

# MODELLAZIONE IDRAULICA DEGLI EFFETTI DOVUTI ALLA GESTIONE DELLA VEGETAZIONE RIPARIA

## *Application of Hydraulic Model for estimating the interactions between riparian vegetation and hydraulic flow*

L. Guarnieri \*, F. Preti \*

---

### Sommario

---

Il presente lavoro considera le relazioni tra presenza di vegetazione riparia, processi di deflusso idrico e di trasporto di detriti legnosi in corsi d'acqua con alvei vegetati.

La valutazione delle interazioni dinamiche tra componenti fisiche e biologiche è basata sull'impiego di un modello idraulico, applicabile a sezioni reali a geometria composita e differente resistenza al moto per presenza di sedimenti e vegetazione erbacea o legnosa.

Si presentano applicazioni dello strumento modellistico a casi di manutenzione della vegetazione riparia anche per valutarne le potenzialità di utilizzo.

---

### Summary

---

The paper deals with the relation among riparian vegetation, hydraulic flow and woody debris in natural stream.

The estimating of dynamic interactions between biological (grass, shrubs, tree) and physical components is based on using an hydraulic model, applied to real river sections with composite geometry and different roughness.

## 1. Generalità

Gli interventi di origine antropica (espansione urbana, costruzione di infrastrutture stradali, sfruttamento energetico, etc.) nelle aree golenali hanno notevolmente ridotto le fasce di pertinenza fluviale e di conseguenza il rapporto funzionale dei corsi d'acqua con il territorio circostante (Florineth e Molon, 2005; Sansoni, 2006).

La riduzione del rischio idraulico rappresenta l'obiettivo verso cui negli anni si sono evolute, di pari passo con il progresso scientifico e sensibilità ambientale, le metodologie di intervento. La mitigazione di tale rischio rappresenta un problema sempre attuale a causa del crescente incremento di danni,

---

\* Dipartimento Ingegneria Agraria e Forestale Sezione Idronomia, Università di Firenze, [leonardo.guarnieri@unifi.it](mailto:leonardo.guarnieri@unifi.it), [federico.preti@unifi.it](mailto:federico.preti@unifi.it)

in termini di vite umane e di infrastrutture, che i fenomeni franosi e alluvionali hanno prodotto nel territorio nazionale. Dato che solo negli ultimi decenni la pianificazione ha assimilato concetti di sviluppo sostenibile ed ecologico, si deve ammettere che il territorio italiano è in larga misura caratterizzato da una forte pressione antropica, che si rileva nelle zone urbanizzate, di margine ed anche rurali e costituisce una realtà spesso compromessa.

In questo lavoro si vuole considerare la casistica dei corsi d'acqua montani, collinari e costieri che, dopo decenni di pratiche colturali, agricole o pastorali, hanno subito un abbandono improvviso. Questi in assenza di manutenzione vedono innescare nel breve periodo squilibri rapidamente crescenti di chiara causa antropica e sui quali è comunque necessario intervenire tenendo conto dei costi-benefici (Guarnieri e Preti, 2005; Baronti et al., 2007; Guarnieri et al., 2007; Spinelli e Magagnotti, 2007).

Nella letteratura scientifica recente si riscontrano, spesso, contributi relativi ad indagini di laboratorio, solitamente riferibili ai casi di vegetazione flessibile omogenea sommersa mentre meno frequenti risultano le indagini relative a casi di studio reali (Arcement et al., 2001; Bellezza et al., 2005; Carollo et al., 2005; Copeland, 2000; Escarameia et al., 2002; Fathi-Moghadam e Kouwen, 1997; Fischernich, e Dudley, 2000; Freeman et al., 2000; Järvelä, 2002, 2002 b, 2004; Jordanova e James, 2003; Kean e Dungan Smith, 2005; Kouwen e Fathi-Moghadam, 2000; Meijer e Velzen, 1999, Raffaelli et al., 2002; Rauch, 2006; Righetti e Armanini, 2002; Righetti et al., 2004; Soong e Hoffmann, 2002; Szoszkiewicz et al., 2003; e altri citati in bibliografia).

Nel presente lavoro si è impiegato un modello idraulico, per la simulazione degli eventi di piena, denominato *HModel (Hydraulic Model)* (Darby e Thorne, 1996; Darby, 1999) applicabile a sezioni reali a scabrezza differenziata (sedimenti, vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea) per valutare la capacità di smaltimento di portate di massima piena con assegnato tempo di ritorno, nonché l'entità dell'influenza della vegetazione in termini di variazioni di capacità di deflusso e tirante idrico.

La scelta del modello, supportata da validazione iniziale (Darby e Thorne, 1996; Pistolesi, 2001 in Preti, 2002), è stata effettuata per continuità con indagini precedenti (Civitarese, 2000 e Castaldi, 2001 in Preti, 2002; Guarnieri e Preti, 2005).

## 2. Metodologia

### 2.1 Descrizione del modello idraulico

Il modello idraulico adottato nel presente studio è *Hydraulic Model (HModel o HMODEL2)* in Darby, 1999) e si basa sullo studio presentato da Wark (Wark, 1990 in Darby, 1999) in cui sono impiegate equazioni di tipo empirico, in base alla presenza, rispettivamente, di sedimenti, vegetazione flessibile e rigida su sponde o aree esondabili (Fig. 1).

