



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
Dipartimento di Ingegneria Ambientale

XXVII CONVEGNO di IDRAULICA e COSTRUZIONI IDRAULICHE

Genova

12 - 15 Settembre 2000

**STUDIO DEL CAMPO DI MOTO GENERATO DA UN FRANGIMENTO
DI TIPO SPILLING**

Michele Mossa, Antonio Petrillo e Antonio Rinaldi

Estratto dal Volume IV



GNDICI

STUDIO DEL CAMPO DI MOTO GENERATO DA UN FRANGIMENTO DI TIPO SPILLING

Michele Mossa^a, Antonio Petrillo^a e Antonio Rinaldi^b

^aDipartimento di Ingegneria delle Acque, Politecnico di Bari

Via E. Orabona, 4 – 70125 BARI

^bVia Trinitapoli, 6 – 71046 SAN FERDINANDO DI PUGLIA (Foggia)

Sommario

Il presente lavoro riporta i risultati di un'indagine sperimentale sul campo di moto di un frangimento di tipo spilling generato mediante l'interposizione di un profilo alare in una corrente a pelo libero. I rilievi sono stati effettuati in un canale, presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, utilizzando un sistema bidimensionale LDA. Dall'esame dei rilievi, in accordo con quelli riportati in letteratura, si è riscontrato, a valle del profilo alare, l'esistenza di un flusso tipo strato di mescolamento, dove si presenta il frangimento spilling propriamente detto, e un flusso di scia. Nel lavoro si presentano i primi risultati della ricerca, ancora in atto presso il Dipartimento con l'uso di altra strumentazione.

Introduzione

Il frangimento di un'onda è fondamentale per molti problemi di idrodinamica costiera. È noto che la turbolenza e le correnti di undertow nella zona dei frangenti sono fattori chiave nei meccanismi di mescolamento e trasporto. Nonostante tale importanza sia unanimemente riconosciuta in letteratura, sono scarsi gli studi sistematici sul campo di moto di onde frangenti (Battjes e Sakai, 1981; Duncan, 1983).

Peregrine e Svendsen (1978) suggerirono di interpretare il frangimento di tipo spilling considerando l'intera regione turbolenta al di sotto della superficie libera, evidenziando l'importanza di una regione di flusso tipo strato di mescolamento e di una regione turbolenta al di sotto della cresta dell'onda. Banner e Peregrine (1993) osservarono che molti modelli di rappresentazione di un frangimento di tipo spilling sono estremamente elementari, poiché presentano il fenomeno come un semplice "roller".

I frangimenti di tipo spilling possono essere quelli delle onde generate da vento (cosiddetti *white caps*), in contrapposizione ai frangimenti di tipo plunging. Rimanendo nell'ambito dei frangimenti di tipo spilling, Tulin e Coite (1986) misero in evidenza una distinzione tra frangimenti di tipo spilling in acque basse (*bore*) e frangimenti di tipo spilling in acque profonde. Gli studi sperimentali sulle onde frangenti sono particolarmente difficili da condurre. Infatti, il flusso generato dal frangimento di onde di mare è in moto rispetto, ad esempio, al sistema di riferimento solidale ad un canale per moto ondoso in laboratorio. Ciò comporta grosse difficoltà per la misura delle componenti di velocità con i metodi tradizionali. Battjes e Sakai (1981), per analizzare il fenomeno, usarono un profilo alare, osservando che con tale soluzione si riesce a simulare il frangimento di tipo spilling in mare.

È noto che sussistono fondamentali differenze tra un frangimento spilling delle onde di mare ed un frangimento spilling stazionario. Tuttavia, come evidenziato da Battjes e Sakai (1981), un frangimento spilling delle onde di mare è caratterizzato da un primo stadio non stazionario ed un secondo stadio in cui si sviluppa un *bore* quasi-stazionario, a cui possono applicarsi i risultati rilevati su un frangimento stazionario a valle di un profilo alare.

