

VARIAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE RADICI DI UNA VEGETAZIONE FLESSIBILE E MATURA IN UN CANALE MEANDRIFORME: RISULTATI PRELIMINARI

Donatella Termini^{1*}, *Alice Di Leonardo*¹

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

*email: donatella.termini@unipa.it; alice.dileonardo@unipa.it

ASPETTI CHIAVE

- *Interazione corrente-vegetazione in un canale meandriforme*
- *Variazione delle caratteristiche geometriche delle radici di una vegetazione matura lungo la curva*
- *Variazione delle caratteristiche meccaniche delle radici di una vegetazione matura lungo la curva*

1 INTRODUZIONE

Come è noto, la presenza di vegetazione nel corso d'acqua naturale influenza le caratteristiche cinematiche della corrente e, grazie al suo apparato radicale, contribuisce a limitare l'erosività delle sponde e del fondo (Gurnell, 2013; Camporeale et al., 2013). Quando l'azione di trascinamento della corrente supera la forza di ancoraggio delle radici al suolo, la vegetazione viene estirpata destabilizzando il fondo e le sponde del corso d'acqua interessato (Pollen, 2007). D'altra parte, la tipologia di crescita della vegetazione e del suo apparato radicale è notevolmente influenzata dalla variazione delle caratteristiche cinematiche della corrente lungo il corso d'acqua stesso. L'identificazione delle caratteristiche dell'apparato radicale (quali l'architettura, la lunghezza e il diametro) è quindi estremamente importante in quanto condiziona la resistenza della vegetazione allo sradicamento.

Per questo motivo, soprattutto di recente, alcuni autori hanno effettuato "pull-out tests" in laboratorio (Ennos, 1989; Bailey et al., 2002; Mickovski et al., 2009; Schwarz et al., 2011) o in campo (Karrenberg et al., 2003; Liu et al., 2011), focalizzando la loro attenzione sulla valutazione della resistenza meccanica e sull'analisi del processo di sradicamento di diverse tipologie di vegetazione.

Tali studi sperimentali sono però limitati al caso di canali rettilinei, trascurando l'effetto della curvatura del canale che, come invece mostrano precedenti lavori di letteratura (vedi ad esempio Termini e Piraino, 2011; Termini, 2016), influenza notevolmente la distribuzione delle tensioni tangenziali sul fondo.

Alla luce di quanto detto, nel presente lavoro si è voluto analizzare come la crescita, e quindi anche la resistenza a rottura, dell'apparato radicale di una vegetazione flessibile e matura vari lungo un canale meandriforme, dove le caratteristiche cinematiche della corrente sono estremamente variabili. Lo studio è stato condotto in un canale di laboratorio realizzato presso il laboratorio di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM) dell'Università degli Studi di Palermo.

2 APPARATO SPERIMENTALE E METODI

Il canale di laboratorio ha uno sviluppo meandriforme che segue la curva sine-generated con un angolo di deflessione alla sezione di inflessione $\theta_0=110^\circ$; la larghezza del canale è costante e pari a $B = 0.5$ m, mentre la lunghezza in asse del canale è pari a circa 28 m (vedi Figura 1a). Nella campagna sperimentale oggetto del presente lavoro è stata posta particolare attenzione alle sezioni di misura 1, 2, 3, 4 e 5 mostrate in Figura 1 (a,b). Le prove sono state condotte su fondo deformato e ricoperto da vegetazione reale, matura e flessibile (*Festuca Arundinacea*) uniformemente distribuita, con una concentrazione di 200 steli/dm² (vedi Termini, 2016). La configurazione topografica del fondo corrisponde alla configurazione di equilibrio di una prova a fondo mobile precedentemente condotta come descritto in Termini & Piraino (2011). In Figura 1b è mostrata

l'immagine del tratto di canale analizzato.

