

# Foreste e uso dell'acqua: fattori di controllo e possibilità di gestione

Federico Magnani\*<sup>1</sup>, Francesco Ripullone<sup>2</sup>, Marco Borghetti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento di Colture Arboree, Università di Bologna  
Via Fanin 46, 40127 Bologna*

<sup>2</sup>*Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata  
Viale Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza*

Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia

---

## Riassunto

Le foreste coprono oltre un terzo della superficie nazionale italiana e l'evapo-traspirazione forestale ha quindi un effetto di primo piano sul ciclo dell'acqua e sulla disponibilità di risorse idriche per usi alternativi. La possibilità di regolare attentamente il bilancio idrologico delle foreste aprirebbe importanti prospettive per la gestione delle risorse idriche a scala locale e territoriale. Il presente lavoro prende in esame l'evidenza scientifica disponibile sugli effetti sul ciclo dell'acqua di interventi di afforestazione e del trattamento selvicolturale delle foreste esistenti. La trasformazione di uso del suolo a foresta ha un impatto talvolta drammatico su evapo-traspirazione e deflussi, anche se l'effetto dipende in larga misura dalle condizioni ambientali considerate. La gestione forestale ha effetti più limitati, ma di grande rilevanza a causa dell'estensione delle foreste esistenti. In particolare, gli interventi di diradamento determinano solitamente un aumento dei deflussi, che risulta però di breve durata. L'evapo-traspirazione dell'ecosistema viene ridotta in misura maggiore dai tagli di maturità, con un effetto variabile a seconda del trattamento applicato. L'allungamento dei turni forestali potrebbe costituire lo strumento più importante, sostenibile e duraturo per incrementare la disponibilità idrica per usi alternativi, ma evidenze sperimentali contrastanti sono presentate in letteratura. Nuovi studi sono indispensabili per quantificare gli effetti dell'età sull'uso dell'acqua dell'ecosistema in ambienti rappresentativi del territorio nazionale.

*Parole chiave:* selvicoltura, afforestazione, evapo-traspirazione, diradamenti, turno forestale, retroazione.

## Summary

### FORESTS AND WATER: SILVICULTURE, AFFORESTATION AND THE CONTROL OF FOREST WATER USE

Forests cover over one third of Italy; forest evapo-transpiration has therefore a primary role in the water cycle and in determining the availability of water for alternative uses. The possibility of modulating carefully the water balance of forest ecosystem would pave the way for the management of water resources at the local and landscape level. In the present work, we review available evidence on the effects on the water cycle of both afforestation and the silvicultural management of existing forests. Afforestation is known to have a dramatic effect on site evapo-transpiration and runoff, but the magnitude of the effect largely depends on local environmental conditions. The management of existing forests has more modest local effects, but their extent suggests a greater role in the regulation of the water cycle. Forest thinnings result in an increase in runoff, albeit of short duration. Ecosystem evapo-transpiration is more strongly reduced by forest utilisation, to an extent which varies with management type. An increase in rotation length could result the most effective and long-lasting measure for the sustainable increase in water availability for alternative uses; contrasting evidence is provided in the literature, however, as the age-related decline in tree transpiration could be counter-balanced by negative feed-backs at the ecosystem level. New studies are required for the assessment of the effects of age on ecosystem water yield.

*Key-words:* silviculture, afforestation, evapo-transpiration, thinning, rotation length, feed-back.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 051 2096466; fax: +39 051 2096401. Indirizzo e-mail: fmagnani@agrsci.unibo.it.

I primi risultati del nuovo Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC), in corso di realizzazione, mostrano come gli ecosistemi forestali coprano ben il 35.4% della superficie nazionale, con coefficienti di boscosità che in diverse Regioni si spingono oltre il 50%; la comprensione di quale sia il ruolo di queste formazioni vegetali sul ciclo dell'acqua, e di come possa essere modulato dalla gestione forestale, risulta quindi di grande importanza, anche per l'effetto che una corretta pianificazione potrebbe avere sulla disponibilità di risorse idriche per altri usi alternativi.

La gestione forestale ricomprende due grandi classi di interventi, e sarà opportuno nella presente analisi considerare separatamente i loro effetti sul ciclo idrologico. L'azione dell'uomo può in primo luogo modificare la superficie occupata dalle foreste; nel contesto nazionale, essendo la deforestazione (eliminazione del bosco per far spazio ad altre forme di uso del suolo) ovunque impedita dalla legislazione vigente, la superficie forestata può solo aumentare, come risultato di attività di riforestazione o più di frequente della naturale espansione del bosco su terreni montani e collinari abbandonati dall'agricoltura negli ultimi decenni. Vista la rilevanza di questo fenomeno, è di grande importanza mettere a confronto l'uso dell'acqua del bosco con quello di altre forme di uso del suolo; questo confronto costituirà l'oggetto della prima parte della nostra analisi.

L'azione dell'uomo, d'altra parte, può regolare anche l'uso dell'acqua da parte delle foreste esistenti: tutti gli interventi selvicolturali (diradamenti, tagli di maturità), alterando in varia misura il grado di copertura del suolo ed il microclima stazionario, modificano infatti l'evapotraspirazione dell'ecosistema e quindi i deflussi e la disponibilità idrica per altri usi alternativi. La prima e più importante scelta del selvicoltore consiste però non nell'applicazione di uno specifico trattamento, ma nella definizione del turno forestale, e cioè dell'età a cui gli alberi debbano essere tagliati. Risulta pertanto di grande interesse comprendere se ed in quale misura l'uso dell'acqua da parte del bosco vari in funzione dell'età delle piante. L'effetto del turno forestale e dei trattamenti selvicolturali sull'uso dell'acqua da parte del bosco costituirà l'oggetto della seconda parte della presente analisi.