Il calcolo del coefficiente di resistenza, del tirante idrico e della distribuzione laterale della portata unitaria è ottenuto secondo la seguente:

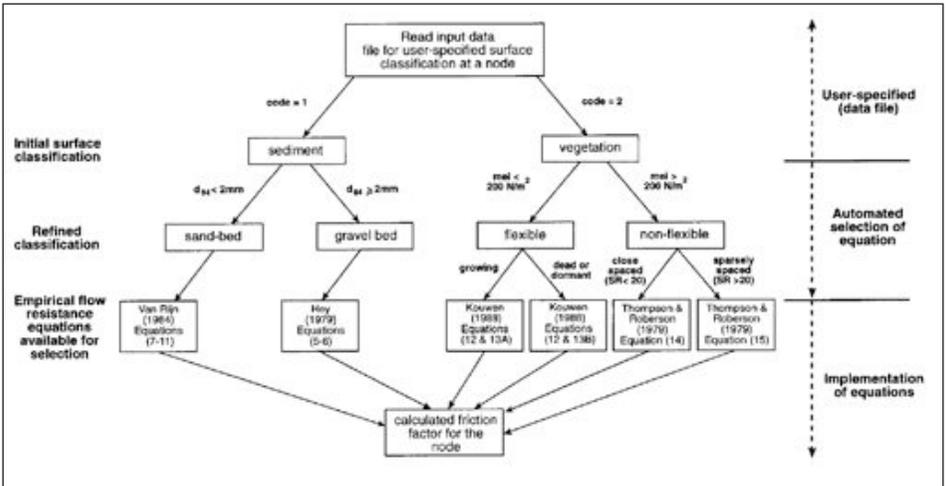


Fig. 1 - Flowchart di Hydraulic Model per il calcolo del coefficiente di Darcy-Weisbach in ogni nodo di computazione della sezione (Darby, 1999)

$$gDS - \frac{B_s \cdot f \cdot q^2}{8 \cdot D^2} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità [m/sec<sup>2</sup>],  $D$  l'altezza idrica [m],  $q$  la portata unitaria [m<sup>2</sup>/sec],  $\varepsilon$  la viscosità vorticoso [m/sec<sup>2</sup>],  $y$  la coordinata trasversale [m],  $B_s$  il fattore di correlazione tra sforzo longitudinale e laterale dato da  $B_s = (1 + S_x^2 + S_y^2)^{0.5}$  con  $S_x$  e  $S_y$  rispettivamente pendenza longitudinale e trasversale del fondo [m] e, infine, con  $f$  il coefficiente adimensionale di Darcy-Weisbach, esprimibile secondo l'equazione di Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = a + c \cdot \log \frac{R}{k} \quad (1 b).$$

in cui  $k$  è l'altezza deflessa delle piante, da cui è ricavabile il coefficiente  $C$  di resistenza di Chézy tramite una espressione logaritmica i cui parametri sono calcolabili dalla stima di una velocità di attrito critica (in Raffaelli et al., 2002).

In *HModel* gli elementi rilevati nella sezione vengono quindi differenziati per "categorie di scabrezza" ed inseriti in un *file* di ingresso per le successive elaborazioni. Questo viene impostato per contenere le informazioni di ciascun nodo relativo alla sezione idrica in una riga e, rispettivamente: coordinate trasversali ( $y$ ), coordinate verticali ( $z$ ), altezza vegetazione erbacea ( $h$ ) o valore di percentile ( $d_{50}$ ), diametro vegetazione arborea ( $d$ ), spaziatura vegetazione arborea ( $s$ ), tipo di scabrezza. Per i nodi della sezione in cui si è rilevata la presenza di sedimenti, il coefficiente di Darcy-Weisbach presente nel secondo termine della (1) viene sviluppato secondo l'equazione di Colebrook-White calibrata da

Hey (Hey 1979 in Darby, 1999) per alvei con fondo ghiaioso, nella seguente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,03 + \log \frac{a_s \cdot R}{3,5 \cdot d_{84}} \quad (2)$$

dove  $a_s = 11,1 (R/D_{\max})^{-0,314}$  con  $D_{\max}$  massimo tirante nella sezione.

Per i nodi della sezione con presenza di vegetazione si adotta una distinzione semplificata tra due forme vegetative principali (erbacea ed arborea) per elementi rispettivamente flessibili e con risposta rigida.

Nella prima categoria si includono le piante erbacee, caratterizzate da altezze limitate ed elasticità elevata, distinte tra piante vive (verdi ed in crescita) e piante morte (secche e/o piegate) e descritte da un parametro di altezza.

Nella seconda categoria si includono quelle con abito legnoso, caratterizzate da altezza elevata ed elasticità limitata, specificandone struttura orizzontale (disposizione casuale, a gruppi, parallela alla corrente) e descritte dai parametri di diametro e distanza media.

In caso di vegetazione erbacea (valore del parametro di flessibilità, di cui alla figura 1 e sotto specificato,  $mei < 200 \text{ N/m}^2$ ), il calcolo di  $k$  (Kouwen, 1988) per il coefficiente  $f$  della (1 b) è il seguente:

$$k = 0,14 h [(mei/\tau)^{0,25} / h]^{1,59} \quad (3)$$

dove  $h$  è l'altezza locale della vegetazione [m],  $\tau$  è lo sforzo di taglio [ $\text{N/m}^2$ ],  $mei$  è un parametro di flessibilità ( $m$  = densità relativa delle piante pari a numero piante per unità di area,  $e$  = modulo di Young medio degli steli e delle foglie,  $i$  = momento d'inerzia medio degli steli e delle foglie; in Carollo et al., 2005) determinato con:

$$mei = 319 \cdot h^{3,3} \quad \text{erba verde e in crescita} \quad (3 a)$$

$$mei = 25,4 \cdot h^{2,26} \quad \text{erba piegata o morta} \quad (3 b)$$

Tali relazioni sono state oggetto di rivisitazione recente (Raffaelli et al., 2002; Carollo et al., 2005).

