

INFLUENZA DEL BOSCO NELLA MITIGAZIONE DELLE PIENE

(*) Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rende, Cosenza

(**) Dipartimento di Difesa del Suolo, Università della Calabria, Rende, Cosenza

Nel lavoro si esamina l'impatto dei fattori climatici, idrogeologici, morfologici e vegetazionali nei processi di trasformazione degli afflussi meteorici intensi in deflussi fluviali. In particolare sono presentati alcuni risultati ottenuti in ricerche focalizzate sull'influenza del bosco e delle pratiche di gestione forestale nella mitigazione degli eventi di piena in bacini di diverse caratteristiche.

Dalle ricerche esaminate, non sempre è risultato chiaro l'impatto della copertura forestale e della sua gestione nella mitigazione delle piene a causa della complessità e della conoscenza incompleta dei fenomeni. Alcune esperienze hanno mostrato che le piene di minore entità in bacini di piccole dimensioni sono in parte mitigate dalla presenza del bosco, ma ciò non è risultato altrettanto evidente nel caso di eventi più intensi su bacini di maggiori dimensioni. In merito all'influenza della gestione forestale nella formazione delle piene, nella maggior parte dei casi di studio si è rilevato un relativo incremento dei valori delle portate al colmo e dei volumi defluiti, in relazione al tipo e all'entità dell'intervento.

Parole chiave: bosco, interventi selvicolturali, idrologia forestale, piene.

Key words: forest, silvicultural treatments, forest hydrology, floods.

Mots clés: forêt, traitements sylvicoles, hydrologie de forêt, crues.

1. INTRODUZIONE

Le onde di piena provocate da precipitazioni intense nei bacini idrografici sono dovute in massima parte al rapido accumularsi negli alvei fluviali dei volumi idrici che defluiscono rapidamente sui versanti del bacino. Nei bacini con rilevante presenza di aree forestali, la formazione dell'evento di piena risente della presenza del bosco ma non è facile valutare l'entità di questa influenza a causa dei complessi processi idrologici che regolano le dinamiche di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena. Sulla base di varie esperienze effettuate, alcuni studiosi ritengono, ad esempio, che nel caso di afflussi meteorici eccezionali in bacini molto ampi il bosco non eserciti un'apprezzabile influenza sui deflussi di piena, altri che il bosco manifesti un sensibile effetto di regimazione delle piene solo nei piccoli bacini, altri ancora che la presenza del bosco comporti in ogni caso dei benefici.

L'interpretazione dei risultati riportati in letteratura deve tenere conto dell'incidenza dei fattori che governano l'interazione foresta-suolo-acqua nei diversi processi fisici che portano alla formazione dell'evento di piena. A parità di caratteristiche morfologiche e idrogeologiche di base del bacino, infatti, la sua risposta agli eventi pluviometrici intensi dipende essenzialmente dai fattori climatici, dalle modalità d'uso del suolo, dalle tipologie boschive e degli interventi selvicolturali adottati. Poiché la presenza contemporanea di questi fattori può intensificare in modo sinergico il loro effetto sui fenomeni di piena, nell'affrontare il problema è necessario avere un approccio multidisciplinare che cerchi di identificarne con sufficiente sicurezza lo specifico impatto sui fenomeni in esame.

Nella prima parte di questo lavoro sono descritti i processi idrologici fondamentali della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi fluviali e si evidenzia sinteticamente il peso assunto dai singoli fattori climatici, idrogeologici e morfologici che influiscono su tali processi.

Successivamente si presentano alcuni risultati di letteratura relativi in particolare all'influenza del bosco e degli interventi selvicolturali nella mitigazione degli eventi idrologici estremi in bacini caratterizzati da diverse condizioni geomorfologiche, climatiche, geopedologiche e vegetazionali.

2. PROCESSI IDROLOGICI NELLA FORMAZIONE DELLE PIENE NEI BACINI BOSCATI

I regimi pluviometrici dei bacini idrografici italiani vanno dal tipo continentale, corrispondente ad un clima di media latitudine, al tipo marittimo, corrispondente al clima mediterraneo. In linea di massima, nei bacini con buone caratteristiche di impermeabilità, il regime dei deflussi mensili segue abbastanza fedelmente quello pluviometrico, mentre in bacini mediamente più permeabili i deflussi si distribuiscono su un periodo molto più lungo di quello a cui si riferiscono gli afflussi.

Con riferimento ai fenomeni idrologici estremi, le estese perturbazioni meteorologiche di lunga durata che più spesso si verificano negli ampi bacini a regime pluviometrico continentale dell'Italia settentrionale causano rilevanti eventi di piena dalle dinamiche relativamente lente, mentre le più frequenti brevi e violente precipitazioni che cadono sui ripidi bacini a regime pluviometrico marittimo dell'Italia appenninica provocano eventi di piena forse meno gravosi ma con evoluzione assai più rapida e per questo altrettanto pericolosi (*flash floods*).

