

DINAMICA DI ACCUMULO DEI DETRITI ARBOREI IN ALVEI FLUVIALI

Matteo Betti, Filippo Ginanni, Ignazio Becchi, Massimo Rinaldi

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze – Firenze (IT)
e-mail: filippo@dicea.unifi.it

Parole chiave: idraulica fluviale e ambientale, modelli di laboratorio, rischio idraulico, detriti arborei

SOMMARIO

Nel presente lavoro sono esposte alcune esperienze di analisi della dinamica dei detriti arborei in alvei fluviali. La presenza all'interno dei corsi d'acqua di materiale arboreo, generalmente riscontrabile in forma di accumuli di notevoli dimensioni, risulta di significativa importanza per le dinamiche di deflusso fluviale, specialmente in prossimità delle infrastrutture, e per l'alterazione dell'equilibrio ambientale. Lo studio illustra in prima fase una serie di campagne di rilevamenti, per le quali si è proceduto alla stesura e messa a punto di un'apposita scheda di campo, e in seconda fase l'attività di simulazioni sperimentali effettuate su modello fisico in similitudine di Froude. Nella fase di modellazione si è cercato di riprodurre, oltre alle caratteristiche fisiche di densità del materiale arboreo, la condizione più frequentemente riscontrata di accumulo sulla vegetazione ripariale. Particolare cura è stata rivolta alla ricerca di materiali idonei alla riproduzione in scala delle caratteristiche meccaniche dei detriti.

1 INTRODUZIONE

Con il termine “detrito arboreo” si tende ad identificare tutta la vegetazione, dall'albero intero a parti di esso come tronco, rami o ceppaia, che con modalità diverse termina all'interno degli alvei fluviali e ne entra a far parte integrante del trasporto solido. La presenza e soprattutto l'accumulo di materiale arboreo all'interno dei corsi d'acqua ha forti implicazioni riguardanti gli aspetti dell'incremento del rischio idraulico, dovuto alla riduzione della sezione utile e conseguente aumento dei livelli idrici, degli effetti geomorfologici, valutabili nella diversificazione delle forme d'alveo e nell'influenza della mobilità planimetrica, ed infine negli aspetti di miglioramento dell'habitat degli ecosistemi fluviali strettamente legati al potere autodepurante del fiume. E' proprio il crescente interesse per gli aspetti ambientali che ha portato negli ultimi anni ad una maggiore attenzione nella valutazione della presenza del materiale arboreo, passando da una rimozione completa ed indiscriminata ad una gestione mirata e diversificata che comprendesse, in alcuni casi (soprattutto in alvei nordamericani), anche la reintroduzione dei detriti vegetazionali (Gippel et al., 1996; Piégay & Landon, 1997). Il problema del rischio idraulico è tanto più evidente in quanto la quantità maggiore di detriti arborei viene trasportata proprio durante la fase critica del passaggio dell'onda di piena e in particolare perché i detriti, procedendo sul fronte dell'onda, ostruiscono le sezioni precedentemente il passaggio del colmo dell'evento. La letteratura scientifica è ad oggi carente di studi specifici sull'argomento e in particolare per quanto riguarda gli aspetti idraulici. In particolare sono state indagate analiticamente le condizioni idrodinamiche del moto incipiente dei detriti arborei in relazione alle forze di trascinamento (drag) e di sollevamento (lift) (Braudrick & Grant, 2000; Bocchiola et al., 2004). Altri autori si sono soffermati sul legame tra aumento dei livelli idrici e configurazioni geometriche del detrito come l'orientamento rispetto alla corrente, la profondità di immersione, l'area frontale di impatto e l' “effetto scia” dovuto alla presenza contemporanea di più detriti (Young, 1991; Gippel et al., 1996). In altri casi si è cercato di valutare l'aumento della scabrezza in presenza di detriti arborei ricercando, attraverso modelli fisici, relazioni tra il rapporto di ostruzione e il coefficiente di Darcy-Weisbach, indirettamente legato al coefficiente di drag (Shields & Gippel, 1995). Studi recenti (Braudrick et al., 1997; Braudrick & Grant, 2001) hanno affrontato le condizioni legate al trasporto di diverse quantità di materiale al variare delle configurazioni planimetriche dell'alveo, in particolare di alvei sinuosi e mean-