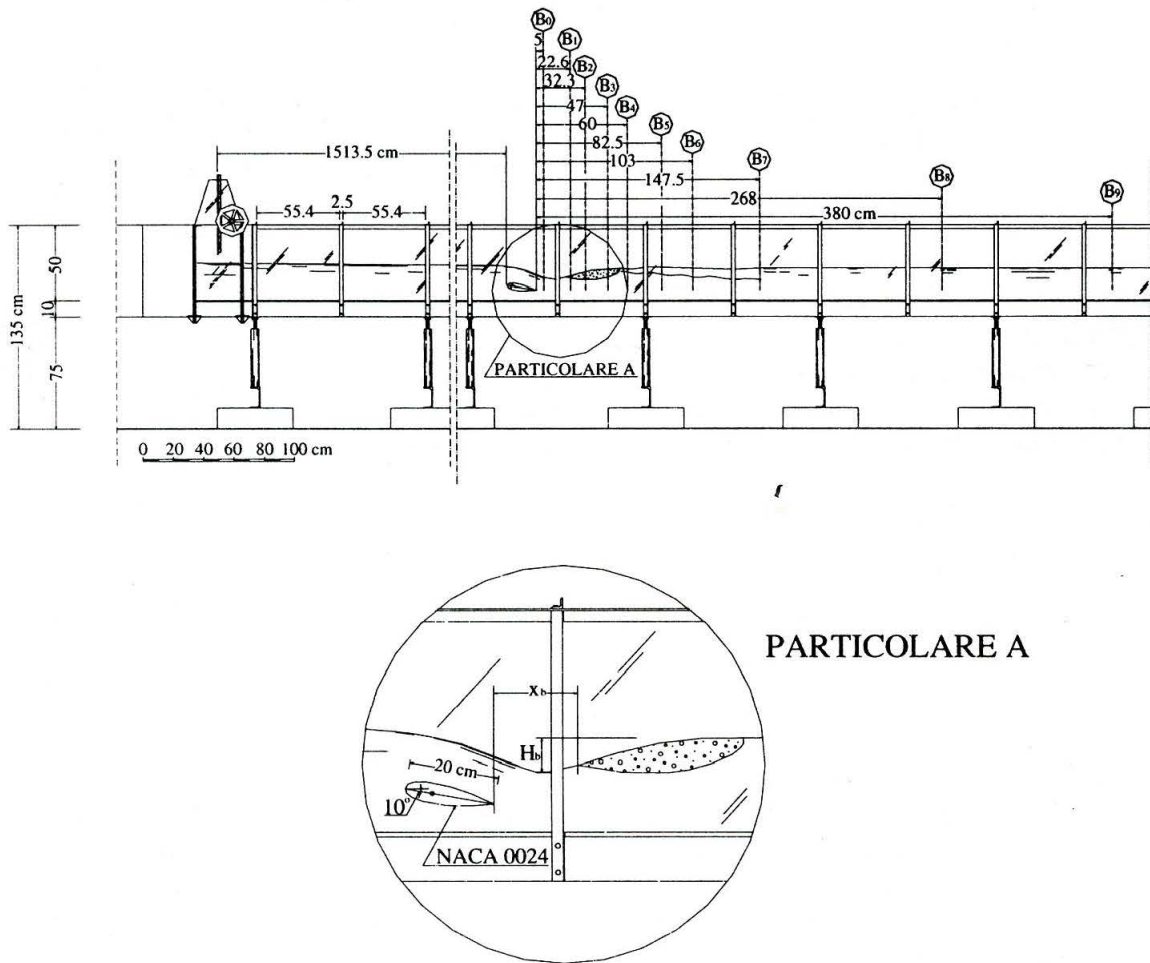


Figura 1. Apparato sperimentale e sezioni trasversali di misura con il sistema LDA.

Nel presente studio si riportano i risultati sperimentali rilevati su un frangimento di tipo spilling generato da un profilo alare investito da una corrente a pelo libero.

Apparato sperimentale

L'impianto sperimentale, schematicamente rappresentato in Figura 1, è costituito da un canale (di sezione trasversale rettangolare, largo 0.40 m, alto 0.50 m e lungo 24.40 m) con il fondo e le pareti in Plexiglas. Il canale è alimentato da una vasca di carico (di dimensioni $1.50 \times 0.80 \times 0.90 \text{ m}^3$) munita di un sistema di griglie per regolarizzare la corrente in arrivo e di uno scarico di superficie, con ciglio a quota regolabile, che consente di mantenere un livello costante. L'alimentazione della vasca avviene dalla rete in pressione del laboratorio, collegata ad un serbatoio sopraelevato di 10 m. Tra la vasca di carico e il canale è inserita una paratoia piana verticale. Le portate sono state misurate con uno stramazzo triangolare installato alla fine del canale dopo una vasca di calma. Per il rilievo del profilo della superficie libera, si è utilizzata un'asta idrometrica munita di nonio decimale e di un circuito elettrico in grado di valutare l'altezza mediana del profilo (Petrillo et al., 1979).