In particolare, nel caso di pioggia molto intensa, la concentrazione degli afflussi meteorici caduti direttamente sull'alveo fluviale e sui versanti prospicienti il reticolo di drenaggio produce il rapido aumento dei deflussi, che raggiungono valori di colmo quando anche gli apporti pluviometrici provenienti dalle zone idraulicamente più lontane del bacino contribuiscono alla portata nella sezione di chiusura del bacino. Al diminuire dell'intensità di pioggia l'onda di piena decresce, finché la portata, dopo qualche

tempo dal termine della pioggia (da poche ore per i bacini appenninici fino a più di un giorno per gli ampi bacini padani), ritorna approssimativamente ai valori preesistenti l'evento pluviometrico.

I principali processi fisici che regolano la trasformazione degli afflussi meteorici nelle varie tipologie di deflusso (superficiale, ipodermico, profondo) durante un evento di piena sono l'infiltrazione nel suolo, l'intercettazione della copertura vegetale e l'evapotraspirazione delle piante, a cui viene dato il nome di perdite idrologiche. Durante gli eventi di piena è tuttavia l'infiltrazione che assume la maggiore rilievo nel determinare la forma dell'idrogramma del deflusso superficiale, perché le perdite per intercettazione della copertura vegetale svolgono un ruolo significativo solo per eventi minori e limitatamente alla prima parte dell'evento, mentre i volumi idrici interessati dal fenomeno dell'evapotraspirazione in genere sono trascurabili per via delle basse temperature associate alle perturbazioni meteorologiche che provocano l'evento piovoso.

Se si prescinde inizialmente dalla tipologia e dalla percentuale di superficie boscata del bacino, tali processi dipendono essenzialmente, anche se in modo diverso, da fattori climatici (durata e intensità della pioggia, distribuzione spazio-temporale di precipitazioni e temperature), morfologici (area del bacino, acclività ed esposizione dei versanti), idrogeologici (permeabilità e porosità del suolo, contenuto di umidità iniziale).

Tra i fattori climatici, durata, intensità ed ammontare totale della pioggia influiscono direttamente sulla formazione dei deflussi superficiali, che può avvenire con due meccanismi distinti. Una prima modalità si realizza quando l'intensità della pioggia supera la capacità di infiltrazione del suolo provocando deflusso superficiale mediante saturazione dei suoli dall'alto (*Hortonian overland flow*). Una seconda modalità di deflusso superficiale ha luogo nel caso in cui i deflussi profondi saturano dal basso gli strati di base e quelli superiori risalendo verso la superficie del suolo, provocando il deflusso sul versante in presenza di topografie particolari (*saturation overland flow*).

Il deflusso hortoniano si verifica, in genere, nei suoli naturali con bassa capacità d'infiltrazione in aree aride e semiaride mentre è poco frequente nei suoli vegetati delle regioni umide. Il deflusso per saturazione dal basso è invece più frequente al piede di versanti acclivi ed nelle aree contribuenti del bacino poste in corrispondenza di sponde fluviali (Chow *et al.*, 1988).

Anche la morfologia del versante assume un ruolo importante nella formazione dei deflussi di piena. Infatti, a parità di caratteristiche dell'evento pluviometrico, le velocità e quindi i volumi dei deflussi superficiali sui versanti molto acclivi assumono valori elevati, al contrario dei versanti poco inclinati dove i volumi idrici infiltrati ed i tempi di corrivazione dei deflussi superficiali aumentano.

Gli studi presenti in letteratura sugli effetti della copertura forestale sulle piene nei bacini idrografici sono, nella maggior parte dei casi, condotti in bacini sperimentali di piccole dimensioni, in cui è più facile isolare l'effetto idrologico sulle piene dovuto al bosco rispetto a quello dovuto ad altri fattori. Molti studi confermano che l'effetto di laminazione delle piene osservato nei piccoli bacini si ridimensiona molto al crescere dell'area del bacino, sia perché in genere diminuisce la percentuale di superficie boscata e

quindi l'impatto dovuto alla copertura forestale, sia anche perché raramente gli eventi pluviometrici di intensità eccezionale e lunga durata si estendono su aree dell'ordine del migliaio di km². E' per questo che l'impatto della copertura forestale si valuta in genere commisurando i deflussi di piena in uno stesso bacino prima e dopo un intervento selvicolturale che modifichi l'entità della copertura forestale, oppure confrontando le risposte idrologiche ottenute a parità di evento pluviometrico intenso da una coppia di bacini di caratteristiche fisiche e morfologiche analoghe ma con differenti percentuali di superfici boscate.