driformi, oppure lo studio delle traiettorie dei detriti e il loro accumulo in prossimità di manufatti (Ginanni et al., 2000). Per quanto riguarda gli aspetti morfologici, in letteratura sono riportate varie analisi, condotte attraverso studi sul campo, sull'influenza del materiale arboreo accumulato all'interno dei corsi d'acqua in relazione alla mobilità planimetrica dell'alveo e alla diversificazione delle sue forme (Abbe & Montgomery, 1996; Wallerstein et al. 1997) ed anche una prima ricerca di classificare le forme e le varie tipologie di accumulo (Abbe & Montgomery, 2002; Gurnell et al., 2002). In questo contesto è anche evidenziata la notevole importanza che alcune tipologie di detriti, in particolare quelli definiti "Key" o "primari", hanno nella formazione e nella stabilità degli accumuli. Gli aspetti ecologici, spesso trascurati, trovano spazio, solo recentemente, all'interno di analisi che tengano conto degli indici di qualità fluviale (A.N.P.A-Agenzia Nazionale per la Protezione dell'ambiente). In questo lavoro sono riportati, nell'ottica di una migliore comprensione delle dinamiche che concorrono alla formazione e alla permanenza degli accumuli di detriti arborei, i risultati ottenuti da uno studio articolato in due fasi contigue di rilevamenti di campo e sperimentazione in laboratorio attraverso un modello fisico. Alcuni degli aspetti fondamentali di questo studio sono da individuarsi in un primo tentativo di costruire una scheda di rilevamento (imperfetta e perfezionabile) che tenesse conto dei vari fattori che concorrono alla definizione del fenomeno (caratteristiche dell'alveo, dell'accumulo e dell'elemento primario), e nell'individuazione di materiali idonei alla riproduzione in scala delle caratteristiche di resistenza meccanica del materiale arboreo secco. Questo studio si è prefisso anche lo scopo di mettere a punto e pianificare una metodologia sperimentale per l'analisi delle condizioni di trasporto ed accumulo dei detriti arborei.

2 CAMPAGNE DI RILIEVI

Le campagne di rilevamento degli accumuli di detriti arborei sono state condotte nei mesi di Maggio e Giugno 2005 sui fiumi Cecina (Toscana), Magra (Toscana-Liguria) e Vara (Liguria). In totale si sono classificati 63 accumuli, lungo tratti con un range di pendenze tra 0.015 e 0.0025. Per la classificazione si è fatto uso della scheda di rilevamento messa a punto e calibrata in base a quanto riscontrato sul campo. La scheda si articola in tre parti principali che descrivono rispettivamente le caratteristiche del tratto-segno fluviale in esame, dell'accumulo e dell'elemento primario. All'interno della scheda si è inoltre adottato un codice alfanumerico per l'individuazione e catalogazione immediata degli accumuli identificati.

La prima parte è incentrata sul segmento fluviale analizzato attraverso la descrizione delle caratteristiche geometriche-morfologiche, le caratteristiche delle sponde e della vegetazione.

La seconda parte pone l'attenzione sull'intero accumulo di materiale arboreo attraverso la definizione di alcuni aspetti particolari come: origine dei detriti che compongono l'accumulo; tipologia di accumulo e tessitura; presenza e numero di elementi primari; configurazione planimetrica e posizione rispetto ai punti cardinali tramite GPS; dimensione dell'accumulo; interazione con i sedimenti.

La terza e conclusiva parte riguarda gli aspetti legati all'elemento primario: provenienza; orientamento, dimensione, sommersione e configurazione planimetrica; attività vegetativa, vitalità, stato del tronco e dei rami, presenza della ceppaia; interazione con i sedimenti.

Quest'ultima parte si è resa necessaria perché negli studi presenti in letteratura si ritiene che l'elemento primario (o significativo), in base alle proprie dimensioni e alla configurazione planimetrica, rivesta un ruolo fondamentale nella formazione e nel mantenimento della stabilità degli accumuli nel tempo.

I risultati delle campagne di rilievo hanno evidenziato come, relativamente ai campioni individuati, la percentuale maggiore di accumuli abbia la caratteristica di essere stati causati dall'impatto della corrente, che trasporta i detriti durante un evento di piena, sulla vegetazione ripariale presente in alveo con conseguente loro trattenuta. Il fenomeno è assimilabile a quello che potrebbe verificarsi su una griglia a pettine. In letteratura questa tipologia di accumuli instabili è definita "accumulo da piena" (Figura 3)

