

LA VEGETAZIONE A PROTEZIONE DI PROCESSI DI ESCAVAZIONE LOCALIZZATA: RISULTATI DI UNO STUDIO SPERIMENTALE

Donatella Termini^{1*}

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM), Università di Palermo

**email: donatella.termini@unipa.it*

ASPETTI CHIAVE

- *Analisi dei processi di escavazione localizzata.*
- *Studio dell'interazione corrente-vegetazione .*
- *Confronto delle caratteristiche cinematiche della corrente a valle della struttura in presenza e in assenza di vegetazione .*

1 INTRODUZIONE

Diversi studi di letteratura mostrano come la vegetazione debba essere considerata un fattore chiave per analizzare i meccanismi di trasporto che si realizzano lungo un corso d'acqua naturale (Jarvela, 2002; Folkard, 2011). In particolare, la presenza di vegetazione sul fondo e/o sulle sponde del corso d'acqua contribuisce sia a stabilizzare i sedimenti che ad aumentare la resistenza al moto della corrente (Tsujiimoto 1999; Nepf and Vivoni, 2000; Afzalimehr and Dey, 2009; Nepf, 2012), influenzando i processi di trasporto solido e i conseguenti fenomeni di erosione e di deposito lungo lo stesso corso d'acqua.

Per caratterizzare l'effetto della vegetazione sui processi di trasporto solido è necessario analizzare i fenomeni di interazione mutua vegetazione-corrente (Nepf, 2012). A tal fine, occorre tener presente che il comportamento idraulico degli elementi vegetali può essere diverso se essi sono completamente "sommersi" oppure "emergenti" dalla corrente e, in ciascuna delle sopradette configurazioni, a seconda se si tratta di elementi "flessibili" (come nel caso di vegetazione erbacea) o di elementi "rigidi" (come nel caso di vegetazione arbustiva ed arborea) (vedi anche in Carollo et al., 2002).

Nel presente studio l'attenzione è focalizzata al caso di vegetazione flessibile sommersa.

La maggior parte degli studi effettuati sul comportamento idraulico della vegetazione flessibile fa riferimento a canali di laboratorio con vegetazione artificiale sul fondo (vedi ad esempio Kutija e Hong 1996, Ikeda e Kanazawa 1996, Okamoto e Nezu, 2009). Sebbene l'uso di elementi artificiali presenti molti vantaggi pratici (lunga durata, manutenzioni basse, basso costo, facili modifiche, ..), è spesso preferibile l'utilizzo di vegetazione reale (vedi ad esempio Carollo et al., 2002, 2005, 2006; Termini, 2014, 2015), che presenta diversa rigidità flessionale per i diversi gradi di crescita degli elementi.

Alcuni studi effettuati a scala di elemento (vedi, ad esempio, Ghisalberti e Nepf, 2002; Carollo et al., 2008) hanno messo in evidenza che, in caso di vegetazione flessibile sommersa, il profilo di velocità presenta una tipica forma ad S con un punto di flesso in prossimità della cima dello strato vegetato, dove si ha la formazione di strutture vorticosi che si propagano periodicamente in seno alla corrente (Nepf, 2012). Questo comportamento è più evidente per valori elevati della concentrazione degli elementi vegetati (Folkard, 2011, Termini, 2015).

In questo contesto, nel presente lavoro sono riportati alcuni risultati di uno studio sperimentale condotto nell'ambito di un programma di ricerca rivolto all'analisi dei processi di escavazione che si verificano a valle di una soglia di fondo realizzata lungo il corso d'acqua. In particolare l'obiettivo dello studio oggetto del presente lavoro era quello di analizzare come la presenza di vegetazione erbacea sul fondo potesse modificare il campo di moto e di turbolenza della corrente e, conseguentemente, limitare i processi erosivi a valle della soglia.