Se i suoli del bacino sono caratterizzati da valori iniziali elevati di permeabilità e porosità, la velocità d'infiltrazione dell'acqua e i volumi idrici che possono essere assorbiti aumentano sensibilmente. In genere è questo il caso dei suoli forestali ben conservati, dotati di elevata porosità e una notevole stabilità di struttura, che si prestano a ricevere buona parte della pioggia afflitta nel corso di eventi meteorici anche straordinari, comportando una sostanziale riduzione del deflusso superficiale. Se però all'inizio di un evento pluviometrico intenso l'umidità del suolo è elevata, a causa di ingenti piogge cumulate nel lungo periodo, le perdite per infiltrazione possono scendere a valori molto bassi, con conseguenze anche notevoli sulla formazione dell'evento di piena.

Il ruolo assunto dalle condizioni di umidità del suolo esistenti all'inizio dell'evento stesso nell'attenuare e condizionare le capacità d'infiltrazione dei suoli forestali è evidenziato in fig.1, con riferimento a due eventi pluviometrici simili monitorati in un piccolo bacino forestato sperimentale dell'Appennino calabrese (Ferrari *et al.*, 2002).

3. I SISTEMI FORESTALI E LE PIENE FLUVIALI

Negli ultimi decenni lo studio dell'influenza del bosco sulle piene ha suscitato l'interesse degli studiosi che hanno affrontato l'argomento coinvolgendo diverse discipline: dall'idrologia forestale alle scienze del suolo, dall'ecologia forestale alla climatologia, evidenziando in tal modo la necessità di un approccio multidisciplinare del problema, allo scopo di identificare il meglio possibile l'impatto dei singoli fattori sui fenomeni in gioco.

E' infatti condivisa l'opinione che la complessità dell'influenza dell'uso del suolo sui processi idrologici in occasione di eventi di piena impedisca semplici generalizzazioni. La letteratura esaminata si sofferma principalmente su tre dimensioni che riguardano il suolo, gli interventi selvicolturali e la dimensione dei bacini.

Numerosi autori (Lull e Reinhart, 1972; Hewlett, 1982; Bosch e Hewlett, 1982; Hamilton, 1987; Swanston, 1991; Calder, 1992; Bonell, 1993; McCulloch e Robinson, 1993; Calder, 1999; 2000; 2005) sulla base di esperienze sperimentali condotte in una grande varietà di situazioni vegetazionali, climatiche e pedologiche hanno evidenziato il ruolo fondamentale svolto dal suolo forestale. In Francia, ad esempio, un'esaustiva ricerca condotta su tre bacini sperimentali messi a confronto ha evidenziato che, durante gli eventi di piena, il fattore che riveste maggiore importanza sono le caratteristiche generali del suolo (Cosandey *et al.*, 2005). In particolare i suoli forestali, caratterizzati da elevata porosità e consistente stabilità di struttura, possono trattenere temporaneamente notevoli quantitativi di pioggia, comportandosi come serbatoi di enorme capacità. Tale

proprietà dei suoli forestali è evidenziata da numerosi studi. In popolamenti di *Pinus taeda* Coille (1940, in De Philippis, 1970) aveva riscontrato valori di infiltrazione crescenti con l'età del soprassuolo: 15 mm/h a 10 anni, 53 mm/h a 20 anni, 77 mm/h a 70 anni, e Arend (1942, in Summel, 1968), nel Minnesota, valori pari a 60 mm/h in una foresta indisturbata; di 40 mm/h in un bosco bruciato periodicamente; di 24 mm/h in un pascolo.

Alcune esperienze hanno mostrato che suoli in precedenza interessati da copertura forestale continuano a mantenere per lungo tempo le caratteristiche di porosità e struttura importanti nella mitigazione degli effetti disastrosi delle piene anche dopo la rimozione della copertura. Si può in ogni modo asserire che una riduzione percentualmente rilevante della superficie boscata, con conseguente progressiva alterazione di suolo forestale, nel breve e medio periodo alteri fortemente l'equilibrio idrogeologico del territorio.

Occorre anche fare una distinzione tra suoli di boschi di origine naturale e quelli di origine artificiale. All'alta porosità dei primi non corrisponde quella dei secondi, soprattutto a causa delle attività antropiche necessarie per l'impianto e la gestione di questi ultimi: preparazione del terreno, taglio e nuovo impianto, rimozione della vegetazione, accumulo di detriti legnosi, apertura di strade. Queste attività, utili comunque anche nel caso di boschi di origine naturale, rappresentano fattori capaci di compattare i suoli ed alterarne la struttura, con un impatto indiretto non trascurabile sulla mitigazione operata dai suoli sugli eventi di piena (Anderson *et al.*, 1997).