Per la vegetazione legnosa (valore del parametro di flessibilità sopra citato  $mei > 200 \text{ N/m}^2$ ) si considera invece il rapporto tra la velocità intorno al tronco ( $u_w$ ), che dipende dal diametro delle piante ( $d$ ) e dalla loro relativa spaziatura ( $s$ ), e la velocità media della corrente ( $u$ ).

In caso di vegetazione legnosa, il coefficiente  $f$  di Darcy-Weisbach della (1) viene calcolato, secondo la formula:

$$f = 8 \cdot \frac{g \cdot R \cdot S}{u_w^2} \quad (4)$$

dove  $u_w$  è la velocità corrente intorno al tronco [m/sec] calcolata secondo le equazioni di Thomson e Robertson (1976 in Darby, 1999) seguenti.

In dettaglio, per la disposizione casuale, con:

$$u_w/u = 1,06 (s/d)^{0,04} \quad \text{per } 4 \leq s/d \leq 10 \quad (5 \text{ a})$$

$$u_w/u = 0,93 (s/d)^{0,015} \quad \text{per } 10 \leq s/d \leq 100 \quad (5 \text{ b})$$

Per la disposizione parallela alla corrente, con:

$$u_w/u = 0,48 (s/d)^{0,14} \quad \text{per } 4 \leq s/d \leq 20 \quad (6 \text{ a})$$

$$u_w/u = 0,70 (s/d)^{0,08} \quad \text{per } 20 \leq s/d \leq 100 \quad (6 \text{ b})$$

Adottando la convenzione della disciplina selvicolturale i diametri e le distanze della vegetazione con risposta rigida sono rilevati a petto d'uomo (Darby, 1999). Il ciclo iterativo della (1) ÷(4) viene ripetuto finchè la differenza di portata transitabile nella sezione tra due successive stime rientra in un valore massimo di tolleranza impostato dall'utente (*range* impiegabile tra 0 e 1).

## 2.2 Raccolta dati

Successivamente agli studi di Darby e Thorne (1996) e di Pistolesi (2001), i corsi d'acqua finora analizzati con l'implementazione di *Hmodel* da parte degli autori sono il fiume Marta (Civitarese, 2000 in Preti, 2002), il fiume Greve (Castaldi, 2001 in Preti, 2002), il torrente Teggina ed il fiume Arno (Guarnieri e Preti, 2005) ed il torrente Ripopolo (Baronti et al., 2007; Guarnieri et al., 2007).

In particolare, nell'ultimo caso, basandosi su simulazioni idrauliche si è ricavata un'indicazione dell'impatto della vegetazione riparia sul deflusso idrico, valutando di conseguenza l'opportunità e la metodologia per eseguire un intervento di manutenzione finalizzato alla riduzione del rischio idraulico ed all'eventuale utilizzo della biomassa ricavabile.

Il rilievo plano-altimetrico è relativo a nove sezioni trasversali di cui si riporta una rappresentazione semplificata della sezione trasversale (Fig. 2) passante per la stazione di rilievo con l'indicazione delle tre zone del *transect* (zona A, B, C di maggior spessore di linea), di cui nel seguito. Dal profilo longitudinale in tale tratto è stata ricavata una pendenza di 1,624%

Per maggiori dettagli si rimanda a Baronti (2005) ed alla pubblicazione in corso di stampa (Baronti et al., 2007).

Si riporta di seguito, sempre a titolo esemplificativo, una curva granulometrica ottenuta con il metodo numerale delle percentuali di sedimento passante e riferite alle frequenze cumulate di 40 campioni nell'alveo (Fig. 3):

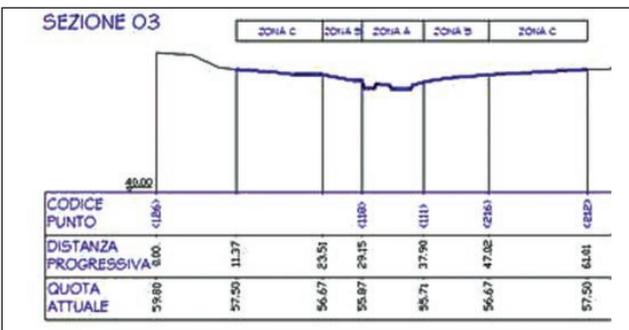
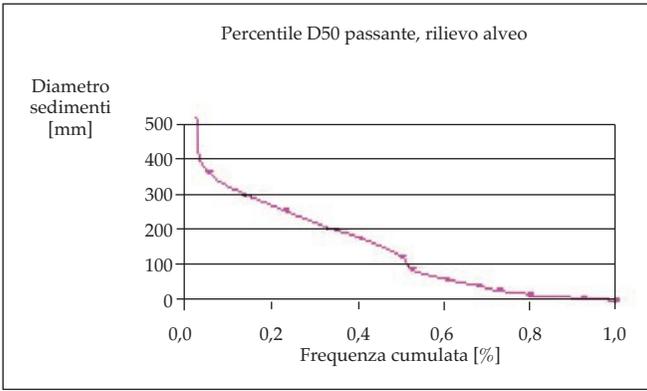


Fig. 2 - Estratto della sezione trasversale numero 03 con sviluppo complessivo di 142.89 m, in evidenza di spessore zona A, B, C



**Fig. 3** - Curva granulometrica in alveo  $D_{50}= 128.0$  mm

Le curve di deflusso, ottenute applicando la funzione HQC "Upper case characters" di HModel e successivamente elaborate con portate di piena per tempi di ritorno da 2 a 200 anni, ricavate dal modello stocastico-deterministico AITo "Alluvioni in Toscana" (Preti et al., 1996), hanno permesso di valutare le condizioni associate all'assenza e presenza di vegetazione ripariale.