2 METODOLOGIA SPERIMENTALE

I dati utilizzati nel presente studio sono stati raccolti in un canale rettilineo realizzato presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento DICAM dell'Università di Palermo. Il canale è a sezione

rettangolare ed è lungo 11,2 m e largo 0,4 m (vedi Figura 1). Il fondo del canale è costituito da un primo breve tratto rigido (soglia rigida) seguito da un lungo tratto (8.5 m) mobile costituito da sabbia quarzosa (vedi Figura 1). La pendenza longitudinale del fondo è pari a 0,4%.

Nel presente lavoro si è fatto riferimento ai dati raccolti durante due prove condotte con portata $Q=35$ l/s: per la prima prova è stato mantenuto il fondo mobile subito a valle della soglia di fondo; per la seconda prova un tratto (di lunghezza pari a circa 1,60 m) del fondo a valle della soglia è stata ricoperta con vegetazione erbacea flessibile (*Festuca arundinacea*). La concentrazione degli elementi del tratto vegetato è pari a 190 steli/dm², a cui corrisponde un valore di area vegetata pari a $\phi = 13,5\%$. In accordo a precedenti lavori di letteratura (Nepf, 2012), si può considerare tale vegetazione a densa concentrazione.

Durante entrambe le prove sperimentali sono state misurate le componenti istantanee di velocità nelle direzioni longitudinale, $u(t)$, trasversale, $v(t)$, e verticale, $w(t)$, utilizzando il Profiler DOP 2000 della Signal Processing s.a con tre sonde con frequenza di emissione di 8 MHz (Termini & Sammartano, 2012; Termini, 2016).

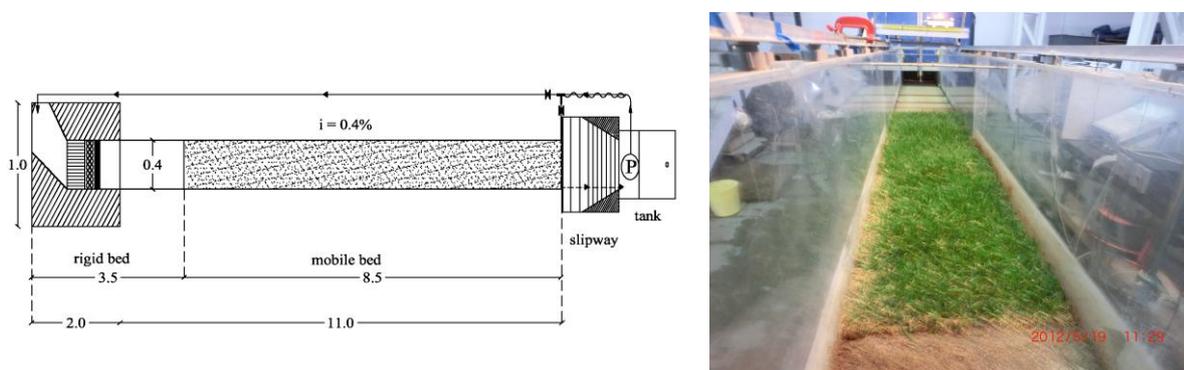


Figure 1. a) vista planimetrica dell'apparato sperimentale (Prova in assenza di vegetazione); b) particolare del tratto vegetato (seconda prova)

3 RISULTATI

In accordo a precedenti lavori di letteratura (vedi ad esempio in Termini & Sammartano, 2012), durante la prima prova (caso di assenza di vegetazione), subito a valle del tratto a fondo rigido si ha la formazione di una fossa di scavo che si estende per una lunghezza di 50 cm ed profondità massima di 3 cm circa. In presenza di vegetazione, invece, non si evidenzia alcun fenomeno erosivo a valle del tratto a fondo rigido ma si presenta un fossa di scavo, di dimensioni ridotte rispetto al caso di assenza di vegetazione, solo a valle del tratto vegetato.