I diversi interventi selvicolturali determinano variazioni più o meno significative negli elementi del bilancio idrologico degli eventi di piena (Eisenbies *et al.*, 2007). I risultati di seguito riportati si riferiscono in particolare agli effetti delle ceduzioni, del trattamento a raso e dei diradamenti osservati sperimentalmente nei singoli eventi di piena. I parametri idrologici attraverso cui è possibile valutare negli studi sperimentali gli effetti degli interventi selvicolturali sulle piene sono normalmente i volumi complessivi che defluiscono durante un evento di piena e la massima portata al colmo. Nella maggior parte dei casi di studio si evidenzia un incremento di tali parametri in relazione al tipo e all'entità dell'intervento.

In merito alla ceduzione, l'impatto sull'idrologia assume evidenza soprattutto al momento del taglio finale e nei primi anni di sviluppo del nuovo soprassuolo. Va comunque osservato che il sensibile aumento di acqua nel suolo provocato dal taglio del bosco non determina alterazioni tali da favorire processi di piena qualora gli orizzonti organici rimangano indisturbati e si attenua notevolmente già nei primi anni, anche per l'insediamento di vegetazione erbacea ed arbustiva che segue il taglio (Swank e Crossley, 1988). A conferma di tali considerazioni, in cedui di faggio dell'Appennino Pistoiese sono stati osservati bruschi aumenti di deflusso superficiale per i primi due-tre anni dal taglio e un'attenuazione progressiva con il passare del tempo (Falciai *et al.*, 2001).

Analogamente, in cedui di eucalitto del Crotonese il taglio non ha comportato sostanziali variazioni nella trasformazione degli afflussi in deflussi, tranne nei primi due anni successivi. In uno studio sui processi idrici ed erosivi in cedui composti e matricinati di roverella e farnetto, Iovino *et al.* (1998) hanno attribuito alla maggiore densità

delle ceppaie nel ceduo matricinato e all'insediamento della vegetazione erbacea ed arbustiva, a seguito del taglio del soprassuolo, i ridotti deflussi superficiali.

Alcune classiche esperienze relative agli effetti del trattamento a raso sono stati eseguiti in un piccolo bacino di 13 ettari nel Coweeta in North Carolina (USA). A seguito di tale tipo di intervento in boschi di latifoglie, con il rilascio delle piante sul posto, sono stati registrati aumenti di volumi di portata annua ma non incrementi dei picchi di piena (Hoover, 1945; Hewlett e Hibbert, 1961). Sempre con tale forma di trattamento, ma limitato su una superficie di circa il 20%, in un bacino di 43 ettari in Pennsylvania, la portata al colmo passa da 0.11 a 0.50 m³s⁻¹km⁻² (Partridge e Sopper, 1973) e in un bacino di 101 ettari, nel quale il taglio è limitato al 25% della superficie, è stato riscontrato un lieve incremento del picco di portata del 10% passando da 0.30 a 0.33 m³s⁻¹km⁻² (Rothacher, 1973). Con la stessa modalità di intervento in un bacino dell'Oregon si hanno risultati analoghi poiché il picco di portata passa da 0.37 m³s⁻¹km⁻² a 0.40 m³s⁻¹km⁻² (Ziemer, 1981).

Dalle evidenze sperimentali sopra riportate, la variazione del picco di portata e dei volumi di piena defluiti risulta significativa a seguito di interventi che interessano percentuali di superficie almeno pari al 20-25% dell'area totale del bacino (Caissie *et al.*, 2002).

Con riferimento invece all'impatto degli interventi di diradamento sull'idrologia dei bacini, gli studi esaminati evidenziano un sensibile effetto sul bilancio idrologico stagionale piuttosto che sugli eventi di piena. Sulla base di una banca dati di studi idrologici a scala mondiale, Calder (1993) riporta un aumento medio del deflusso totale di 3.3 mm per ogni percentuale di area interessata dal diradamento, con un corrispondente incremento della riserva idrica del suolo (Lal, 1997). In Italia uno studio volto a valutare gli effetti dei diradamenti sul bilancio idrologico in un bacino sperimentale ha evidenziato l'effetto positivo del taglio di diradamento in popolamenti di pino laricio (*Pinus laricio*, Poiret) sulla riserva idrica in ambiente mediterraneo (Callegari *et al.*, 2003).