In tabella 1 si riportano i valori delle portate di massima piena in funzione di assegnati tempo di ritorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200).

Si riporta nelle tabella 2 e 3 il confronto tra la situazione precedente e successiva all'intervento di manutenzione:

Tr [anni]	2	5	10	20	50	100	200
Q [m <sup>3</sup> /s]	26,63	35,72	44,05	54,08	69	83,02	101,56

**Tab. 1** - Portate di massima piena (Q) in funzione del tempo di ritorno (Tr), derivazione AITo 2000

Zona	D	s	s/d	Q	T <sub>r</sub>	H <sub>veg</sub>	H <sub>sed</sub>	B	B/H <sub>veg</sub>	Q <sub>veg</sub>	Q <sub>sed</sub>	$\frac{(Q_{sed}-Q_{veg})}{Q_{sed}}\%$
	[m]	[m]		[m <sup>3</sup> /sec]	[anni]	[m]	[m]	[m]		[m <sup>3</sup> /sec]	[m <sup>3</sup> /sec]	%
A	0,10	1,95	19	26,63	2	1,47	1,28	13,74	9	18,64	26,63	30,00
B	0,08	1,05	13	58,95	30	2,01	1,66	23,12	12	36,05	58,95	38,86
C	0,36	4,17	12	101,56	200	2,48	1,97	38,30	15	56,61	101,56	44,26

**Tab. 2** - Parametri del transect prima della martellata di taglio, differenziato nelle zone A, B, C con diametro medio delle piante (d), spaziatura media delle piante (s), rapporto s/d, portata (Q) e relativo tempo di ritorno (T<sub>r</sub>), tirante idrico in presenza di vegetazione non manutenzionata (H<sub>veg</sub>), tirante idrico in assenza di vegetazione (H<sub>sed</sub>), larghezza di alveo (B) corrispondente a tirante idrico H<sub>veg</sub>=h, rapporto B/h, portata in presenza di vegetazione non manutenzionata (Q<sub>veg</sub>), portata in assenza di vegetazione (Q<sub>sed</sub>), riduzione percentuale della capacità di smaltimento di portata della sezione  $\frac{(Q_{sed}-Q_{veg})}{Q_{sed}}\%$  valutabile anche come soprizzo idrico

Zona	D	s	s/d	Q	Tr	Hveg	Hsed	B	B/Hveg	Qveg	Qsed	(Qsed-Qveg)/Qsed %
	[m]	[m]		[m <sup>3</sup> /sec]	[anni]	[m]	[m]	[m]		[m <sup>3</sup> /sec]	[m <sup>3</sup> /sec]	%
A		0,00	0	26,63	2	1,42	1,28	0,00		19,38	26,63	27,22
B	0,11	10,62	97	58,95	30	1,82	1,66	19,40	11	43,89	58,95	25,55
C	0,13	9,61	74	101,56	200	2,15	1,97	30,21	14	76,79	101,56	24,39

Tab. 3 - Parametri del transect dopo la martellata di taglio

In figura 4 si riportano le curve di deflusso per una sezione in esame elaborate con *Hmodel* ponendo a confronto la situazione attuale della sezione (vegetazione non manutenzionata), l'ipotesi di taglio (vegetazione manutenzionata) e la stima in assenza di vegetazione (presenza di soli sedimenti).

Si specifica che è stato determinato il rapporto "di forma" (*B/h*) fra la larghezza della sezione *B* ed il tirante idrico *h* in ogni elaborazione, calcolando il tirante idrico fornito dalle linee di tendenza delle curve di deflusso, in presenza e assenza di vegetazione, per i valori di portate di piena sopra riportati. Quindi è stato ottenuto il valore *B* dalla stima, nelle sezioni topografiche, della larghezza del pelo libero corrispondente al tirante idrico *h* calcolato.

È stato quindi possibile determinare l'ampiezza di zone del transect differenziate in base alle caratteristiche di deflusso delle portate, denominate con le lettere A, B, C di cui alla Fig. 2 (Tab. 4).