Tenendo conto degli obiettivi specifici del presente lavoro, sono state valutate e confrontate le distribuzioni dell'intensità turbolenta nella sezioni a valle del tratto a fondo rigido. Pertanto, utilizzando le serie istantanee delle componenti della velocità nelle direzioni longitudinale, verticale e trasversale ($u(t)$, $v(t)$, $w(t)$), oltre che i corrispondenti valori medi temporali (u , v , w), è stato possibile definire le componenti:

$$u_{rms} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [u(t) - u]^2 \quad v_{rms} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [v(t) - v]^2 \quad w_{rms} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [w(t) - w]^2 \quad (1)$$

dove N indica il numero dei dati considerati.

In Figura 2 è riportato, a titolo di esempio, il confronto delle componenti di intensità turbolenta ottenute nella sezione a distanza di 20 cm dal bordo della soglia rigida (vedi Figura 1) in assenza (prima prova) ed in presenza (seconda prova) di vegetazione. Tale figura mostra che, in assenza di vegetazione, la componente longitudinale dell'intensità turbolenta, u_{rms} , assume valori elevati in prossimità del fondo, dove si verifica l'erosione. Andamento analogo si ha per la componente verticale dell'intensità turbolenta w_{rms} . La componente trasversale dell'intensità turbolenta, v_{rms} , assume valori più elevati sul fondo ed in prossimità della sponda; passando dalla sponda verso l'asse del canale i valori più elevati di v_{rms} si spostano verso la superficie libera. In presenza di vegetazione, invece, si osserva una alternanza di zone ad elevati e a bassi

valori delle componenti u_{rms} e w_{rms} , con valori di picco in prossimità del top dello strato vegetato; la componente trasversale dell'intensità turbolenta v_{rms} assume valori crescenti passando dalla sponda verso l'asse del canale. Inoltre, ad eccezione della zona nell'intorno della cima della vegetazione, i valori dell'intensità della turbolenta trasversale v_{rms} sono inferiori a quelli ottenuti in assenza della vegetazione nell'intera sezione.

I risultati ottenuti hanno, quindi, mostrato che la presenza di vegetazione determina valori di picco dell'intensità della turbolenza in prossimità del top dello strato vegetato. Questo comportamento è coerente con precedenti lavori di letteratura a scala di elemento (vedi ad esempio Ikeda e Kanazawa, 1996, Carollo et al., 2002, 2008), che hanno anche evidenziato la generazione di vortici con centro proprio in prossimità della cima dello strato vegetato (vedi ad esempio Ghisalberti & Nepf, 2002, Carollo et al., 2008). I risultati hanno anche mostrato una diminuzione di intensità del flusso turbolento in direzione trasversale e, piuttosto che lo sviluppo di un moto di circolazione trasversale in prossimità del fondo a valle della struttura (caso di assenza di vegetazione), si ha la formazione di ristrette zone di circolazione con centro in corrispondenza del top dello strato vegetato.

Al fine di analizzare il flusso di moto verticale e l'effetto sulla dinamica di trasporto dei sedimenti, è stata analizzata anche la distribuzione del prodotto $\overline{u'w'}$ (essendo u e w le componenti istantanee di fluttuazione turbolenta rispettivamente nelle direzioni longitudinale e verticale e la barra indica il valore medio temporale). La Figura 3 riporta la distribuzione del termine $\overline{u'w'}$ nella sezione a distanza 20 cm dal bordo della soglia rigida per entrambe le prove. Tale figura mostra che i valori di $\overline{u'w'}$ ottenuti in presenza di vegetazione sono generalmente inferiori e presentano un andamento diverso a quello ottenuto nel caso di assenza di vegetazione. In particolare in presenza di vegetazione $\overline{u'w'}$ assume valori positivi e crescenti man mano che si passa dal fondo alla superficie libera.