| CARATTERISTICHE DETRITI LEGNOSI | | | |
|---|---------------------------|--|---|
| CARATTERISTICHE ACCUMULO DETRITICO (LWD JAM) | | | |
| Identificatore accumulo: | | Rif fotografico | |
| Origine dei detriti arborei che compongono l'accumulo | | | |
| AUTOCTONI | | ALLOCTONI o TRASPORTATI | |
| COMBINAZIONE | | | |
| Tipo di accumulo | | Presenza elementi primari-Key members | |
| Da sponda (bank input) | rif fotografico | assenti | rif fotografico |
| Acc.con sifonamento (underflow Jam) | | singolo ben visibile | |
| Tronco a traversa (log step) | | singolo parzialmente visibile | |
| Acc. di riva (bench Jam) | | singolo esistente presumibilmente | |
| Apice di barra (bar apex) | | multipli ben visibili | |
| Accumulo di meandro (meander Jam) | | multipli parzialmente visibili | |
| Da colata/piena (debris flow/flood) | | multipli esistenti presumibil. | |
| Sormento di sponda (bank edge revetment) | | Dimensione accumulo | |
| Accumulo per deposizione su barra | | ortogonale alla corrente (m) | |
| Ostruzione valle (valley Jam) | | parallela alla corrente (m) | |
| Deflettore di corrente (flow deflection Jam) | | altezza (m) | |
| Accumulo a diga (dam Jam) | | n° di detriti che la compongono | <input type="checkbox"/> singolo <input type="checkbox"/> 2-5 <input type="checkbox"/> >5 |
| Config. Planimetrica-posizionamento | | Posizione | |
| 1-Pile di ponte | rif fotografico | GPS | |
| 2.Tra veget.arbustiva più elevata | | Nord | |
| 3.Sommità di sponda | | Est | |
| 5.Al piede di sponda | | Sx o Dx idrografica | |
| 6.Interno alveo | | Tessitura | rif fotografico |
| 7.Su barra | | Maglia intrecciata stretta | |
| 8.Su sommità di barra | | Maglia intrecciata larga | |
| 9.Su barra di meandro | | Disposizione parallela stretta | |
| 10.Su isola vegetata | | Disposizione parallela larga | |
| 11.Tra vegetaz.pioniera(2-5 anni) | | Nessuna disposizione prevalente | |
| 12.Tra veget. post pioniera(>5 anni) | | Nessuna tessitura | |
| Interazione accumulo-sedimenti | | Età (presunta) | |
| Deposito a monte | Escavazione fondo | a monte | <input type="checkbox"/> 1 anno |
| Deposito a valle | | a valle | <input type="checkbox"/> 2-5 anni |
| Deposito laterale | | laterale | <input type="checkbox"/> 5-10 anni |
| tipo di sedimenti | rif. campionamento | | <input type="checkbox"/> >10 anni |

Figura 1. Seconda parte della scheda di rilevamento dedicata alle caratteristiche dell'accumulo di materiale arboreo.

| CARATTERISTICHE ELEMENTO SIGNIFICATIVO | | riferimento fotografico | |
|---|-------------------------|---|--|
| Identificatore elemento: | | Rif fotografico | |
| Provenienza | | Config. Planimetrica-posizionamento | |
| Autoctona | | Rif fotografico _____ | |
| Alloctona | | ancorato/non ancorato | |
| Incerta | | <input type="checkbox"/> 1. Sommità di sponda <input type="checkbox"/> 2. Sezione med. della sponda <input type="checkbox"/> 3. Base della sponda | |
| Orientamento | | Schema accumulo-elemento significativo | |
| Rispetto al nord | | vitalità e inclinazione verticale | |
| Risp. alla direzione corrente | | | |
| Rispetto alla verticale | | | |
| Dimensione | | | |
| Lunghezza (m) | | | |
| Diametro (cm) | | | |
| Sommersione | | | |
| Sommersione testa (cm) | | | |
| Sommersione piede (cm) | | | |
| Vitalità | | | |
| Buona (V) | rif fotografico | | |
| Scarsa (B) | | | |
| Assente (M) | | | |
| Tronco marcescente (R) | | | |
| Rami | | | |
| Assenza | | | |
| Solo nodi | | | |
| Incompleti o spezzati | | | |
| Tutti i rami senza rotture | | | |
| Tronco | | | |
| Intatto | | | |
| ISC-intatto senza cortec. | | | |
| S-poco consistente | | | |
| PZ-a pezzi | | | |
| Corteccia | | | |
| | % | | |
| Specie | | | |
| Ceppaia | | | |
| Inesistente | | | |
| Poche/spezzate radici | | | |
| Solo radici in buono stato | | | |
| Radici con poca terra | | | |
| Radici molle terra e sed. | | | |
| Attività vegetativa presente | | | |
| Molto precedente alla caduta in alveo | | | |
| Recente ma precedente alla caduta in alveo | | | |
| Recente e successiva alla caduta in alveo | | | |
| Ricrescita rami avventizi | | | |
| Inesistente | | | |
| Inesistente ma con detrito sano | | | |
| Inesistente con detrito in avvisto o chiaro stato marcescente | | | |
| Interazione con i sedimenti | | | |
| Deposito a monte dell'elemento | riferimento fotografico | | |
| Deposito a valle | | | |
| Elemento parzialmente coperto | | | |
| Elemento interamente ricoperto | | | |

Figura 2. Terza parte della scheda di rilevamento incentrata sulle caratteristiche dell'accumulo di materiale arboreo.

