyant jet problems*, report No. KH-R-18, W.M. Keck Lab. of Hydr. and Water Resour., California Institute of Technology, Pasadena, Calif.
- Fisher H.B. et al. (1979), *Mixing in inland and coastal waters*, Academic Press.
- Ger A.M. (1979), *Wave effects on submerged buoyant jets*, Proc. 18th Congress Int. Ass. Hydr. Res.
- Hussain K.M.F., Reynolds W.C. (1970), *The mechanics of an organized wave in turbulent shear flow*, Jour. of Fluid Mech., Vol. 41, part 2.
- Koole R., Swan C. (1994), *Measurements of a 2-D non-buoyant jet in a wave environment*, Coastal Engineering 24.
- Lamberti A., Petrillo A., Ranieri M. (1988), *Sulla generazione ed il rilievo di onde casuali in canaletta bidimensionale*, Idrotecnica, n. 1, gennaio-febbraio.
- Mossa M. (1996), *Diffusione di un getto in un campo di liquido in quiete o in moto ondoso*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica per l'Ambiente e il Territorio (VIII ciclo), consorzio: Università della Calabria - Cosenza, Politecnico di Bari, Università della Basilicata - Potenza, Università di Salerno.
- Papanicolaou P.N., List E.J. (1988), *Investigation of round vertical turbulent buoyant jets*, J. Fluid Mech., Vol. 195.
- Pedersen F.B. (1986), *Environmental hydraulics: stratified flows - lecture notes on coastal and estuarine studies*, Springer Verlag, Berlino, Germania.
- Petrillo A. (1985), *Analisi delle fluttuazioni di pressione sul fondo di una vasca di smorzamento di getti circolari*, Idrotecnica, n.3, maggio-giugno.
- Petrillo A. (1988), *Diffusione di getti d'acqua circolari turbolenti in aria*, L'Energia Elettrica, n.5, Vol. LXV.
- Petrillo A. (1988), *Azioni idrodinamiche generate da getti d'acqua circolari aerati sul fondo di vasche di dissipazione*, XXI Conv. di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.
- Ragone A. (1983), *Rilievo con anemometro laser Doppler delle caratteristiche cinematiche delle particelle in un processo di moto ondoso*, Simposio sull'anemometria laser Doppler nella sperimentazione idraulica, Roma, ottobre 17/18.
- Rajaratnam N. (1976), *Turbulent jets*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Shuto N., Ti L.H. (1974), *Wave effects on buoyant plumes*, proc. 14th Coastal Eng. Conf.
- Winiarski L.D., Frick W.E. (1978), *Methods of improving plume models*, Presented at Conf. on Cooling Tower Environ., Univ. of Maryland, College Park, Md.
- Wygansky I., Fiedler H. (1969), *Some measurements in the self-preserving jet*, J. Fluid Mech., Vol. 38.