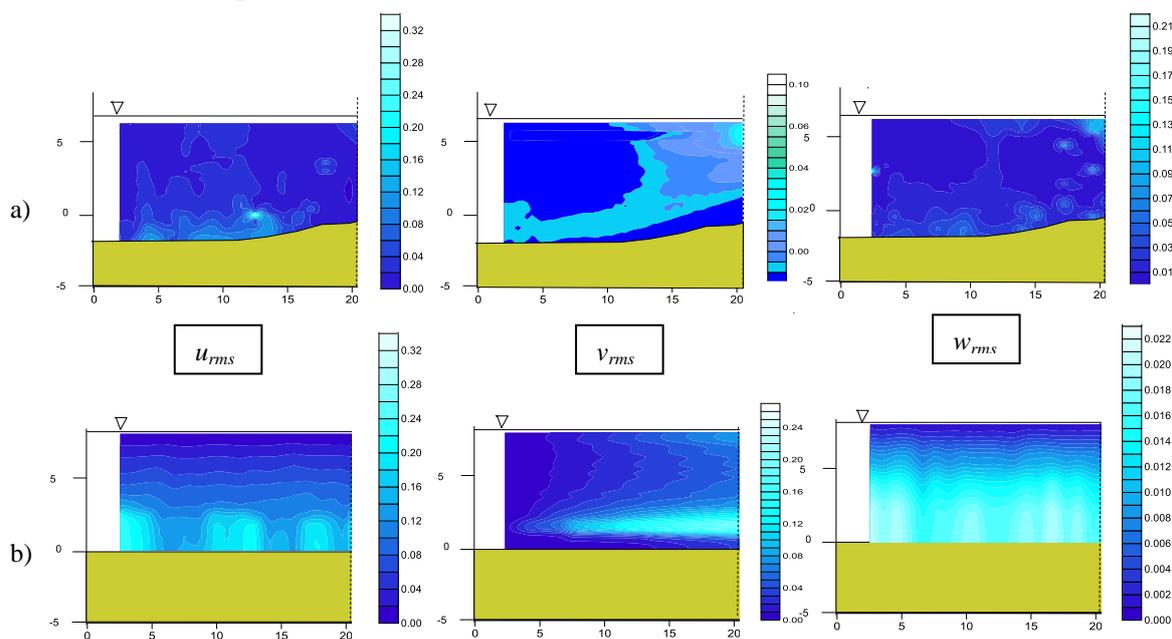


Figure 2: Componenti dell'intensità turbolenta (m^2/s^2): a) in assenza di vegetazione; b) in presenza di vegetazione

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nel presente lavoro hanno mostrato che la presenza di vegetazione determina una diminuzione di intensità turbolenta in ciascuna sezione trasversale a valle della soglia rigida, modificando le caratteristiche del moto di circolazione che si realizza invece in assenza di vegetazione.

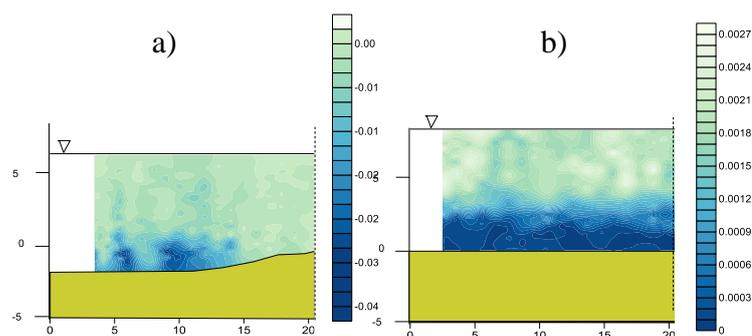


Figure 3: Distribuzione del termine $\overline{u'w'}$ (m^2/s^2): a) in assenza di vegetazione; b) in presenza di vegetazione

In particolare, il confronto tra le distribuzioni delle componenti di intensità turbolenta ottenute nelle due prove evidenzia che in presenza di vegetazione i valori di picco si verificano in prossimità del top dello strato vegetato, coerentemente con precedenti risultati di letteratura ottenuti a scala di elemento (vedi ad esempio Carollo et al., 2002; 2008).