Nelle prove, al fine di avere nel canale un elevato valore del tirante idrico e della velocità media, si è provveduto a tenere totalmente aperta la paratoia di monte e ad avere il più elevato valore del livello nel serbatoio di carico. Nell'ambito delle indagini condotte si sono effettuati rilievi sperimentali anche in assenza del profilo alare. In queste condizioni la portata effluente è stata di 75.89 l/s, con una altezza h di 21.0 cm nella sezione di misura posta a 15.36 m dalla paratoia di monte, con un numero di Froude ($Fr=V/(gh)^{1/2}$, essendo g l'accelerazione di gravità e V la velocità media nella sezione trasversale) di 0.63 e un numero di Reynolds ($Re=\rho Vh/\mu$, essendo ρ la densità e μ la viscosità dinamica dell'acqua alla temperatura media delle prove di 12.0°C) di 153560.

Successivamente nel canale si è provveduto ad installare un profilo alare NACA 0024 in Plexiglas, con una corda di lunghezza 20.0 cm e angolo di attacco di 10° (Figura 1). Nell'indagine condotta in presenza del profilo alare, la portata è stata di 76.07 l/s, con una velocità media di 0.79 m/s nella sezione a monte del profilo alare, posta a 14 m dalla paratoia, e di 0.93 m/s nella sezione B₈, posta a 18.01 m dalla paratoia, dove poteva considerarsi già trascurabile l'effetto ondulatorio della superficie libera dovuto alla presenza del profilo. Nelle sezioni precedentemente indicate il numero di Froude era 0.51 e 0.65, per un'altezza d'acqua in canale, rispettivamente, di 24.0 cm e 20.5 cm. Il numero di Reynolds era 165183 alla temperatura media dell'acqua uguale a 14.7°C.

L'altezza del salto, ossia la distanza in verticale tra il punto della superficie libera più depresso, a valle del profilo alare, e l'altezza della corrente a valle dello spilling è stata $H_b=7.5$ cm (Figura 1).

Per la misura delle componenti puntuali di velocità si è utilizzato un sistema LDA, costituito da una sorgente laser Ar-Ion Coherent Innova serie 70 di potenza 5 Watt. Il sistema LDA 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 FVA Enhanced della Dantec, comprensivo di una scheda per la seconda dimensione. Nell'indagine in presenza del profilo alare si è provveduto a misurare le ondulazioni della superficie libera nelle sezioni dalla B₃ alla B₉, facendo uso di una sonda resistiva.

Risultati e discussione

In assenza del profilo alare si è rilevato il profilo di superficie lungo il canale e le componenti di velocità lungo le verticali di mezzeria e a distanza di 6 cm dalla parete destra del canale, nella sezione posta a 15.36 m dalla paratoia di monte. I risultati relativi alle verticali più vicine alla parete hanno evidenziato la normale riduzione delle componenti longitudinali di velocità. Le indagini svolte in assenza del profilo alare sono state particolarmente utili anche al fine di posizionare il profilo alare sufficientemente distante dalla paratoia di monte, affinché il flusso non risentisse dei tipici disturbi di ingresso nel canale, e sufficientemente distante dal tratto finale del canale, dove si genera un profilo di richiamo della corrente nella vasca di calma, posta a quota inferiore rispetto al letto del canale.

In Figura 1 sono riportate le sezioni del canale nella cui mezzeria sono stati effettuati i rilievi di velocità con il sistema LDA in presenza del profilo alare. Le Figure 2 e 3 mostrano i risultati ottenuti in presenza di profilo alare, mentre quelli rilevati in assenza non vengono riportati per brevità. Nelle Figure 2, 3 e 4 le coordinate x ed y indicano, rispettivamente, la distanza della generica sezione dalla coda del profilo alare e la distanza dal fondo del canale. In particolare, nelle Figure 2 e 3, si riportano le medie temporali delle componenti longitudinali (U) e trasversali (V) della velocità, definite positive se orientate, rispettivamente, verso valle o verso l'alto, le intensità di turbolenza (u' e v'), le crosscorrelazioni delle componenti fluttuanti di velocità ($\overline{u'v'}$) e gli indici di turbolenza $KV(u)$ e $KV(v)$, rispettivamente, delle componenti longitudinali e trasversali di velocità, definiti come il