In dettaglio le tre zone distinte corrispondono:

- A, alveo di modellamento corrispondente effettivamente ad una portata di piene rive dell'alveo inciso, con tempo di ritorno di 2 anni;
- B, zona periodicamente inondata da piene con range di portate con tempo di ritorno compreso tra 5 e 30 anni;

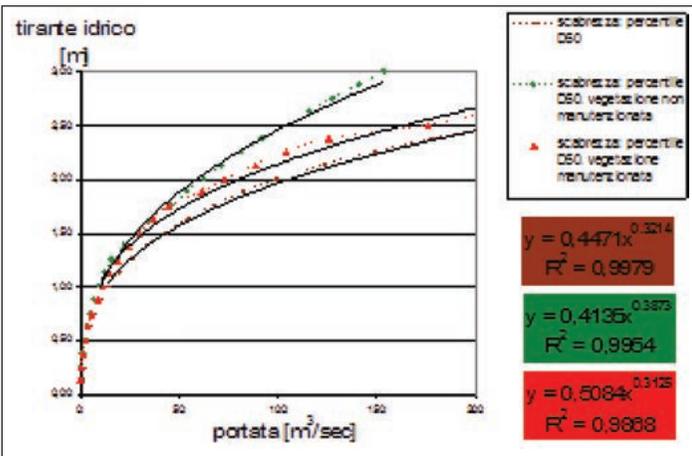


Fig. 4 - Curve di deflusso per il confronto fra gli effetti di presenza di vegetazione non manutenzionata o manutenzionata e di assenza di vegetazione

Zona	Q [m <sup>3</sup> /sec]	Tr [anni]	Hveg [m]	Hsed [m]	B [m]	B/Hveg
A	26,63	2	1,47	1,28	13,74	9
B	58,95	30	2,01	1,66	23,12	12
C	101,56	200	2,48	1,97	38,30	15

**Tab. 4** - Portate (Q), tempi di ritorno associate alle portate (Tr), tirante idrico in presenza di vegetazione (H<sub>veg</sub>) e in sola presenza sedimenti (H<sub>sed</sub>), larghezza di alveo corrispondente al tirante idrico (B), rapporto di forma tra B e Hveg differenziati per le tre zone (A, B, C) del transect

- C, restante area golenale corrispondente a portata con tempo di ritorno di 200 anni.

Nella simulazione d'intervento (Fig. 4) si è realizzata una martellata con i seguenti criteri (Baronti et al., 2007):

- eliminazione di ogni individuo morto, deperiente, dominato o prostrato, al fine di ridurre il quantitativo di necromassa prodotta in tempi brevi;
- zona A: eliminazione di tutte le piante presenti all'interno dell'alveo, al fine di evitare ostacoli al deflusso delle acque; rilascio degli individui più vigorosi di ogni ceppaia sulle sponde, al fine di garantirne la stabilità;
- zona B: eliminazione di tutti gli individui che da un'analisi visiva evidenziano segni di instabilità (presenza di lesioni, marciumi, marcata disseccamenti della chioma, ecc.) e selezione degli individui più vigorosi da rilasciare;
- zona C: taglio di avviamento all'altofusto, con selezione di 1 o 2 polloni per ogni ceppaia scelti fra i più vigorosi, prevalentemente di cerro.

### 3. Discussione

I criteri di intervento nei corsi d'acqua naturali devono prevedere un trattamento differenziato considerando, oltre al tipo di vegetazione omogenea o meno, le caratteristiche della sezione composita e della scabrezza eterogenea.

L'obiettivo fondamentale del presente lavoro era quello di approfondire il funzionamento di *HModel* sia nel caso di vegetazione erbacea (formule di Kouwen, 1988 in Darby, 1999) sia in quello di vegetazione legnosa-arborea (formule di Thomson e Robertson, 1976) al fine di un suo utilizzo per la pianificazione di interventi di manutenzione.

La prima è di interesse, ad es., per i canali di bonifica oggetto di sfalci periodici, mentre nei corsi d'acqua finora esaminati (Marta, Greve, Teggina, Arno, Ripopolo) è prevalente la seconda tipologia di vegetazione. In essi l'ipotesi di intervento deve essere considerata per la sua natura correttiva, utile a risolvere determinate urgenze, e dunque non paragonabile, in termini di volume legnoso utilizzato e di modalità d'intervento, agli interventi canonici (Baronti, 2005; Guarnieri e Preti, 2005; Guarnieri, Preti e Mazzanti, 2006).

In particolare, nella zona B del caso in esame (Fig. 2), da sottoporre ad un

taglio selettivo, è stato stimato un rapporto tra spaziatura e diametro medio della componente arborea ( $s/d$ ), tale da minimizzare l'effetto di riduzione della capacità di smaltimento di piena nella sezione, associato alla presenza di vegetazione riparia.

Si ricorda che solo con valori di  $B/h$  inferiori a 10 si riscontrano una riduzione della capacità di smaltimento della portata ed un corrispondente sovralzato idrico in genere superiori al 5%, in accordo con i risultati di letteratura (in Preti, 2002).

Il parametro  $mei$  considerato nel modello come limite per il passaggio dal caso di vegetazione erbacea a quello di vegetazione legnosa ( $200 \text{ N/m}^2$ ) corrisponderebbe ad un'altezza della vegetazione compresa fra 0,9 e 2,5 m (valore medio 1,7 m) secondo le equazioni (3). Considerando il valore del modulo  $E$  di elasticità di Young (ad es. del salice) ed il momento di inerzia di un cerchio, questo limite corrisponderebbe, ad una spaziatura fra le piante di 5 m per un diametro del fusto di 2 cm (valore di effettiva flessibilità per il salice) o di 20 m per 4 cm (valore di rigidità secondo Weitzer et al., 1988 e 2000 in Florineth e Molon, 2005).

Questi aspetti sono da approfondire, in considerazione della manutenzione e della selezione naturale delle piante in coperture diffuse (ad es. Molon, 2007 rileva, a 5 anni dalla realizzazione dell'opera di difesa spondale, densità variate da circa 20 a 6 piante/ $\text{m}^2$  quindi spaziatura da circa 0,2 m a 0,4 m con diametro medio variato da meno di 1 cm a circa 3 cm, con aumento dallo 0 a circa il 30% delle piante "rigide" con diametro maggiore di 4 cm).