Inoltre, la presenza di vegetazione influenza la distribuzione del termine $\overline{u'w'}$ in ciascuna sezione trasversale. In particolare, in presenza di vegetazione tale termine assume valori generalmente inferiori a quelli ottenuti in assenza di vegetazione. Ciò suggerisce anche che, in presenza di vegetazione sul fondo, gli scambi di sedimento si riducono rispetto a quelli osservati in assenza di vegetazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Afzalimehr, H., Dey, D.: Influence of bank vegetation and gravel bed on velocity and Reynolds stress distributions. *Int. J. of sediment Research*. 24(2), 236-246, 2009.
- Carollo, F. G., Ferro, V., Termini, D.: Flow velocity measurement in vegetated channels. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE* - 128(7), 664-673, 2002.
- Carollo, F.G., Ferro, V., Termini, D.: Flow resistance law in channels with flexible submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE* - 131(7), 554-564, 2005.
- Carollo, F.G., Ferro, V., Termini, D.: Experimental investigation of flow characteristics in vegetated channels. *International Congress Riverflow 2006- Lisbon (Portugal) 6-8 September, 2006*.
- Carollo, F.G., Ferro, V., Termini, D.: Flow velocity profile and turbulence characteristics in a vegetated straight flume. *International Congress Riverflow 2008- Cesme - Izmir (Turkey) 3-5 September 2008*.
- Folkard, A.M. Vegetated flows in their environmental context: a review. *Engineering and Computational Mechanics. ICE proceedings*. 164 Issue EM1, 3-24, 2011.
- Ghisalberti, M., Nepf, H. M.: Mixing layer and coherent structures in vegetated aquatic flows. *Journal of Geophysical Research*, 107(2), 3-1-3-11, 2002.
- Jarvela, J. Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. *Journal of Hydrology*, 269, 44-54, 2002.
- Kironoto, B.A., Graf, W.H.: Turbulence characteristics in rough uniform open-channel flow. *Proc. inst. civ. eng. part 2*. (112), 336-348, 1995.
- Kutija, V., Hong, H. T. M.: A numerical model for assessing the additional resistance to flow introduced by flexible vegetation. *Journal of Hydraulic Research* 34(1), 1996.
- Ikeda, S., Kanazawa, M.: Three dimensional organized vortices above flexible water plants. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(11), 634-640, 1996.
- Nepf, M.H. Hydrodynamics of vegetated channels. *Journal of Hydraulic Research*, 50(3), 262-279, 2012.
- Nepf, H.M., Vivoni, E.: Flow structure in depth-limited, vegetated flow. *Journal of Geophysical Research*. 105(C12), 28547-28557, 2000.
- Okamoto, T., Nezu, I.: Turbulence structure and “Monami” phenomena in flexible vegetated open-channel flows. *Journal of hydraulic Research*, 47(6), 798-810, 2009.
- Termini, D.: River-bed erosion due to changing boundary conditions: performance of a protective measure. *IAHS Publ. N. 364 - Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water–Society Interactions*, 2014.
- Termini D. Flexible Vegetation Behavior and Effects On Flow Conveyance: Experimental Observations. *International Journal of River Basin Management*, doi:10.1080/15715124.2015.1012519, 2015.
- Termini D. Reduction of scouring downstream of a rigid bed by means of a vegetated carpet: experimental investigation in a laboratory flume. *Environmental Fluid Mechanics*. Volume 16 Issue 6, 2016.
- Termini D. & Sammartano V. MORPHODYNAMIC PROCESSES DOWNSTREAM OF MAN-MADE STRUCTURAL INTERVENTIONS: experimental investigation of the role of turbulent flow structures in the prediction of scour downstream of a rigid bed; *Physics and Chemistry of the Earth*. vol. 49 (2012) - Elsevier B.V.
- Tsujiimoto T. Fluvial processes in stream with vegetation. *Journal of Hydraulic Research*. 37(6), 789-803, 1999.