Tra le operazioni più frequenti connesse agli interventi selvicolturali, il trasporto e l'accumulo del legname e/o dei residui di lavorazione devono essere effettuati con molta attenzione perché possono alterare il corso dei tronchi fluviali, rallentare lo scorrimento superficiale dell'acqua, favorire la sedimentazione sulle golene, indurre l'erosione spondale e ridurre l'erosione degli strati superficiali del suolo (Wondzell e Swanson, 1999; Phillips, 2002; Hicks *et al.*, 2005). A causa della notevole quantità di residui che la corrente riesce a movimentare, la ridotta officiosità dei canali può infatti contribuire all'accrescimento del rischio di esondazione durante gli eventi di piena di maggiore rilevanza (Stover e Montgomery, 2001; Zhang *et al.*, 2006). Altre ricerche indicano nel contempo che il rilascio del legname migliora l'habitat dei corsi d'acqua e svolge importanti funzioni nell'ecosistema (Gippel, 1995; Nocentini, 2003; Boyd *et al.*, 2005). In particolare alcuni studi inseriscono il rilascio sul suolo dei residui di lavorazione tra le pratiche di corretta gestione forestale (Cantore *et al.*, 1994).

Altra operazione riguarda l'apertura di strade temporanee e permanenti che può causare azione di disturbo del suolo con effetti idrologici a lungo termine, dell'ordine della decina di anni (Megahan *et al.*, 1995, 2001; Jones e Grant, 1996;

Lal, 1997). L'apertura di strade può interferire, infatti, direttamente con il deflusso superficiale impedendo all'acqua di seguire i percorsi naturali e creando aree sorgentizie artificiali, diminuendo di conseguenza l'effetto di mitigazione delle piene (Wemple et al., 1996; Jones et al., 2000; Tague e Band, 2001; Megahan et al., 2001; Sidle e Onda, 2004; Negishi et al., 2006; Sidle et al., 2006). Si possono avere inoltre effetti di erosione o di compattazione, con rimozione di sostanza organica, scopertura del suolo e produzione di materiale detritico (Worrell e Hampson, 1997; Croke et al., 2001; Wahl et al., 2003). In alcuni studi l'apertura di nuove strade è stata effettivamente messa in relazione con l'aumento di frequenza e intensità delle portate al colmo di eventi di piena relativamente frequenti (Jones et al., 2000).

Un'ultima dimensione da tenere in considerazione nella valutazione dell'impatto del bosco e delle pratiche di gestione forestale sugli eventi di piena è legata alla dimensione del bacino. E' riconosciuto dagli studiosi che tale impatto è funzione della percentuale di superficie boscata sull'intero bacino, nonché dall'estensione e dalla tipologia dello specifico intervento selvicolturale effettuato. Nei bacini di grandi dimensioni solitamente la superficie interessata da bosco è ridotta, per cui l'effetto positivo di mitigazione delle piene subisce un indebolimento. Pertanto l'estensione dei risultati ottenuti nei singoli bacini sperimentali sull'impatto del bosco e degli interventi selvicolturali sulle piene a bacini di maggiori dimensioni non è scontata e può essere effettuata con attendibilità solo nel caso di bacini forestati aventi caratteristiche morfologiche e vegetazionali del tutto simili a quelle dei bacini oggetto dei casi di studio.

Si vuole far notare, infine, che l'eventuale impatto sulla mitigazione delle piene da parte di altri fenomeni di più recente segnalazione in letteratura, come ad esempio i cambiamenti climatici, può rendere più incerta l'attribuzione dell'effetto dovuto al bosco e agli interventi selvicolturali rispetto a quello dovuto ad altri fattori (Andressian, 2004; MCPFE, 2007).

4. CONCLUSIONI

Il ruolo svolto dal bosco e dagli interventi selvicolturali nella mitigazione delle piene non è identificabile con certezza alla luce della complessità dei fenomeni e delle conoscenze ancora incomplete della comunità scientifica. Non sono molti, infatti, i risultati inequivocabili ottenuti nelle ricerche sviluppate sull'effetto che essi hanno nella dinamica degli eventi di piena nei bacini idrografici. E' ormai assodato, ad esempio, che le foreste e gli interventi selvicolturali sono in grado di mitigare le piene di minore entità nei bacini di piccole dimensioni mediante meccanismi di invaso e laminazione, ma l'effetto sulla mitigazione delle piene più intense nei bacini di grandi dimensioni non è dimostrato con altrettanta certezza (Ciancio e Iovino, 1995; Eisenbies *et al.*, 2007). Ciò anche perché l'entità dei volumi idrici dei singoli processi fisici che presiedono alla formazione dell'evento di piena, come ad esempio l'eccesso di infiltrazione o di saturazione di un versante, non è conoscibile con esattezza se non in piccoli bacini sperimentali ed è comunque variabile nel tempo. Si può quindi sostenere che il bosco intervenga nelle dinamiche di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, anche se il suo ruolo svolto in occasione di eventi di piena non è sempre facile da identificare rispetto all'impatto dovuto ad altri fattori.

