

Diffusione di getti di densità in presenza di corrente su fondale liscio e corrugato

Mouldi BEN MEFTAH¹, Daniela MALCANGIO² e Michele MOSSA³

- 1 Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica, Politecnico di Bari, m.ben.meftah@poliba.it
2 Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica, Politecnico di Bari, d.malcangio@poliba.it
3 Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente e per lo Sviluppo Sostenibile, Politecnico di Bari, mossam@poliba.it

SOMMARIO: Riconosciuta la necessità e l'importanza di uno studio teso alla comprensione della dinamica delle correnti, finalizzato alla diffusione di inquinanti, presso il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (L.I.C.) del DIAC del Politecnico di Bari è stato realizzato un modello fisico per lo studio di getti di densità in presenza di correnti. Il flusso all'interno del canale sperimentale consente di simulare le correnti marine, mentre il getto di densità, che è stato immesso in esso attraverso un orifizio di forma circolare di diametro pari a 5 mm posizionato sul fondo del canale, è stato realizzato utilizzando acqua ad una temperatura superiore a quella del corpo idrico recettore, fissata dall'operatore e controllata da un PC di processo. Le configurazioni analizzate sono quelle di getti di densità immessi trasversalmente alla corrente presente nel canale, in presenza di fondale liscio e corrugato (la scabrezza è stata realizzata mediante pannelli di forma sinusoidale). Lo scopo principale dello studio volge all'individuazione dell'effetto della scabrezza del fondale sulla struttura del getto di densità.

1. INTRODUZIONE

La conoscenza approfondita della circolazione oceanica e costiera è fondamentale per la comprensione di una serie di processi ad essa strettamente correlati, tra cui i processi di diffusione e avvezione di inquinanti. La diffusione di inquinanti in mare non è legata solo alle acque reflue delle civili abitazioni, ma anche, per esempio, alle acque utilizzate negli scambiatori di calore e successivamente scaricate in mare a temperatura maggiore del corpo idrico recettore. Si pensi, per esempio, al caso della presa dell'acqua di mare utilizzata dalle centrali termiche o, in generale, da industrie per processi di raffreddamento e successivamente scaricata in mare a temperatura sensibilmente maggiore di quella di prelievo. I getti di densità turbolenti costituiscono un effettivo meccanismo per raggiungere una maggiore diluizione iniziale in maniera da minimizzare l'effetto dello scarico sull'ambiente, poiché essi introducono un elevato volume di fluido ambiente e lo mescolano al fluido riversato. Benché in letteratura i getti di densità immessi in corpi idrici recettori ipotizzati in condizione di quiete siano stati ampiamente trattati, in realtà il fluido ambiente non è generalmente fermo e il suo campo di moto accresce solitamente il fenomeno della diluizione, provocando, altresì, una forte modifica del campo di moto dei getti. Un ulteriore fattore che potrebbe favorire la diluizione è la turbolenza del corpo idrico recettore, che interagisce con quella del getto. Lo scopo principale del presente studio, tra gli altri, è stato quello di dedurre l'influenza della turbolenza generata dalle irregolarità del fondale sulla struttura dei getti turbolenti tridimensionali e sulla loro diluizione. I campi della velocità e della temperatura sono stati determinati a differenti livelli verticali, si da ottenere la struttura spaziale del profilo della velocità e della temperatura del getto di densità. Come risultato, si è ottenuta una buona visione della diversa distribuzione del getto di densità nell'ambiente, dipendente dalle varie configurazioni (fondo liscio e tre tipi di fondo scabro) e dalla presenza della turbolenza circostante.



Figura 1. Vista da valle del canale.

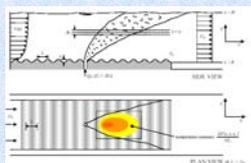


Figura 2. Diagramma schematico della messa in opera dei pannelli sinusoidali sul fondo del canale.

2. APPARATO SPERIMENTALE

Il modello fisico per lo studio dei getti di densità turbolenti verticali è stato realizzato presso il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del DIAC, Politecnico di Bari. Esso è costituito essenzialmente da:

- un canale in acciaio (15m x 4m x 0.40m) con base e pareti laterali in vetro attraversato da un flusso di acqua a temperatura ambiente (fig. 1);
- un tubo coibentato di sezione circolare ($D = 5.0$ mm), posizionato sul fondo del canale e a 40 mm dallo stesso lungo la sua sezione assiale longitudinale, per l'immissione del getto di densità;
- un sistema termo-idraulico per la generazione, la regolazione e la misurazione dello scarico termico nel canale (fig. 3);
- un sistema di interfaccia Input/Output ed un PC di processo;
- due flussometri elettromagnetici per la misura della portata nel canale;
- una elettro-pompa centrifuga Flygt per instaurare il circuito idraulico nel canale;
- tre differenti tipi di superfici plastiche corrugate, di forma sinusoidale ("lunghezza d'onda" λ e "ampiezza" ϵ), posizionate sul fondo del canale (fig. 2);
- il sistema Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) per la misura della velocità, insieme al software CollectV per l'acquisizione dei dati e al software ExploreV per una loro analisi;
- otto termocoppie per la misurazione della temperatura del flusso del getto di densità.