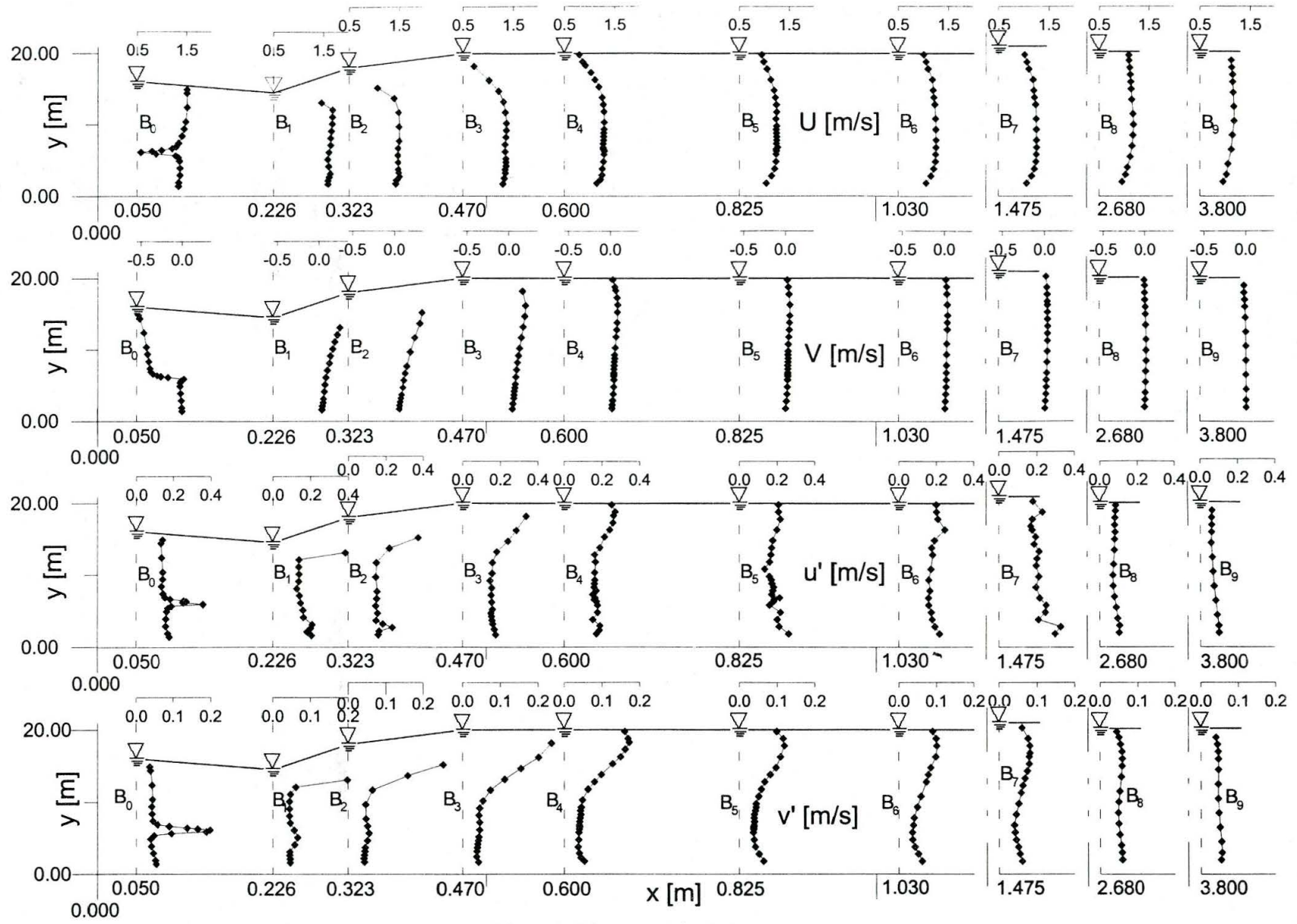


Figura 2. Diagrammi di U , V , u' e v' .