Nonostante le incertezze evidenziate sull'effetto del bosco nella mitigazione delle piene, è ormai opinione fortemente condivisa che la conservazione e l'ampliamento della superficie forestale mediante appropriati interventi selvicolturali rappresentino elementi capaci di migliorare l'idrologia dei bacini, contrastare i fenomeni di degrado dei terreni e i processi di erosione del suolo, alleviare l'impatto negativo dei cambiamenti climatici ed ambientali in atto (MCPFE, 2007).

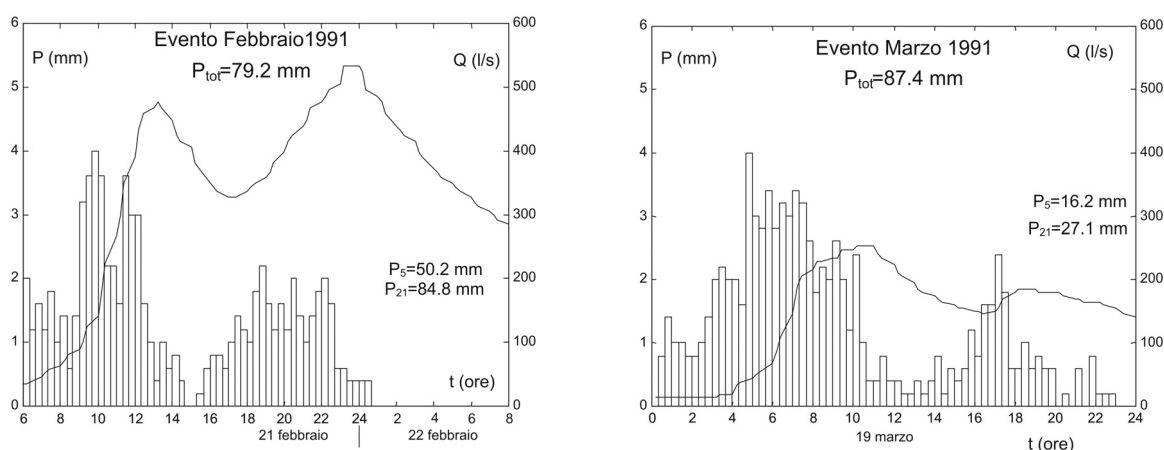


Figura 1. Idrogrammi di piena registrati nel bacino sperimentale Bonis in Calabria (P_5 = pioggia cumulata nei 5 giorni prima dell'evento, P_{21} = pioggia cumulata nei 21 giorni prima dell'evento).

SUMMARY

IMPACT OF FOREST ON FLOODS ALLEVIATION

In this work the role of climatic, geological, morphological and vegetational factors in the rainfall-runoff transformation of the drainage basins is examined. Some results of the researches focused on the impact of forests and silvicultural treatments on flood mitigation in basins with different physical features are shown in particular. This impact has not been assessed with certainty by the examined studies, due both to the complexity and the incomplete comprehension of the phenomena. The presence of forest has proved to reduce minor floods in small basins; on the contrary this effect has not been clearly shown for greater floods in wider basins. As regards the role of forest operations on flood formation, the most part of the studies shows a slight increase of flood peaks and volumes related to the entity and the type of the intervention.