Test	Q_0 (m³/s)	ΔT_0 (°C)	λ (mm)	ϵ (mm)	U_0 (m/s)	U_0 (m/s)
T1	1.6	25	0	0	3.78-5	2.16-4
T2	1.6	35	0	0	3.78-5	3.16-4
T3	2.3	35	0	0	3.78-5	3.16-4
T4	2.3	25	0	0	3.78-5	3.16-4
T5	2.3	25	76	18	3.78-5	3.16-4
T6	2.3	25	76	18	3.78-5	3.16-4
T7	1.6	25	76	18	3.78-5	3.16-4
T8	1.6	35	76	18	3.78-5	3.16-4
T9	1.6	25	140	40	3.78-5	3.16-4
T10	1.6	35	140	40	3.78-5	3.16-4
T11	2.3	25	140	40	3.78-5	3.16-4
T12	2.3	35	140	40	3.78-5	3.16-4
T13	2.3	25	177	51	3.78-5	3.16-4
T14	2.3	35	177	51	3.78-5	3.16-4
T15	1.6	35	177	51	3.78-5	3.16-4
T16	1.6	25	177	51	3.78-5	3.16-4

Tabella 1. Sommario delle configurazioni sperimentali adottate.



Figura 3. Sistema termo-idraulico per la produzione dei getti di densità.

3. RISULTATI SPERIMENTALI

3.1 Campo medio delle velocità

Le figg. 4 e 5 si riferiscono ai risultati sperimentali del campo medio delle velocità lungo il piano longitudinale, con riferimento allo stesso getto immesso nel canale con fondale liscio e fondale scabro rispettivamente, essendo x l'asse orizzontale con origine nel punto baricentrico dell'ugello e z l'asse verticale con origine sul fondo del canale. Il risultato caratteristico che si è raggiunto con tali esperimenti di laboratorio è il diverso comportamento che lo stesso getto assume in corrispondenza dei diversi fondali. Infatti, qualora il fondo del canale è liscio (fig. 4), i vettori delle velocità risultano essere maggiormente devianti dalla corrente nella direzione orizzontale, a differenza del caso in cui sono presenti le superfici ondulate (fig. 5). Inoltre, all'aumentare dei valori dei parametri caratteristici dei pannelli (λ ed ϵ), la traiettoria del getto e, dunque le sue componenti di velocità, presentano una direzione più prossima alla verticale, come se la forma ondulare del pannello proteggesse il getto dall'effetto della corrente.



Figura 4. Campo medio delle velocità lungo il piano longitudinale centrale del canale per il test T2.

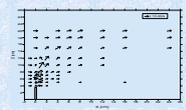


Figura 5. Campo medio delle velocità lungo il piano longitudinale centrale del canale per il test T8.

3.2 Campo medio delle temperature

I risultati sperimentali ottenuti si riferiscono al campo medio di temperatura θ , in particolare, all'eccesso di temperatura adimensionalizzato $\Delta T/\Delta T_0$, dove ΔT rappresenta la differenza tra la temperatura media nel punto misurato e la temperatura media ambientale. Le misurazioni sono state condotte a differenti distanze dal fondo e dalla sezione di uscita del getto. Le figg. 6 e 7 mostrano, a titolo di esempio, i profili degli eccessi di temperatura del flusso idrico nella sezione centrale longitudinale del canale, che coincide con la sezione di simmetria del getto di densità, relativi agli esperimenti T2 e T8, caratterizzati dal medesimo getto e di cui si sono presentate, in precedenza, le componenti medie di velocità. La dipendenza dei risultati dalla scabrezza sul fondo del canale è evidente confrontando la fig. 6, relativa alle condizioni di fondo liscio, con la fig. 7, che si riferisce ad una configurazione con fondale scabro (si veda la tabella 1). Ancora una volta, si nota come il profilo del getto sia più prossimo a quello verticale nel caso di fondo scabro.



Figura 6. Campo medio di $\Delta T/\Delta T_0$ lungo il piano longitudinale centrale del canale per il test T2.