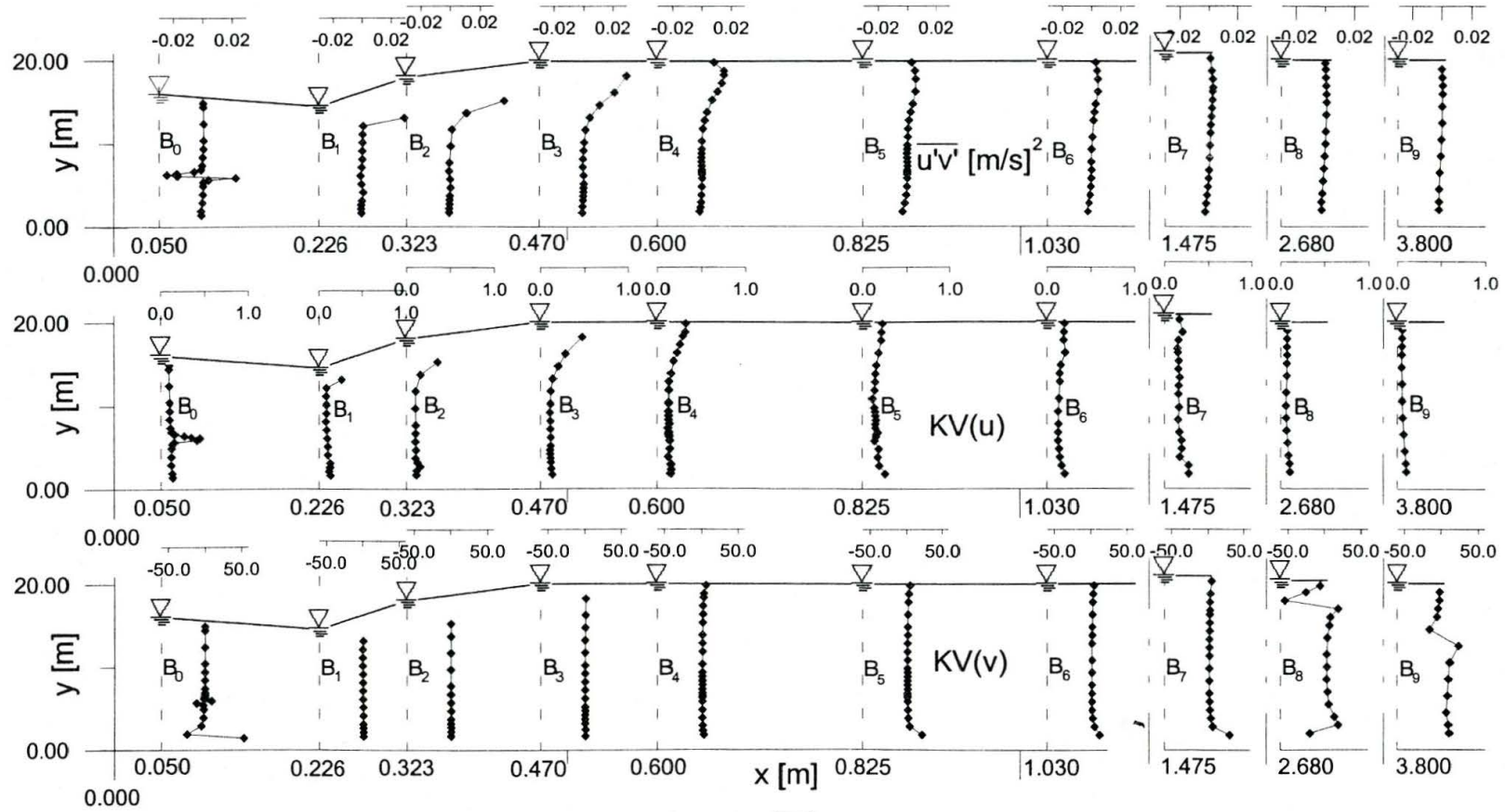


Figura 3. Diagrammi di $\overline{u'v'}$, $KV(u)$ e $KV(v)$.

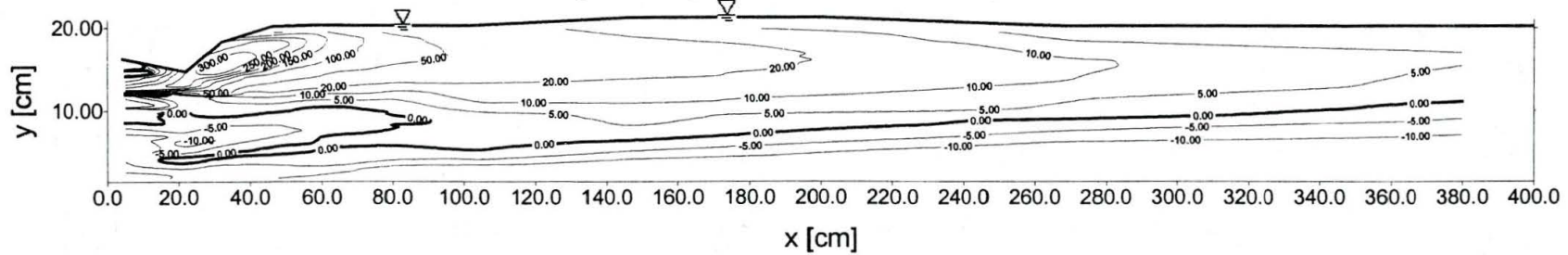


Figura 4. Curve ad equal valore di $\overline{u'v'}$ (in cm^2/s^2) per il flusso in presenza del profilo alare.

rapporto tra le intensità di turbolenza e le medie temporali delle corrispondenti componenti di velocità nel punto.