RÉSUMÉ

IMPACT DU FORET DANS L'ADOUCCISSEMENT DES CRUES

Les auteurs examinent l'impact des facteurs climatiques, hydrogéologiques, morphologiques et végétatifs dans les procès hydrologiques de transformation des eaux météorologiques en écoulements fluviaux. Ils sont aussi rapportés quelques résultats relatifs à l'influence de la forêt et des pratiques de gestion forestière dans les mitigation des événements alluviaux en bassins caractérisés de différentes conditions. Des expériences de recherche vous rapportez, il n'est pas identifiable avec certitude l'impact de la couverture forestière et de sa gestion dans les mitigation des crues à cause de la complexité et de l'incomplète connaissance des phénomènes. Les petites crues en bassins de limitées dimensions résultent atténuées de la présence de la forêt, au contraire il n'y a pas le même impact en cas de pleines plus intenses sur des vastes bassins. Dans la plupart des cas étudiés, en ce qui concerne l'influence de la gestion forestière dans la formation des crues, on met en évidence un accroissement des valeurs de pics de portée et de volumes qui s'écoulent en relation au type et à l'entité de l'intervention.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson S.P., Dietrich W.E., Montgomery D.R., Torres R., Conrad M.E., Loague K., 1997 – *Subsurface flow paths in a steep, unchanneled patterns*. *Oikos*, 49: 340-346.
- Andressian V., 2004 – *Waters and forests: from historical controversy to scientific debate*. *Journal of Hydrology*, 291: 1-27.
- Bonell M., 1993 – *Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests*. *Journal of Hydrology*, 150: 217-275.
- Bosch J.M., Hewlett J.D., 1982 – *A review of catchment experiments to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- Boyd L., MacNally R., Read J., 2005 – *Does fallen timber on floodplains influence distribution of nutrients, plants, and seeds?* *Plant Ecology*, 177: 165-176.
- Caissie D., Jolicœur S., Bouchard M., Poncet E., 2002 – *Comparison of streamflow between pre and post timber harvesting in Catamaran Brook (Canada)*. *Journal of Hydrology*, 258: 232-248.
- Calder I.R., 1992 – *The hydrological impact of land use change (with special reference to afforestation and deforestation)*. Proceedings of the Conference on priorities for water resources allocation and management. Natural Resources and Engineering Adviser conference, Southampton, July 1992. Overseas Development Administration.
- Calder I.R., 1999 – *The blue revolution, land use and integrated water resources management*. London: Earthscan.
- Calder I.R., 2000 – *Land use impacts on water resources*. Background paper 1. FAO Electronic Workshop on Land-Water Linkages in Rural Watersheds. 18 September–27 October 2000. <http://www.fao.org/ag/agl/watershed/>.
- Calder I.R., 2005 – *Blue revolution II, integrated land & water resources management*. London: Earthscan.
- Callegari G., Ferrari E., Garfi G., Iovino F., Veltri A., 2003 – *Impact of thinning on the water balance of a catchment in Mediterranean environment*. *The Forestry Chronicle*, 79 (2): 301-306.
- Cantore V., Iovino F., Puglisi S., 1994 – *Influenza della forma di governo sui deflussi liquidi e solidi in piantagioni di eucalitti*. *L'Italia Forestale e Montana*, 5: 463-477.
- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988 – *Applied hydrology*. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- Ciancio O., Iovino F., 1995 – *I sistemi forestali e la conservazione del suolo*. Atti dell'Accademia dei Georgofili, 1994. Giornate di studio sul "Global Change", Il verde per la difesa ed il ripristino ambientale, 7 Dicembre 1994. Vol. XLI, 85-146.
- Cosandey C., Andressian V., Martin C., Didon Lescot J.F., Lavare J., Folton N., Mathys N., Richard D., 2005 – *The hydrological impact of the Mediterranean forest: a review of French research*. *Journal of Hydrology*, 301: 235-249.
- Croke J., Hairsine P., Fogarty P., 2001 – *Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion, and delivery rates with time*. *Forest Ecology and Management*, 143: 3-12.
- De Philippis A., 1970 – *La copertura forestale e la difesa del suolo*. Istituto di Tecnica e Propaganda Agraria, Roma.
- Eisenbies M.H., Aust W.M., Burger J.A., Adams M.B., 2007 – *Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians. A review*. *Forest Ecology and Management*, 242: 77-98.
- Falciai M., Ghinassi G., Trucchi P., 2001 – *Deflussi superficiali stagionali da un ceduo di faggio sottoposto a trattamenti selvicolturali*. Quaderni di Idronomia Montana.
- Ferrari E., Callegari G., Iovino F., Veltri A., 2002 – *Influenza della copertura forestale e impatto degli interventi selvicolturali sulla risposta idrologica in un bacino sperimentale della Calabria*. 28° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Potenza 16/19 settembre 2002. Editoriale Bios, Cosenza. Vol. V: 355-365.