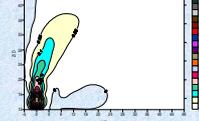


Figura 7. Campo medio di $\Delta T/\Delta T_0$ lungo il piano longitudinale centrale del canale per il test T8.

3.3 Traiettorie dei getti di densità

Per diagrammare la traiettoria del getto, si sono riportati i punti a cui corrisponde il maggiore eccesso di temperatura nei diagrammi tipo quelli delle figg. 6 e 7, aventi per ascisse il rapporto x/D e per ordinate il rapporto z/D , essendo z l'asse verticale. Come si evince chiaramente dalla fig. 8a, tutte le traiettorie hanno lo stesso andamento dal fondo fino ad una certa altezza. Successivamente, le stesse si differenziano per effetto delle diverse condizioni idrauliche iniziali del getto e della corrente nel canale. Per meglio evidenziare l'effetto della scabrezza sulla struttura del getto, in fig. 8b vengono riportati i risultati ottenuti per soli 4 esperimenti, per i quali si sono mantenute costanti le condizioni iniziali del getto e della corrente e si è variata solo la superficie corrugata del fondo del canale. Appare evidente, confrontando i risultati del test T2, per il quale si è adottata la configurazione di fondo liscio, con le altre tre traiettorie relative al caso di fondo scabro, come tale scabrezza influenzi fortemente la penetrazione del getto. È noto in letteratura che i getti di densità hanno un comportamento simile a quello di un getto puro in prossimità dell'ugello, dove prevale l'effetto della quantità di moto, e simile a quello di una piuma, con prevalenza del galleggiamento, lontano dalla sezione di uscita. Considerando, dunque, la prima regione, per cui è possibile trascurare l'effetto del galleggiamento del getto di densità, la teoria (Pratte e Baines, 1967) definisce la traiettoria del getto stesso mediante l'equazione

$$\frac{z}{Dr} = 2.05 \left(\frac{x}{Dr} \right)^{0.28} \quad (1)$$

essendo D il diametro del getto ed r il rapporto tra la velocità di uscita del getto U_0 e la velocità del campo di moto uniforme esterno U_a ($r = U_0/U_a$). La fig. 9a mostra che, per tutte le configurazioni in cui il canale è con fondo liscio, i dati sperimentali rispettano a sufficienza la legge teorica sopra richiamata, pur essendo getti di densità. Per le configurazioni caratterizzate da fondale scabro (si veda la fig. 9b), i dati sperimentali presentano uno scostamento dalla legge teorica valida per getti puri, imputabile all'effetto di galleggiamento e di fondale scabro non previsto dall'equazione (1), ponendosi sempre sensibilmente al di sopra di essa.

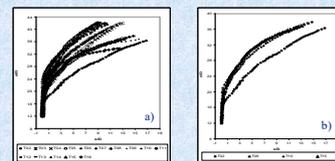


Figura 8. Diagramma dimensionale dell'asse del getto a) per tutti gli esperimenti eseguiti; b) per i test T2, T8, T10 e T15.

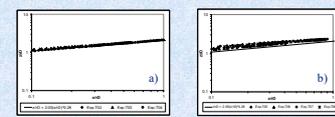


Figura 9. Confronto tra risultati teorici dati dall'equazione (1) e risultati sperimentali b) per la configurazione a fondo liscio; a) per la configurazione a fondo scabro ($\lambda=76$ mm ed $\epsilon=18$ mm).

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro l'attenzione è stata diretta al comportamento di un getto di densità in presenza di corrente trasversale all'asse del getto stesso e con fondale liscio o scabro. Lo scopo principale è stato quello di verificare l'influenza della turbolenza generata dal fondale scabro, effettivamente quasi sempre presente nelle reali condizioni di immissione, sulla diffusione degli scarichi in mare. Mediante un complesso modello fisico è stato possibile riprodurre getti di densità, differenti in portata e temperatura, in diverse configurazioni di fondo liscio e scabro. L'indagine è stata eseguita relativamente al campo medio delle velocità e delle temperature lungo il piano di simmetria del getto, coincidente con quello longitudinale centrale del canale in cui lo stesso è immesso. Tutte le indagini eseguite hanno dimostrato che la presenza del fondo scabro ha un chiaro effetto sulla struttura del getto e dunque sulla sua diffusione. L'analisi della traiettoria dei getti ha evidenziato lo scostamento della stessa dalle leggi empiriche presenti in letteratura per i getti puri.

BIBLIOGRAFIA

B.D. Pratte e W.D. Baines. Profiles of the round turbulent jets in a crossflow. Proc. ASCE, J. Hydraul. Div., 92:53-64, 1967.