Nelle sezioni B_0 e B_1 si nota l'esistenza di un campo di moto tipo strato di mescolamento. Infatti, soprattutto nella sezione B_0 , sono evidenti due flussi provenienti dalla parte bassa e alta del profilo alare, che tendono a mescolarsi. Le sezioni B_2 e B_3 sono posizionate nella zona dello spilling, dove la concentrazione di particelle d'aria è particolarmente alta. In queste sezioni è già possibile osservare un deficit di velocità in prossimità della superficie libera. Nelle sezioni dalla B_4 alla B_8 quest'ultimo comportamento è ancora presente.

Dai risultati riportati nelle figure, alla luce delle precedenti considerazioni, è possibile evidenziare che il campo di moto è caratterizzato da distinte regioni. In particolare, a partire dalla coda del profilo alare e procedendo verso valle, si rileva una regione con un comportamento tipo strato di mescolamento, nella quale si ha lo spilling, ed una regione a valle dello spilling stesso, dove è evidente l'effetto scia.

In Figura 4 si riportano le linee a valor costante delle crosscorrelazioni $\overline{u'v'}$, ossia delle tensioni tangenziali di Reynolds τ_{xy} , a meno di $-\rho$. Dall'analisi della figura si evidenzia che le crosscorrelazioni $\overline{u'v'}$ presentano valori significativamente diversi da zero solo nella regione di flusso a valle del profilo alare e in prossimità della superficie libera, mentre si riducono notevolmente a partire dalla sezione B_8 . In Figura 4 la curva con valore nullo di $\overline{u'v'}$ è stata riportata in grassetto al fine di evidenziare la regione di flusso sovrastante la suddetta linea, caratterizzata da valori positivi delle crosscorrelazioni $\overline{u'v'}$. Alla luce dei risultati della Figura 4 è possibile concludere che la regione di scia può considerarsi limitata superiormente dalla superficie libera ed inferiormente dalla linea a valor nullo di $\overline{u'v'}$. E' da notare che al di sotto della suddetta linea le crosscorrelazioni $\overline{u'v'}$ presentano valori negativi tipici di un flusso in presenza di parete.

Come già osservato, i diagrammi delle Figure 2 e 3 evidenziano l'esistenza di un deficit di velocità simile a quello tipico di una scia. Questa considerazione è stata verificata quantitativamente valutando alcuni parametri caratteristici. A tal riguardo si osserva che definita con x^* la distanza della generica sezione trasversale dall'origine della scia, le condizioni di autosimilitudine del flusso richiedono che siano soddisfatte le seguenti relazioni (Tennekes e Lumley, 1981)

$$l \propto x^{*1/2} \quad (1)$$

$$\tilde{u}' \propto x^{*-1/2} \quad (2)$$

$$U_d \propto x^{*-1/2} \quad (3)$$

dove con l si è indicata la scala delle lunghezze trasversali della scia, con \tilde{u}' la velocità caratteristica della turbolenza e con U_d il difetto di velocità.

A tal riguardo, in analogia con quanto proposto da Battjes e Sakai (1981), si è calcolato il difetto di velocità come $U_d = U_l - U_f$, dove U_l è la media temporale della velocità longitudinale ad una profondità a partire dalla quale rimane sostanzialmente costante (trascurando, ovviamente la porzione di flusso a contatto con il fondo) e U_f è il valore della velocità media in prossimità della superficie libera. La scala caratteristica della turbolenza \tilde{u}' è stata definita come il valore massimo delle intensità di turbolenza longitudinale in ciascuna sezione. La scala delle lunghezze trasversali l è stata definita come la profondità alla quale si ha una netta riduzione delle crosscorrelazioni $\overline{u'v'}$.