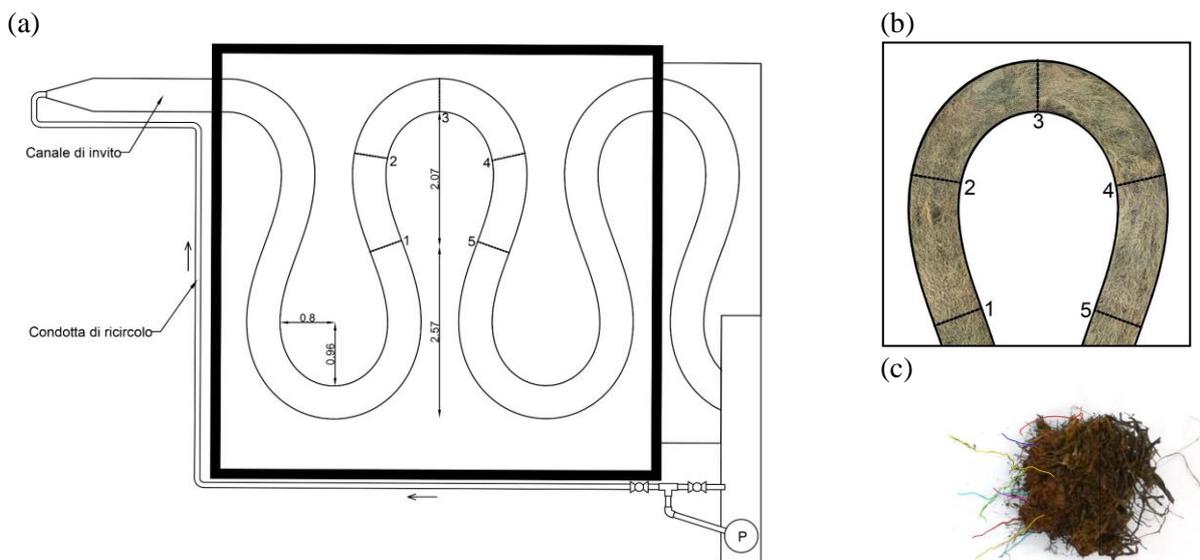


Figura 1. (a) Apparato sperimentale; (b) Tratto di canale analizzato e ricoperto da vegetazione matura; (c) Foto della zolla prelevata dal fondo in prossimità della sponda esterna della sezione 2

Per valutare le caratteristiche geometriche e meccaniche della vegetazione matura, sono state estratte dal fondo vegetato dieci zolle, collocate in prossimità di entrambe le sponde delle sezioni 1, 2, 3, 4 e 5. Ogni zolla (vedi Figura 1c) è stata denominata con il numero della sezione corrispondente, seguito dal numero 1 se estratta in prossimità della sponda esterna, o dal numero 2, se estratta in prossimità della sponda interna. A titolo d'esempio, la zolla estratta dal canale in prossimità della sponda esterna della sezione 1 è stata contrassegnata con il codice 1.1. Per ciascuna zolla sono state misurate le caratteristiche geometriche (lunghezza e spessore) di circa dieci radici affioranti. Il rilievo della lunghezza delle radici è stato effettuato utilizzando fotografie quotate di dettaglio acquisite con una macchina fotografica Nikon e con una risoluzione di 24 mp. Lo spessore delle stesse radici è stato misurato con un calibro digitale (precisione di 0.01 mm).

Inoltre, al fine di determinare le caratteristiche meccaniche delle radici, le dieci radici (provino) prelevate da ciascuna zolla sono state sottoposte a trazione. A tal fine è stata utilizzata una macchina a trazione della Zwick/Roell, collocata presso il laboratorio dei Materiali del dipartimento DICAM dell'Università di Palermo. Tale macchina, attraverso il software di cui è corredata, permette di registrare in tempo reale i valori della tensione σ_T (espressi in N/mm^2) e di deformazione \mathcal{E} (espressi in percentuale rispetto alla distanza iniziale fra le due morse) cui è sottoposto il provino delle radici. Le prove sono state avviate impostando una pretensione di 0.03 N ed una velocità di traslazione della morsa superiore pari ad 1 mm/min.

3 RISULTATI

Utilizzando i valori misurati della lunghezza e dello spessore delle radici, è stato possibile valutare, per ciascuna zolla, il valore della lunghezza media $\overline{L_r}$ e dello spessore medio $\overline{S_r}$ delle radici.

In Figura 2 è mostrato l'andamento delle grandezze $\overline{L_r}$ (Figura 2a) e $\overline{S_r}$ (Figura 2b) per le zolle prelevate lungo il canale. Dalla Figura 2a si osserva che, lungo la sponda esterna, $\overline{L_r}$ assume valori bassi in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2, poi $\overline{L_r}$ cresce fino ad un punto di massimo in corrispondenza della sezione 3, per poi decrescere nuovamente fino alla sezione 5; lungo la sponda interna, invece, l'andamento di $\overline{L_r}$ presenta un punto di massimo in corrispondenza della sezione 2, poi decresce

fino alla sezione 3 (dove si ha un punto di minimo) e quindi cresce nuovamente fino alla sezione 5. Quindi si osserva che l'andamento di \overline{L}_r lungo la sponda esterna è opposto a quello ottenuto lungo la sponda interna. Per quanto riguarda lo spessore \overline{S}_r (Figura 2b) si osserva che lungo la sponda esterna esso cresce fino alla sezione 2, ove vi è un punto di massimo, per poi decrescere gradualmente fino alla sezione 4 (dove si ha un punto di minimo) e crescere nuovamente fino alla sezione 5; lungo la sponda interna l'andamento di \overline{S}_r decresce gradualmente fino alla sezione 2, per poi crescere fino alla sezione 5.