- Gippel C.J., 1995 – *Environmental hydraulics of large woody debris*. Journal of Environmental Engineering, 121: 388-395.
- Hamilton L.S., 1987 – *What are the impacts of deforestation in the Himalayas on the Ganges-Brahmaputra lowlands and delta? Relations between assumptions and facts*. Mountain Research and Development, 7: 256-263.
- Hewlett J.D., 1982 – *Forests and floods in light of recent investigations*. Proceedings of the Canadian Hydrology Symposium, 14-15 June 1982, Fredricton, New Brunswick. Associate Committee on Hydrology, National Research Council of Canada, 543-559.
- Hewlett J.D., Hibbert A.R., 1961 – *Increase in water yield after several types of forest cutting*. IAHS-AISH, Pub. 6: 5-17.
- Hoover M.D., 1945 – *Effect of removal of forest vegetation upon water yield*. Eos Trans. AGU, 6: 969-977.
- Iovino F., Cinnirella S., Veltri A., Callegari G., 1998 – *Processus hydriques des écosystèmes forestiers*. Ecologie, 29 (1-2): 369-375.
- Jones J.A., Grant G.E., 1996 – *Peak flow responses to clear cutting and roads in small and large basins, Western Cascades, Oregon*. Water Resources Research, 32: 959-974.
- Jones J.A., Swanson F.J., Wemple B.C., Snyder K.U., 2000 – *Effects of the roads on hydrology, geomorphology, and disturbances patches in stream networks*. Conservation Biology, 14: 76-85.
- Lal R., 1997 – *Deforestation effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria IV. Hydrology and water quality*. Land Degradation and Development, 8: 95-126.
- Lull H.W., Reinhart K.G., 1972 – *Forests and floods in the Eastern United States*. United States Department of Agriculture. Forest Service Research, Paper NE-226.
- McCulloch J.S.G., Robinson M., 1993 – *History of forest hydrology*. Journal of Hydrology, 150: 126-189.
- MCPFE, 2007 – *Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Warsaw Resolution 2. Forests and Water*. Fifth Conference on the protection forest in Europe, 5-7 November 2007, Warsaw, Poland.
- Megahan W.F., King J.G., Seyedbagheri K.A., 1995 – *Hydrologic and erosional responses of a granitic watershed to Helicopter logging and broadcast burning*. Forest Science, 41: 777-795.
- Megahan W.F., Wilson M., Monsen S.B., 2001 – *Sediment production from granitic cut slopes on forest road in High Idaho, USA*. Earth Surface Processes and Landform, 26: 153-163.
- Negishi J.N., Sidle R.C., Noguchi S., Nik A.R., Stanforth R., 2006 – *Ecological roles of roadside fern (Dicranoptepris curranii) on logging road recovery in peninsula Malaysia: preliminary results*. Forest Ecology and Management, 224: 176-186.
- Nocentini S., 2003 – *La conservazione degli ecosistemi forestali: il ruolo degli alberi morti*. In: "Gestione dei sistemi forestali e risorse idriche", Quaderni di Idrotecnica. Edizioni Bios, Cosenza: 107-115.
- Partridge D.B., Sopper W.E., 1973 – *Effects of partial forest removal on storm hydrographs*, Res. Briefs 7 (1), School of Forest Resources, Penn. State Univ., University Park.
- Phillips J.D., 2002 – *Geomorphic impacts of flash flooding in a forested head water basin*. Journal of Hydrology, 269: 236-250.
- Rothacher J., 1973 – *Does harvest in west slope Douglas-fir increase peak flow in small stream?* Res. Pap. PNW-163, U.S. Dep. of Agric., Forest Service, Portland, Oregon, 13 pp.
- Sidle R.C., Onda Y., 2004 – *Hydrogeomorphology: an overview of an emerging science*. Hydrological Processes, 18: 597-602.
- Sidle R.C., Tani M., Ziegler A.D., 2006 – *Catchment processes in South East Asia: atmospheric hydrologic, erosion, nutrient cycling, and management effects*. Forest Ecology and Management, 224: 1-4.
- Stover S.C., Montgomery D.R., 2001 – *Channel change and flooding, Skokomish River, Washington*. Journal of Hydrology, 243: 272-286.
- Susmel L., 1968 – *Sull'azione regimante e antierosiva della foresta*. Atti del Convegno "Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici". Accademia dei Lincei, Roma, 301-402.
- Swank W.T., Crossley D.A.J., 1988 – *Forest hydrology and ecology at Coweeta*. Springer-Verlag, New York.
- Swanston D.N., 1991 – *Natural Processes*. In: Meehan W.R. (ed.), Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and their Habitats. Special publication 19, Bethesda, Maryland: American Fisheries Society. 139-179.
- Tague C., Band L.E., 2001 – *Simulating the impact of road construction and forest harvesting on hydrologic response*. Earth Surface Processes and Landforms, 26: 135-151.
- Wahl N.A., Bens O., Schafer B., Huttl R.F., 2003 – *Impact of change in land uses management on soil hydrologic properties: hydraulic conductivity, water repellence and water retention*. Physics and Chemistry of the Earth, 28: 1377-1387.
- Wemple B.C., Jones J.A., Grant G.E., 1996 – *Channel network extension by logging roads in two basins, Western Cascades, Oregon*. Water Resources Bulletin, 32 (6): 1195-1207.
- Wondzell S.M., Swanson F.J., 1999 – *Floods, channel change, and the hyporeic zone*. Water Resources Research, 35: 555-567.
- Worrell R., Hampson A., 1997 – *The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils. A review*. Forestry, 70: 16-85.
- Zhang Q., Liu C., Xu C.Y., Xu Y.P., Jiang T., 2006 – *Observed trends of annual maximum water level and stream flow during past 130 years in the Yangtze River basin, China*. Journal of Hydrology, 324: 255-265.
- Ziemer R.R., 1981 – *Storm flow response to road building and partial cutting in small streams of Northern California*. Water Resources Research, 17: 907-917.