Si è altresì provveduto a definire l'origine virtuale della scia, che può essere intuitivamente posta in prossimità dell'inizio dello spilling, caratterizzato dalla coordinata $x_b=18.0$ cm. Tuttavia, Battjes e Sakai (1981) misero in evidenza che le coordinate dell'origine della scia (x_0) e x_b non sono uguali e che la distanza che intercorre tra la sezione di inizio del frangimento e quella in cui ha inizio la scia è dell'ordine dell'altezza del salto H_b , definita in precedenza. Ossia si ha che

$$x_0 = x_b + O(H_b). \quad (4)$$

Una stima di x_0 può essere ottenuta diagrammando U_d^{-2} in funzione della distanza x , come riportato in Figura 5a. L'intercetta della retta interpolatrice, che descrive il suddetto andamento, con l'asse delle ascisse consente di ottenere l'origine x_0 cercata e di confermare la validità dell'Eq.ne (4).

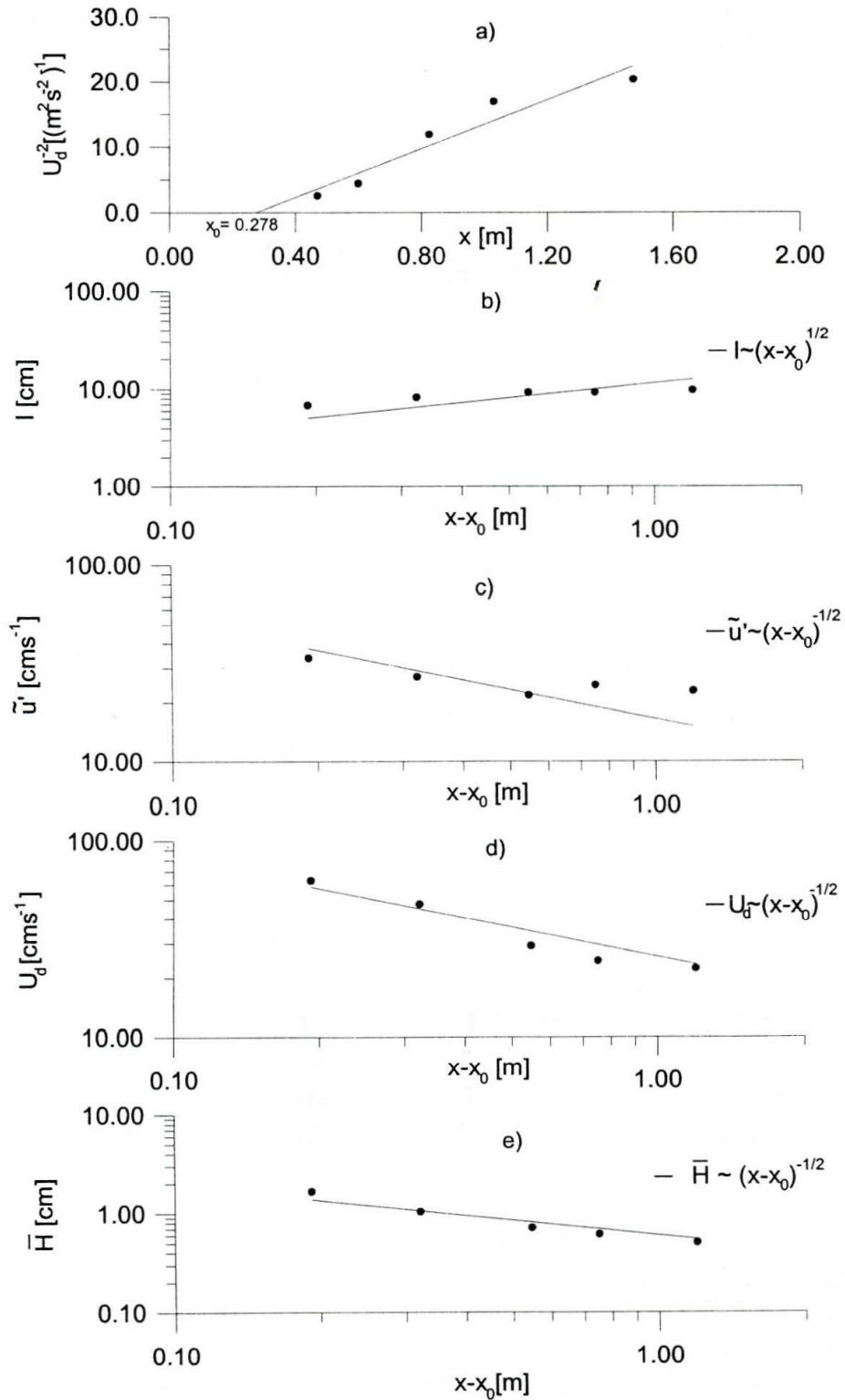


Figura 5. Condizioni di autosimilitudine del flusso di scia e andamento delle altezze medie.