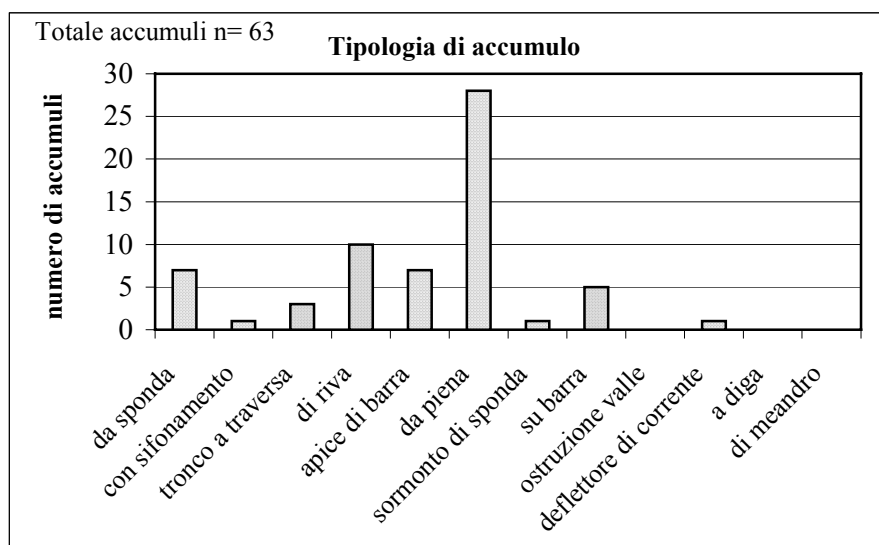


Figura 3. Risultati delle campagne di rilevamenti. La tipologia più riscontrata è stata quella denominata “accumulo da piena”.

3 MODELLO IDRAULICO

La modellazione idraulica è stata effettuata in similitudine di Froude, con scala geometrica λ pari a 1:20, rappresentando schematicamente un tratto vallivo del fiume Cecina, con pendenze dell'ordine di 0.0025. La portata è stata mantenuta costante per tutte le prove effettuate e pari a $Q_{\text{mod}}=30 \text{ l/s} \pm 0.01 \text{ l/s}$, corrispondenti circa ad un valore al reale di $Q_{\text{vero}}=80 \text{ m}^3/\text{s}$, considerata come la portata significativa per il tratto in esame. Il numero di Froude è risultato essere pari a $F_r=0.40$. Il modello, interamente costruito in Polimetilmetacrilato (plexiglas), di sezione rettangolare larga 66 cm ha una lunghezza complessiva di 370 cm. Per facilitare l'immissione in continuo dei detriti arborei è stato posizionato un nastro trasportatore a monte del modello; inoltre è stata posizionata una telecamera digitale per la registrazione video delle simulazioni. Allo sbocco del modello è stato creato un sistema di recupero dei detriti mediante reti che ha permesso la trattenuta dei detriti prima che raggiungessero la vasca di scarico. A circa 200 cm dal punto di immissione dei detriti nel modello è stata riprodotta in maniera stilizzata la vegetazione golenale (figura 4). Tale distanza, pari a circa 8 volte la lunghezza dei detriti maggiori, è stata ritenuta sufficiente affinché i detriti non fossero influenzati dalla geometria del modello ma soltanto dalle caratteristiche turbolente della corrente. La vegetazione è stata sintetizzata con cilindri di plexiglas di diametro $\phi=8 \text{ mm}$, altezza 160 mm e interasse 10 volte il diametro (80 mm), condizione quest'ultima prevalentemente riscontrata in ambiente naturale.

4 MODELLAZIONE DEI DETRITI ARBOREI

Dalle campagne di rilevamento è risultato in maniera marcata la presenza di elementi freschi e secchi mescolati, che si distinguono per forti differenze nel comportamento meccanico. Si è dunque ritenuto necessario porre particolare cura nell'individuazione di materiali idonei, e di facile reperibilità, che potessero riprodurre il più fedelmente possibile le caratteristiche di resistenza meccanica dei modelli. L'analisi dimensionale delle grandezze fondamentali è stata effettuata attraverso la teoria dei modelli idrodinamici, prendendo in considerazione similitudini che rispettassero in scala i numeri di Froude e di Eulero:

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gy}} \quad (1)$$

$$E_u = \frac{U}{\sqrt{\sigma/\rho}} \quad (2)$$

dove : u [L/T] la velocità, σ [M/LT²] la tensione ammissibile, ρ [M/L³] la densità, g [L/T²] l'accelerazione di gravità e y [L] l'altezza del tirante idrico.

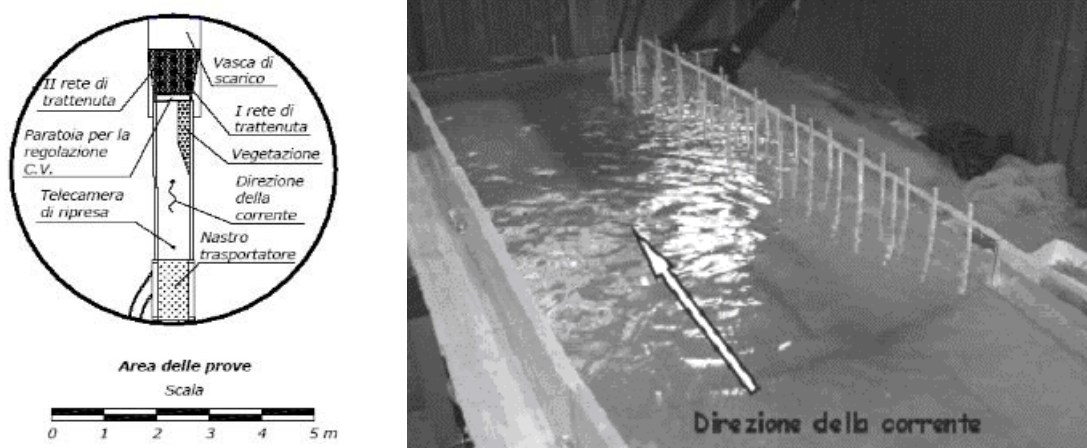


Figura 4. a) Area delle prove. b) Modello della vegetazione riparia.