Al fine di analizzare l'andamento delle caratteristiche meccaniche delle radici lungo la curva, è stata calcolata la forza a rottura, F , moltiplicando la tensione σ_T per la sezione trasversale del provino. Sono stati analizzati quindi i grafici $F - \varepsilon$ ottenuti per ciascuna zolla. In Figura 2c è riportata, a titolo d'esempio, la curva $F - \varepsilon$ ottenuta per la zolla 2.1 (cioè per la zolla prelevata in prossimità della sponda esterna della sezione 2). Si osserva che all'inizio della prova a trazione la forza F cresce linearmente al variare della deformazione fino al raggiungimento di un valore massimo F_{max} . Dopo tale fase elastica, all'aumentare della deformazione si presentano dei valori di picco della forza F via via minori. Come si vede in Figura 2c, a ciascuno dei picchi della forza F segue un brusco calo di forza che corrisponde alla rottura di una singola radice costituente il provino. Dividendo la forza massima F_{max} per il numero di picchi n_p , è stato ottenuto il valore, $F_{max,m}$, rappresentativo della resistenza a rottura delle radici.

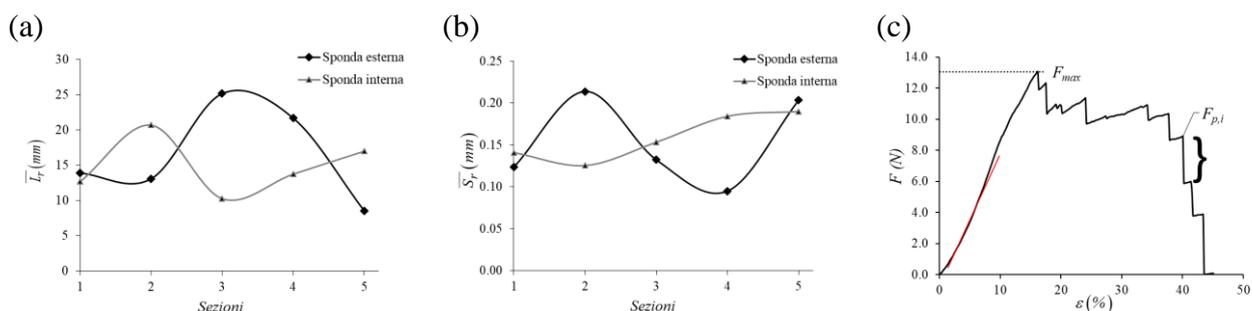


Figura 2. (a) Andamento lungo il canale di \overline{L}_r (mm); (b) Andamento lungo il canale di \overline{S}_r (mm); (c) Andamento della forza F al variare della deformazione ε ottenuto per la zolla 2.1, prelevata in prossimità della sponda esterna della sezione 2;

Per analizzare la relazione tra le caratteristiche geometriche e le caratteristiche meccaniche delle radici lungo la curva, i valori di $F_{max,m}$, ottenuti per ciascuna zolla, sono stati confrontati con quelli dello spessore medio \overline{S}_r e della lunghezza media \overline{L}_r . Tale confronto è riportato nelle Figure 3a e 3b. Si nota che $F_{max,m}$ tende ad aumentare all'aumentare dello spessore medio \overline{S}_r ed a diminuire all'aumentare della lunghezza media \overline{L}_r . Ciò significa che, in media, le radici più resistenti sono caratterizzate da spessori maggiori e lunghezze minori. In più, si nota che le radici più resistenti sono state rilevate in prossimità della sponda esterna della sezione 2 e in prossimità della sponda interna della sezione 4. Le radici meno resistenti sono state rilevate in prossimità della sezione di apice (sezione 3) e in prossimità delle sezioni di inflessione (sezioni 1 e 5).

In Figura 3c è riportato il confronto tra $F_{max,m}$ ed il gradiente dH/ds (essendo H la quota piezometrica ed s l'ascissa longitudinale) lungo la sponda esterna della curva. Osservando la Figura 3c si nota che la variazione di $F_{max,m}$ è simile a quella di dH/ds , confermando che la variabilità della resistenza a rottura delle radici è influenzata dalla variabilità delle caratteristiche idrodinamiche della corrente.