Si ricorda, a tale proposito, che il motivo di utilizzare il parametro  $mei$  è proprio dovuto alla difficoltà di misurare separatamente  $M$ ,  $E$  ed  $I$  e che esso tiene conto del fatto che un aumento di  $M$  ha effetti simili ad un aumento della rigidità ( $EI$ ) delle singole piante, in accordo con il criterio di Kouwen (1988) e sue rivisitazioni (es. Tab. 1 in Carollo et al., 2005). Inoltre le formazioni vegetali riparie o porzioni di esse non sempre possono essere classificate come "flessibili" o "rigide" ed il valore limite di  $mei=200 \text{ N/m}^2$  è stato indicato in Darby (1999) come limite superiore dei dati di calibrazione delle equazioni (3). In realtà è utile individuare un passaggio "continuo" fra le (3) e le equazioni (5) e (6).

Nella calibrazione di  $Hmodel$  si è evidenziata la necessità di un accurato impiego del parametro di tolleranza, come riportato sinteticamente in figura 5.

Le discontinuità per valori immediatamente inferiori e superiori al valore di 10 si potrebbero addebitare per il ricorso, nel modello idraulico, alle due diverse espressioni (5 a) e (5 b) del rapporto tra velocità intorno al tronco e velocità media della corrente in alveo, con disposizione casuale (Darby, 1999).

Da tale considerazione si ritiene utile procedere ad una verifica ed eventuale aggiornamento del modello, come condiviso anche dall'autore (Darby, com. pers.). A tale scopo sono in corso procedure di validazione e calibrazione con dati sperimentali.

Si conferma in ogni serie di dati di ciascuna sezione la tendenza ad una riduzione nella capacità di smaltimento, che assume un valore non apprezzabile, inferiore alla variazione del 5%, quando la vegetazione arborea è caratterizzata da valori  $s/d$  superiori a 10. Per valori superiori si verifica sempre una sta-

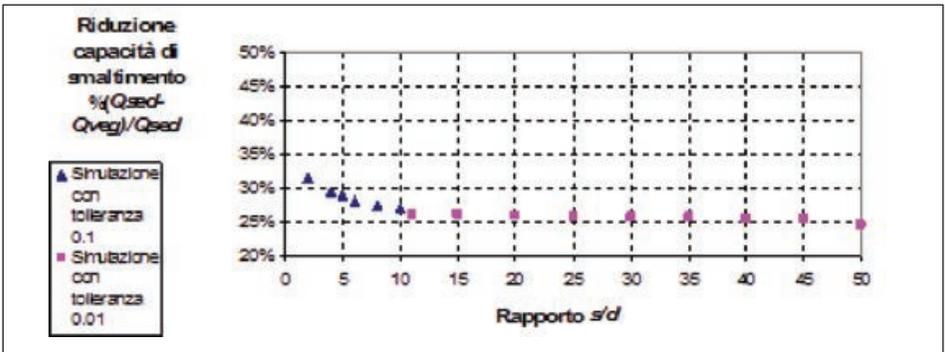


Fig. 5 - Relazione tra riduzione capacità di smaltimento in presenza e assenza vegetazione ( $\%(Q_{sed}-Q_{veg})/Q_{sed}$ ) in funzione rapporto spaziatura media/diametro medio piante in corsi di zona pedomontana (Fosso e Torrente Teggina) con tolleranza calcoli pari a 0,01 e 0,1

bilizzazione nella riduzione di capacità di smaltimento della sezione.

Se ne deduce la convenienza a mantenere nelle sezioni strette, dove la vegetazione gioca un ruolo rilevante, una spaziatura delle piante che sia almeno dieci volte il loro diametro medio.

Per tale motivo si specifica che nell'intervento selettivo ipotizzato per la zona B si è proposto di rilasciare gli individui a condizione che la loro interdistanza  $s/d > 10$  oppure, per interdistanze minori con allineamento tale da non costituire punti di accumulo per i detriti legnosi trasportati.

#### 4. Conclusioni

Si ritiene di poter affermare che l'utilizzo di *HModel* per la simulazione di interventi di manutenzione della vegetazione riparia consente la verifica del controllo delle interferenze fonti di rischio potenziale (innalzamento dei livelli idrici, concorrenza a fenomeni di *debris-flow*, etc.) e la conferma delle funzioni positive della vegetazione stessa (contenimento nell'alveo inciso e stabilità di sponda, rallentamento della corrente, zona di *buffer* vegetazionale, mantenimento *habitat*, etc.).

Sono stati, inoltre, evidenziati aspetti relativi alla validazione di *HModel* che saranno approfonditi con l'interpretazione modellistica di misure sperimentali (Florineth et al., 2003; Molon, 2007; Rauch, 2006; altri Autori in Chiaradia e Bischetti, 2007), attualmente in corso.