In queste condizioni, in un modello idraulico in cui si voglia rispettare la similitudine in scala di Froude, il fattore di scala λ risulta sia per le grandezze geometriche che per le caratteristiche di resistenza meccanica. Non sono stati considerati in questa modellazione i numeri di Reynolds e Weber.

Per quanto riguarda i modelli di detriti arborei secchi, si sono effettuate prove di resistenza su vari materiali di uso comune tra i quali il più idoneo è stato ritenuto la resina sintetica comunemente chiamata *ceralacca*. Questo materiale, più di altri, rispetta anche la caratteristica di fragilità propria del legno secco imbibito. Al fine di modellare fedelmente anche la densità dei modelli di detrito arboreo, la *ceralacca* ($\rho \approx 1,6 \text{ g/cm}^3$) è stata fatta aderire a caldo ad una "anima" prismatica di polistirolo espanso (con densità assunta trascurabile) opportunamente dimensionato. Grazie a questo procedimento le densità sono risultate nell'ordine di $\rho \approx 0,8-0,9 \text{ g/cm}^3$. Per la modellazione dei parametri è stato fatto riferimento alle caratteristiche del legno di Pioppo (*Populus*) e di Quercia (*Quercus*) rispettivamente nelle classi di resistenza C 18-22 e D 30-35 (*Gianguco, 2002*).

Gran parte dei modelli sono stati appesantiti alla base con una maggiore quantità di cera, al fine di riprodurre la condizione reale di semigalleggiamento della ceppaia dovuta al peso del materiale terroso e lapideo trattenuto dalle radici.

Per il modello dei detriti arborei freschi, invece, si è cercato di riprodurre la loro caratteristica principale di flessibilità e duttilità che li rende capaci, all'interno dell'accumulo, di deformarsi e ostruire gli spagli interstiziali tra gli altri elementi. A tal fine si sono utilizzati steli di grano (paglia) rivestiti da materiale polisiliconico. Per tutti i modelli si è usato un fattore di scala di 1:20 (*Betti, 2005*).

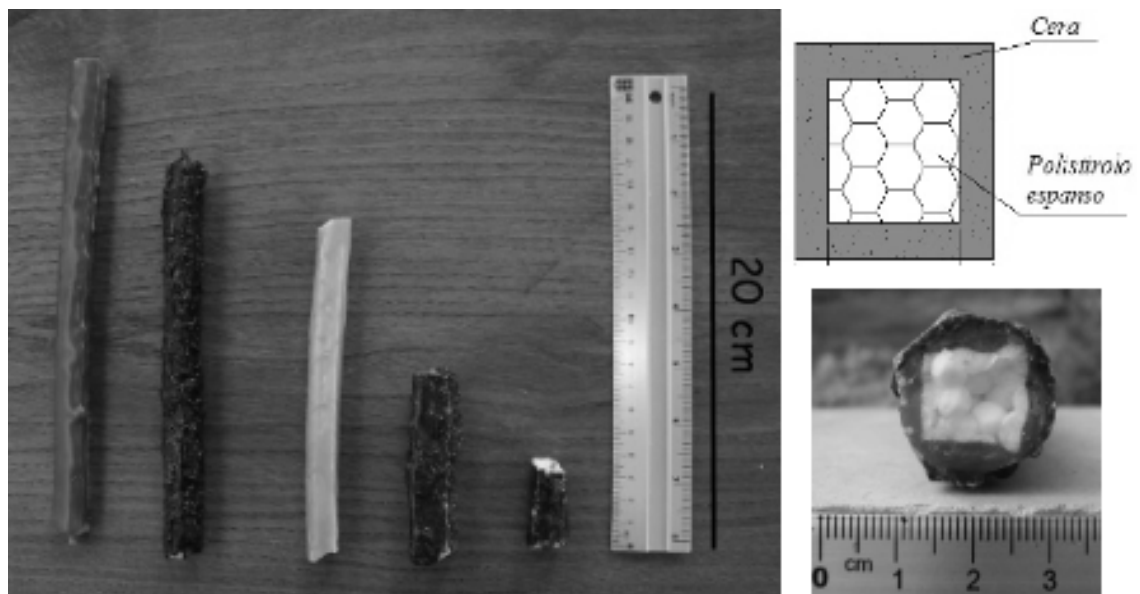


Figura 5. a) Campioni di modelli di detriti arborei secchi utilizzati. b) Sezione trasversale di un detrito secco in cui si può notare l'”anima” di polistirolo espanso e il rivestimento di ceralacca.