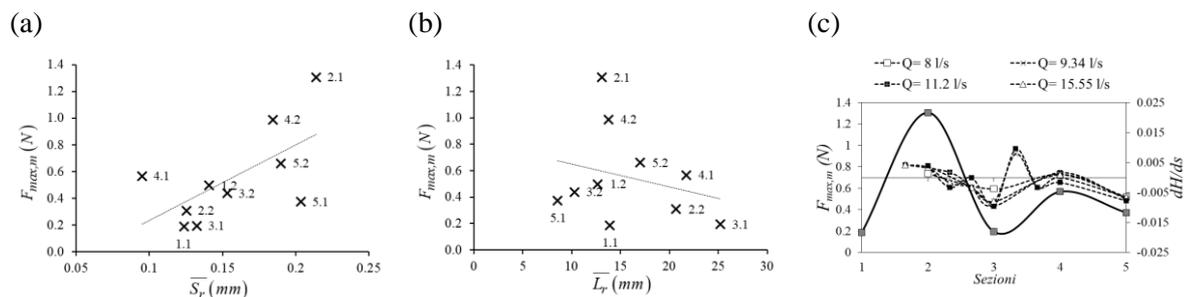


Figura 3. (a) $F_{max,m}$ al variare dello spessore medio delle radici \bar{S}_r ; (b) $F_{max,m}$ al variare della lunghezza media delle radici \bar{L}_r ; (c) Confronto tra $F_{max,m}$ ed dH/ds calcolato al variare della portata.

4 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM) dell'Università degli studi di Palermo è stata condotta una campagna sperimentale in un canale meandriforme con fondo ricoperto da vegetazione reale, flessibile e matura, al fine di esaminare la variazione delle caratteristiche geometriche e meccaniche delle radici lungo la curva.

I risultati ottenuti hanno dimostrato che il grado di crescita e lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione variano lungo la curva. In particolare, è stato possibile verificare che le radici più resistenti sono quelle rilevate in corrispondenza della sponda esterna della sezione 2 e in prossimità della sponda interna della sezione 4, caratterizzate da maggiori spessori e lunghezze minori. Le radici meno resistenti, invece, sono state rilevate in prossimità della sezione di apice e in prossimità delle sezioni di inflessione. I risultati preliminari ottenuti hanno anche consentito di verificare che la resistenza a rottura delle radici è influenzata dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente. Tali informazioni sono particolarmente importanti per analizzare il processo di degradazione della vegetazione matura per effetto dell'azione della corrente, oggetto di sviluppi futuri della presente ricerca.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bailey, P., Currey, J. & Fitter, A., The role of root system architecture and root hairs in promoting anchorage against uprooting forces in *Allium cepa* and root mutants of *Arabidopsis thaliana*, *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(367), 333-340
- Camporeale C., Perucca E., Ridolfi L. & Gurnell A., Modeling the interaction between river morphodynamics and riparian vegetation, *Reviews of Geophysics*, 2013, 51(3), 379-414
- Ennos, A. R., The mechanics of anchorage in seedlings of sunflower, *helianthus annuus L.*, *The New Phytologist*, 1989, 113(2), 185-192
- Gurnell A., Plants as river system engineers, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2013, 39(1), 4-25
- Karrenberg, S., Blaser, S., Kollmann, J., Speck, T. & Edwards, P., Root anchorage of saplings and cuttings of woody pioneer species in a riparian environment, *Functional Ecology*, 2003, 17(2), 170-177
- Liu Y., Gao J., Lou H., Zhang J. & Q. Cui, The root anchorage ability of *Salix alba* var. *tristis* using a pull-out test, *African Journal of Biotechnology*, 2011, 10(73), 16501-16507
- Mickovski, S., Hallett, P., Bransby, M., Davies, M., Sonnenberg, R. & Bengough, A., Mechanical reinforcement of soil by willow roots: impacts of root properties and root failure mechanism in controlled laboratory tests, *Soil Science Society of America Journal*, 2009, 73(4), 1276-1285
- Pollen, N., Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: Accounting for soil shear strength and moisture, *Catena*, 2007, 69(3), 197-205
- Schwarz, M., Cohen, D. & Or, D., Pullout tests of root anchorage and natural bundles in soil: Experiments and modeling, *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116, F02007
- Termini, D., Experimental analysis of the effect of vegetation on flow and bed shear stress distribution in high curvature bends, *Geomorphology*, 2016, 274, 1-10
- Termini, D. & Piraino, M., Experimental analysis of cross-sectional flow motion in a large amplitude meandering bend, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2011, 36(2), 244-256