#### Bibliografia

1. Aisenbrey A.J. et al. (1978), *Design of Small Canal Structures*, U.S. Dept. of Interior, Bureau of Reclamation, Denver.
2. Arcement G. J., Schneider V. R. (2001), *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*, U. S. Geological Survey, Water

3. Baronti F. (2005), *Vegetazione ripariale e rischio idraulico: il caso del Torrente Ripopolo nel Parco di Montioni (Li)*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Firenze.
4. Baronti F., Bianchi L., Calamini G., Guarnieri L., Maltoni A., Paci M., Preti F., Salbitano F., Tani A. (2007), *Biomassa e gestione della vegetazione di sponda: il caso del Torrente Ripopolo (Li)*. Italia Forestale e Montana, in corso di stampa.
5. Bellezza M., Nasini L., Casadei S., Standardi A. (2005) *Watercourse maintenance: a look at the plants and the hydrology of a case study on the Tiber River*. River Basin Management III, pp. 443-454.
6. Betti M., Ginanni F., Becchi I., Rinaldi M. (2006), *Dinamiche di accumulo dei detriti arborei in alvei fluviali*. Atti XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma, 10-15 settembre 2006.
7. Carollo F. G., Ferro V., Termini D. (2005), *Flow Resistance Law in Channels with Flexible Submerged Vegetation*. J. Hydr. Div., ASCE, 131 (7), pp. 554-564.
8. Chang H. H. (1992), *Fluvial Processes in River Engineering*, Krieger Publ. Co., Malabar
9. Chiaradia E. A., Bischetti G. B. (2007), *Calcolo della portata in alvei vegetati: interpretazione dei diagrammi di Kauch tramite l'applicazione di modelli mono-dimensionali*. Atti del Convegno I Sezione AIIA, Milano, 27-28 marzo 2007.
10. Chow, V. T. (1959), *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill, Boston-New York.
11. Copeland, R. (2000), *Determination of Flow Resistance Coefficients Due to Shrubs and Woody Vegetation*. Technical Report, U.S. Army Corps of Engineers.
12. Darby S. (1999), *Effect of riparian vegetation on flow resistance and flood potential*. J. Hydr. Div., ASCE, 125 (5), pp. 443-453.
13. Darby S., Thorne C. R. (1996), *Predicting stage-discharge curves in channels with bank vegetation*. J. Hydr. Div., ASCE, 122 (10), pp. 583-586.
14. Davis C. V., Sorensen K.E. (1969), *Handbook of Applied Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co.
15. DVWK (1991), *Hydraulische Berechnung von Fließgewässern*, Merkblätter 220, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
16. Escarameia, M., Gasowski, Y., May, R., (2002), *Grassed drainage channels hydraulic resistance characteristics*, Water Marit. Eng 154 (4), 333-341.
17. Fathi-Moghadam, M., and Kouwen, N. (1997), *Non-rigid, non-submerged, vegetation roughness in flood plains*, J. Hydr. Engrg., ASCE, 123(1), 51-57.
18. Fischenich, J.C. (1997), *Hydraulic Impacts of Riparian Vegetation; Summary of Literature*. U.S. Army Corps of Engineers, Technical Report EL-97-9, Washington, D.C.
19. Fischenich, C. and Dudley S., (2000), *Determining Drag Coefficients and Area for Vegetation*, Technical Note EMRRP SR-08. Fischenich, C. Resistance Due to Vegetation. 2000. Technical Note EMRRP SR-07.
20. Flippin-Dudley, S.J., Abt, S.R., Bonham, C.D., Watson, C.C., and Fischenich, J.C. (1998), *Evaluation of Flow-Resistance Equations for Vegetated Channels and Floodplains*. U.S.
21. Florineth F., 2007, *Calcoli idraulici e statici delle tecniche in verde*, Convegno nazionale AIPIN Innovazioni biotecniche nei settori infrastrutturali e della difesa del suolo, Colombaro di Corte Franca - 14 e 15 giugno 2007
22. Florineth F., Meixner H., Rauch H. P., Vollsinger S. (2003), *Prove di forza*. ACER, 2 (2003), pp. 73-78.
23. Florineth F., Molon M. (2005), *Dispensa di ingegneria naturalistica*, Istituto di Ingegneria Naturalistica e Costruzione del Paesaggio, Univ. di Bodenkultur, Vienna, pp. 144.