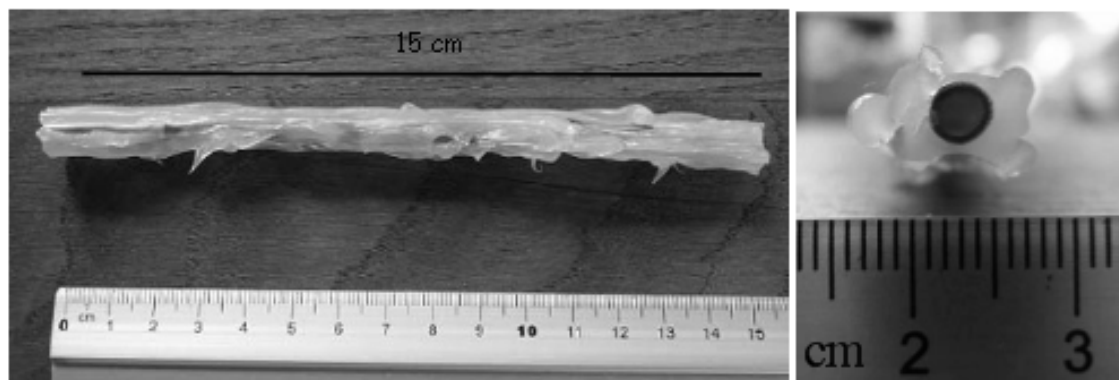


Figura 6. a) Uno dei campioni dei modelli di detriti arborei freschi utilizzati. b) Sezione trasversale di un detrito fresco.

5 PROVE DI ACCUMULO

Le prove di accumulo sul modello di vegetazione riparia sono state effettuate considerando contemporaneamente sia i modelli di detriti secchi che di detriti freschi, in percentuale rispettivamente di 60% e 40% circa sul totale. I modelli sono stati immessi, ad intervalli regolari, attraverso il nastro trasportatore posto in testa al modello. Tutte le riprese video delle prove sono state effettuate in modo tale che il campo visivo comprendesse interamente l'area in studio, permettendo così l'elaborazione delle immagini a posteriori. Nelle prove sono state utilizzate complessivamente 5 diverse classi di lunghezza per i detriti secchi e 7 classi per i detriti freschi. Le classi sono state successivamente raggruppate in macroclassi, delle quali è stata valutata la percentuale di presenza al fine di valutarne le diverse risposte in termini di materiale accumulato.

| Macro classi | | Detriti arborei secchi | | Detriti arborei freschi | |
|-----------------------|------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------|
| | | Intervallo valori dei diametri | | | |
| | | Modello fattore di scala 1:20 | Reale | Modello fattore di scala 1:20 | Reale |
| | | 1,2 - 1,8 cm | 24 - 36 cm | 0,5 - 1,2 cm | 10 - 24 cm |
| | | Classi di lunghezza | | | |
| | | Modello fattore di scala 1:20 | Reale [cm] | Modello fattore di scala 1:20 | Reale [cm] |
| Classe di minori | Classe I | 1-5 cm | 20 - 100 | 1-5 cm | 20 - 100 |
| | Classe II | 6-10 cm | 120 - 200 | 6-10 cm | 120 - 200 |
| | Classe III | 11-15 cm | 220 - 300 | 11-15 cm | 220 - 300 |
| | Classe IV | 16-20 cm | 320 - 400 | 16-20 cm | 320 - 400 |
| Classe di maggiori | Classe V | 21 - 25 cm | 420 - 500 | 21 - 25 cm | 420 - 500 |
| | Classe VI | Non disponibile | Non disponibile | 26 - 30 cm | 520 - 600 |
| | Classe VII | Non disponibile | Non disponibile | 31 - 35 cm | 620 - 700 |

Tabella 1. Caratteristiche dei modelli di detriti arborei utilizzati.

| | Classi minori | Classi maggiori |
|---------|---------------|-----------------|
| Prova 1 | 58% | 42% |
| Prova 2 | 87% | 13% |
| Prova 3 | 87% | 13% |

Tabella 2. Percentuali delle macroclassi utilizzate.