Avendo definito le scale caratteristiche del flusso di scia e l'origine dello stesso, nelle Figure 5b-5d si riportano gli andamenti di l , \tilde{u}' e U_d in funzione della distanza $x^*=x-x_0$. Nelle figure precedentemente richiamate si sono riportati i soli punti sperimentali relativi alle sezioni trasversali B₃-B₇, per le quali l'effetto scia è risultato evidente. Gli andamenti riportati nelle Figure 5b-5d consentono di osservare che le leggi teoriche espresse dalle Eq.ni (1), (2) e (3) sono abbastanza soddisfatte, pur con qualche dispersione dei dati sperimentali. Pertanto è confermato, per il fenomeno, l'esistenza delle condizioni di similitudine tipiche di una scia.

Come evidenziato in Figura 1, le misure condotte con il sistema LDA sono state effettuate fino ad una distanza di 3.8 m dalla coda del profilo alare (sezione B₉), al fine di definire la zona in cui avesse termine l'effetto scia. Il confronto tra i risultati relativi al caso di assenza del profilo alare e quelli della sezione B₉ ha messo in evidenza che in quest'ultima l'effetto scia diviene trascurabile.

In Figura 5e si riportano le altezze medie delle ondulazioni di superficie, nella zona di scia, ricavate con il metodo dello *zero-upcrossing*. Dalla figura è possibile osservare che l'altezza media \bar{H} delle ondulazioni presenta un andamento decrescente all'aumentare della distanza dall'origine della scia fino alla sezione B₇. Tale andamento è rappresentabile con la seguente relazione

$$\bar{H} \propto x^{*-1/2}. \quad (5)$$

Dopo la sezione B₇, i valori di \bar{H} tendono a divenire costanti, in accordo con quanto già detto che tra le sezioni B₈ e B₉ si può ritenere ormai trascurabile l'effetto scia.

Conclusioni

Il presente studio riporta i primi risultati sperimentali su un frangimento di tipo spilling, generato dall'interposizione di un profilo alare nella corrente di un canale. La ricerca sull'argomento è ancora in atto presso il Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, dove si stanno effettuando altri rilievi del campo di moto con un sistema PIV. Le conclusioni che si possono trarre dallo studio finora condotto sono in accordo con quelle di *Battjes e Sakai* (1981) e possono essere sintetizzate come segue:

- a valle del profilo alare è possibile distinguere due regioni di flusso, ossia una immediatamente a valle del profilo alare, comprendente lo spilling caratterizzato da un'emulsione di acqua ed aria, ed una a valle dello spilling stesso;
- nella prima delle suddette regioni il flusso è simile a quella di uno strato di mescolamento, mentre, nella regione a valle, esso presenta le condizioni di similitudine tipiche di una scia;
- i rilievi sperimentali condotti hanno consentito di verificare quanto innanzi detto, fornendo informazioni sulle caratteristiche della turbolenza nelle due regioni, ed hanno consentito di ricavare la zona in cui l'effetto scia può ritenersi trascurabile.

Bibliografia

- Banner, M. L., e D. H. Peregrine, Wave breaking in deep water, *Annual Revue of Fluid Mechanics*, 25, 373, 1993.
- Battjes, J. A., e T. Sakai, Velocity field in a steady breaker, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 111, pp. 421-437, 1981.
- Duncan, J. H., The breaking and non-breaking wave resistance of a two-dimensional hydrofoil, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 123, pp. 507-520, 1983.
- Peregrine, D. H., e I. A. Svendsen, Spilling breakers, bores and hydraulic jumps, *Coastal Engineering*, vol. 30, pp. 540-550, 1978.

- Petrillo, A., M. Ranieri, e V. Tedone, Premessa ad una ricerca sperimentale sui bacini di smorzamento al piede di dighe ad arco, *Giornale del Genio Civile*, fasc. 10-11-12, pp. 377-387, 1979.
- Tennekes, H., e J. L. Lumley, A first course in turbulence, The MIT Press, 1981.
- Tulin, M. P., e R. Cointe, A theory of spilling breakers, *Proc. 16th Symp. Naval Hydrodynamics*, Berkley, National Academy Press, Washington D.C., pp. 93-105, 1986.