24. Freeman, G. E., Rahmeyer, W. H., and Copeland, R. R. (2000), *Determination of resistance due to shrubs and woody vegetation*, Technical Report, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
25. Graf, W. (1996), *Hydraulique Fluviale*, Tome 2, *Traité de Génie Civil*, EPFL, Vol. 16, Lausanne
26. Guarnieri L., Preti F. (2005), *Criteri per la manutenzione della vegetazione ripariale di corsi d'acqua collinari e montani*. Atti VIII Convegno Nazionale AIIA "L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea", Catania, 27-30 giugno 2005.
27. Guarnieri L., Preti F., Bianchi L., Calamini, G., Maltoni A. (2007), *Manutenzione di un corso d'acqua in area costiera: interazione tra vegetazione riparia e corrente idrica*, 1a sez. AIIA 2007: Milano, 27-28 marzo 2007
28. Gurnell A. M. et al. (2002), *Large wood retention and fluvial processes*. *Freshwater Biology*, 47 (4), pp. 601-619.
29. Henderson, F.M. (1966), *Open Channel Flow*, McMillan, New York
30. Hey, R. D. (1979), 'Flow resistance in gravel-bed rivers, *J. Hydr. Div., ASCE*, 105(4), 365-379.
31. Järvelä, J. (2002), *Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants*, *J. Hydrol.*, 269(1-2), 44-54.
32. Järvelä, J. (2002b), *Determination of flow resistance of vegetated channel banks and floodplains*, In *River Flow 2002* (Eds. Bousmar, D. and Zech, Y.), Swets & Zeitlinger, Lisse, pp. 311-318.
33. Järvelä, J., (2004), *Determination of flow resistance caused by nonsubmerged woody vegetation*. *Int. J. River Basin Manage.* 2 (1), 61-70.
34. Jordanova, A.A. and James, C.S. (2003), *Experimental study of bed load transport through emergent vegetation*, *J. Hydr. Engrg.* 129(6): 474-478.
35. Kadlec, Robert H. (1990), *Overland Flow in Wetlands: Vegetation Resistance*, *Journal of Hyd. Div. Engr.*, ASCE 116(5):691-706.
36. Kean J. e Dungan Smith, J. (2005), *Generation and verification of theoretical rating curves in the Whitewater River basin, Kansas*, *Journal of Geophysical Research*, Vol., 110, F04012, doi:10.1029/2004JF000250, 2005
37. Kouwen, N. and Li, R.M. (1980), *Biomechanics of Vegetative Channel Linings*, *Journal of the Hydraulics Division*, *Proceedings of the ASCE* 106(6):1085-1103.
38. Kouwen, N. (1988), *Field estimation of the biomechanical properties of grass*, *J. Hydraulic Res.* 26 (5), 559-568.
39. Kouwen, N., Fathi-Moghadam, M. (2000), *Friction factors for coniferous trees along rivers*, *J. Hydraulic Eng.* 126 (10), 732-740.
40. McMahon, T. A. (1975), *The mechanical design of trees*, *Sci. Am.*, 233, 92-102.
41. Meijer, D.G. and van Velzen, E.H. (1999), *Prototype-scale flume experiments on hydraulic roughness of submerged vegetation*, *Proceedings of the 28th IAHR Congress*. Graz, Austria.
42. Molon M., 2007, *Studio dello sviluppo dei salici in una copertura diffusa sul fiume serio in relazione alla necessità di eseguire delle opere di manutenzione*, Convegno nazionale AIPIN Innovazioni biotecniche nei settori infrastrutturali e della difesa del suolo, Colombaro di Corte Franca - 14 e 15 giugno 2007
43. Niklas, K. J., and Moon, F. C. (1988), *Flexural stiffness and modulus of elasticity of flower stalks from Allium sativum as measured by multiple resonance frequency spectra*, *Am. J. Botany*, 75(10), 1517-1525.
44. Pasche, E. and Rouvé, G. (1985), *Overbank flow with vegetatively roughened flood plains*, *J. Hydr. Engrg.* 111(9): 1262-1278.

45. Petryk, S. and Bosmajian, G.B. (1975), *Analysis of flow through vegetation*, J. Hydr. Div. ASCE 101(7): 871–884.
46. Preti F. (2002), *Criteri per le sistemazioni idrauliche con tecniche di ingegneria naturalistica*, Manuale di Ingegneria Naturalistica - settore idraulico, 2 (09), Regione Lazio, pp. 49-64.
47. Raffaelli S., Domenichini F., Solari L., (2002), *Resistenza al moto in un alveo vegetato: Indagine sperimentale di laboratorio*, Atti XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Editoriale Bios, Cosenza, pp. 223-230.
48. Raffaelli, S., Domenichini, F., Solari, L. (2002), *Resistenza al moto in un alveo vegetato: indagine sperimentale di laboratorio*, XXVIII Convegno nazionale di costruzioni idrauliche. Vol. 5.
49. Rauch H.P. (2006), *Hydraulischer Einfluss von Geholzstrukturen am Beispiel einer ingenieurbiologischen Versuchsstrecke am Wienfluss*, BOKU, Guthmann-Peterson, Wien
50. Righetti M., Armanini A., Campanelli L. (2004), *Effetto della scabrezza di parete in alvei vegetati*, Atti XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Editoriale Bios, Trento, pp. 549-554.
51. Righetti, M. and Armanini A. (2002), *Flow resistance in open channel flows with sparsely distributed Bushes*, J. Hydrol., 269, 55–64.
52. Sansoni G. (2006), *Box: Vegetazione in alveo: si o no?*, Manuale La Riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d’acqua e il territorio, Mazzanti editore, pp. 147-150.
53. Shields, F.D. and Gippel, C.J. (1995), *Prediction of effects of woody debris removal on flow resistance*, J. Hydr. Engrg. 121(4): 341–354.
54. Soong, T. W. and Hoffman, M. J. (2002), *Effects of Riparian Tree Management on Flood Conveyance. Study of Manning’s Roughness in Vegetated Floodplains with an Application on the Embarras River in Illinois*, Contract Report 2002-02
55. Spinelli R., Magagnotti N. (2007), *Manutenzione degli alvei fluviali, ambiente e biomassa. Alberi e Territorio*, 1-2 (2007), pp. 47-51.
56. Szoszkiewicz, K., Kalu'za, T., Le'sny, J. and Chojnicki, B.H. (2003), *Remote sensing analysis of the floodplain vegetation structure within a section of the MiddleVistula River*, Towards natural flood reduction strategies, Proceedings of the EcoFlood conference, Warsaw, 6–13 September 2003.
57. Temple, D. M. (1987), *'Closure of 'Velocity distribution coefficients for grass-lined channels'*, J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(9), 1224–1226.
58. Thompson G T, Roberson J A. (1976), *A theory of flow resistance for vegetated channels*, Transactions American Society Agricultural Engineering, 19 (2), pag 288-293
59. Wang, H. C., and W. J. Workley. (1966), *Tables of natural frequencies and nodes of transverse vibration of tapered beams*, National Aeronautics and Space Administrations Report NASA-CR-443, Univ. of Illinois, April 1966.