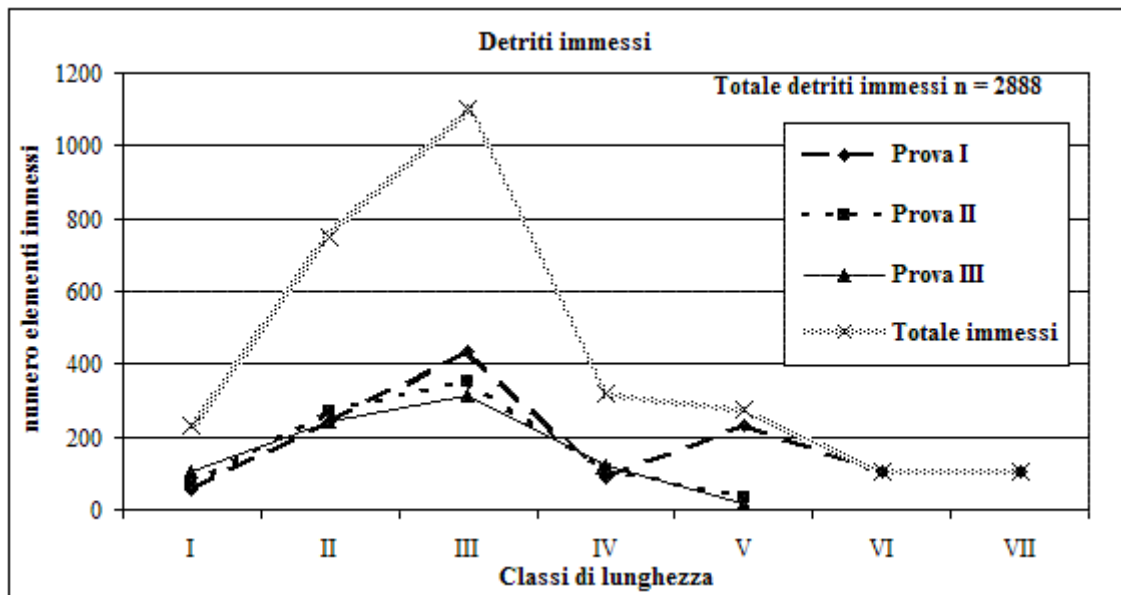


Figura 7. Numero di elementi immessi per classe nelle tre differenti prove.

Da notare che nella prova II e III non sono stati immessi detriti appartenenti alle classi di lunghezza VI-VII.

Per ciascuna prova la portata è stata mantenuta costante e pari a $Q_{\text{mod}} = 30 \text{ l/s} \pm 0.01 \text{ l/sec}$ corrispondente a $Q_{\text{vero}} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$, controllata attraverso un misuratore magnetico di portata. Ogni prova ha avuto la durata di circa 10 minuti pari a 45 minuti al vero.



Figura 8. a) Accumulo di detriti sul modello della vegetazione riparia durante l'esecuzione delle prove. b) Accumulo dopo la diminuzione dei livelli idrici.

CONCLUSIONI

Sia complessivamente che per ciascuna prova sono stati valutati due parametri: il coefficiente di cattura (C_c), sia per classi che sul totale, e l'Indice di Attitudine alla Cattura (IAC), per ogni classe di lunghezza. Il coefficiente di cattura è espresso come rapporto tra elementi transitati e elementi catturati.

$$C_c = \frac{n^\circ \text{Transitati}}{n^\circ \text{Catturati}} \quad (3)$$

L'Indice di Attitudine alla Cattura è espresso come:

$$IAC = \frac{C_c}{C_p} \quad (4)$$

dove C_p = Coefficiente di presenza (o frequenza di transito) è definito:

$$C_p = \frac{n^\circ \text{Transitati per classe}}{n^\circ \text{Transitati totali}} \quad (5)$$

L'Indice di Attitudine alla Cattura tende ad esprimere, a parità di coefficiente, la maggior propensione degli elementi transitati in percentuali minori ad essere catturati.

I risultati complessivi delle tre prove sono esposti di seguito.

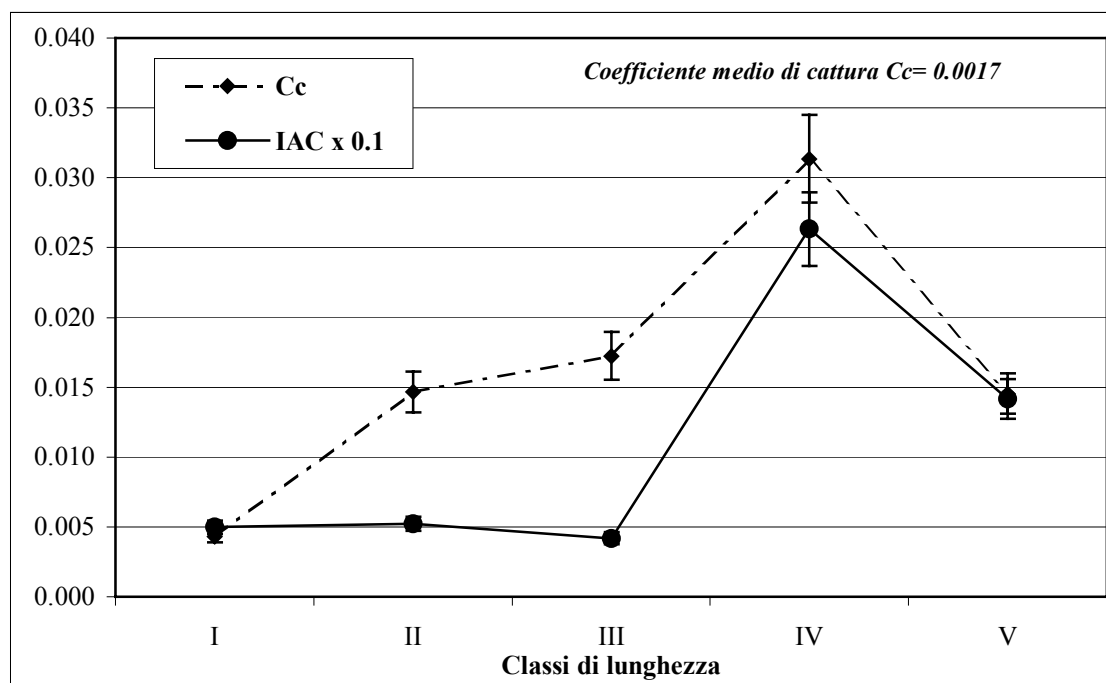


Figura 9. Andamento complessivo del Coefficiente di Cattura e dell'Indice di Attitudine alla Cattura per le classi di lunghezza utilizzate.

Lo studio preliminare descritto in questo lavoro tenderebbe ad evidenziare l'esistenza, per portata fissata, di una classe di lunghezza "privilegiata" per la cattura. La classe IV infatti, corrispondente ad un range di lunghezze al vero pari a 320-400 cm, oltre ad avere il più alto coefficiente di cattura riscontra anche il maggiore Indice di Attitudine alla Cattura. I risultati derivanti dalle tre prove inducono a ritenere che diversamente da quanto si potrebbe dedurre intuitivamente, non sono le classi estreme ad essere maggiormente esposte alla cattura bensì le classi centrali ed una in particolare. Il basso coefficiente medio di cattura ($C_c = 0.0017$) indica che solo una piccolissima parte del materiale transitato rimane intrappolato sulla vegetazione.

Questo lavoro costituisce una prima metodologia di indagine nella quale si è fornita una esperienza di studio delle dinamiche di accumulo del materiale vegetale flottante, individuando i materiali idonei per la riproduzione in scala dei modelli di detrito arboreo. Le simulazioni effettuate forniscono indicazioni utili per la comprensione e descrizione del fenomeno in studio: i limiti della modellazione fin qui esposta sono

da ricercarsi nella ridotta varietà disponibile di modelli di detriti e nella non pienamente corrispondente riproduzione delle caratteristiche di attrito superficiale degli elementi. Possibili sviluppi alla ricerca potrebbero inoltre comprendere l'esecuzione di simulazioni a fondo mobile ed una più approfondita valutazione della resistenza e stabilità degli accumuli al variare delle portate che li hanno prodotti.

BIBLIOGRAFIA

- B. Abbe, D. Montgomery, "Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers", *Regulated rivers: research & management*, vol.12, (1996), 201-221.
- B. Abbe, D. Montgomery, "Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington", *Geomorphology* 51, (2002), 81-107.
- A.N.P.A. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente; "I.F.F.Indice di funzionalità fluviale", Manuale A.N.P.A., (2000).
- M. Betti, "Dinamica dei detriti arborei in alvei fluviali", Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Firenze, (2005).
- D. Bocchiola, M. C. Rulli, R. Rosso, "Uno studio sperimentale sulla dinamica dei detriti arborei", XXIX° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, (2004), vol. 1, 381-388.
- C. A Braudrick, G. E. Grant, H. Ikeda, "Dynamics of wood transport in streams: a flume experiment", *Earth surface processes and landforms* (1997), 22, 669-683.
- C. A Braudrick, G. E. Grant, "When do logs move in rivers?", *Water resources research*, (2000), vol. 36, n° 2, 571-583.
- C. A Braudrick, G. E. Grant, "Transport and deposition of large woody debris in streams: a flume experiment", *Geomorphology* 41, (2001), 263-283.
- E. Giangreco, "Ingegneria delle strutture", UTET, Torino, (2002), vol. 3
- F. Ginanni, I. Becchi, F. Castelli, "Cinematica dei detriti arborei nelle correnti a pelo libero", XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, (2000), Potenza.
- C. J. Gippel, I.C. O'Neill, B.L. Finlayson, I. Schnatz, "Hydraulic Guidelines for the re-introduction and management of large woody debris in lowland rivers", *Regulated rivers: research & management*, (1996), vol. 12, 223-236.
- A. M Gurnell, H. Piégay, F.J. Swanson F. J, S.V. Gregory, "Large wood and fluvial process", *Freshwater Biology* (2002), 47, 601-619.
- H. Piégay, N. Landon, "Promoting ecological management of riparian forests on the Drôme, France", *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* (1997) vol. 7, 287-304.
- Jr. Shield, F. Douglas, C. J. Gippel, "Prediction of effects of Woody Debris removal on flow resistance", *Journal of Hydraulic Engineering*, (1995), vol. 121, n°4, 341-354.
- N. Wallerstein, C.R. Thorne, M. W. Doyle, "Spatial distribution and impact of large woody debris in the northern Mississippi", *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision*, (1997), 145-150.
- W. J. Young, "Flume study of the Hydraulic effects of large woody debris in lowland rivers", *Regulated rivers: research & management*, (1991), vol. 6, 203-211.