Le foreste presentano in genere tassi evapotraspirativi più elevati delle altre formazioni vegetali, tanto naturali quanto agricole, nonostante che i valori di conduttanza stomatica a livello di foglia e di intera copertura forestale siano mediamente inferiori che nelle piante erbacee (Kelliher et al., 1995). Questo è dovuto alla maggiore altezza delle piante forestali ed al migliore accoppiamento aerodinamico delle chiome con l'atmosfera che ne deriva (Magnani et al., 1998) e che fa sì che l'evaporazione dalle foglie bagnate e la traspirazione in condizioni di aria immota sia maggiore nelle piante forestali.

Di conseguenza, l'afforestazione tanto di praterie quanto di arbusteti porta normalmente ad una riduzione dei deflussi superficiali (Farley et al., 2005); l'effetto relativo è tanto più marcato quanto meno piovosa è la stazione (figura 1), potendo portare ad una riduzione dei deflussi di oltre il 60% con piovosità annue inferiori ai 1000 mm, quali si incontrano in gran parte del territorio nazionale. Questo effetto talvolta drastico della presenza del bosco sui deflussi, unitamente agli effetti paralleli sulla salinizzazione della falda e sul bilancio dei nutrienti (Jackson et al., 2005), ha portato a mettere in dubbio l'opportunità di interventi di afforestazione in ambienti sub-tropicali o aridi (UN FAO, 2005). Se da un lato il bosco riduce i deflussi medi e minimi, d'altra parte, non bisogna

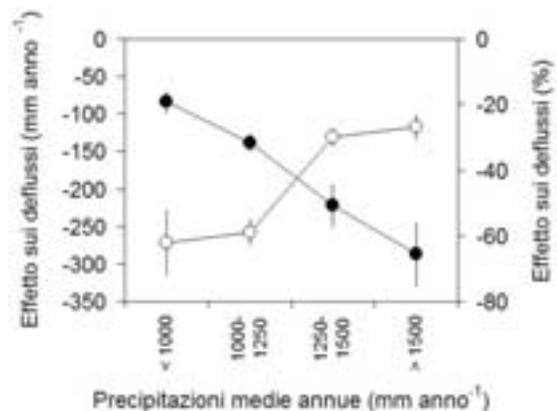


Figura 1. Effetti assoluti (cerchi neri) e percentuali (cerchi bianchi) dell'afforestazione sui deflussi superficiali, in funzione delle disponibilità idriche stazionali. Da Farley et al., 2005.

Figure 1. Absolute and percent effects of forestation on runoff. From Farley et al., 2005.

dimenticare che la presenza del bosco tende a limitare anche i deflussi massimi, grazie alla capacità di ritenzione idrica dei suoli forestali ed al conseguente aumento dei tempi di corrivazione; è questo l'aspetto che in passato ha ricevuto la maggiore attenzione della comunità scientifica, soprattutto in un Paese come l'Italia particolarmente esposto a fenomeni di dissesto del territorio montano (Susmel, 1968); numerosi studi hanno dimostrato infatti come la presenza del bosco porti ad una forte riduzione dei picchi di piena, sempre che la capacità di ritenzione idrica del suolo non sia già stata saturata da abbondanti precipitazioni nei giorni precedenti (Colpi e Fattorelli, 1982).

Nonostante l'importanza delle variazioni di uso del suolo, ci si attenderebbe che un ruolo ancora più rilevante nella regolazione del ciclo idrologico spetti alla gestione selvicolturale delle foreste esistenti, a causa della loro grande estensione e dell'impatto estremo che i tagli possono avere sulla copertura forestale. Questa aspettativa è stata però messa in dubbio da Roberts (1983), il quale ha sottolineato il ruolo stabilizzante della fitta rete di interazioni caratteristica degli ecosistemi naturali. Alcuni dei principali meccanismi di regolazione da prendere in considerazione sono illustrati in figura 2. L'evapo-traspirazione dell'ecosistema è data dalla somma dei contributi degli alberi del soprassuolo e delle piante del sottobosco; qualsiasi fattore che vada a ridurre il grado di copertura esercitata dal soprassuolo (diradamenti, tagli, invecchiamento) determinerà un parallelo aumento dell'indice di area fogliare del sottobosco, a causa della maggiore radiazione disponibile. Ad una riduzione dell'evapo-traspirazione degli alberi, quindi, si associerebbe un aumento dell'uso dell'acqua da parte di erbe e arbusti, in buon accordo con quanto osservato sperimentalmente (Law et al., 2002); questo meccanismo di compensazione tenderà a stabilizzare le richieste idriche dell'intero ecosistema. Un ruolo analogo sarebbe svolto dalla risposta della traspirazione alla disponibilità idrica nel suolo, questa volta per un meccanismo di retro-azione negativa: una riduzione della densità del bosco, riducendo la traspirazione degli alberi, farà infatti sì che durante il periodo vegetativo le riserve idriche del suolo vengano esaurite in misura minore. A sua volta, questo permetterà tassi di traspirazione più elevati nelle foglie anco-

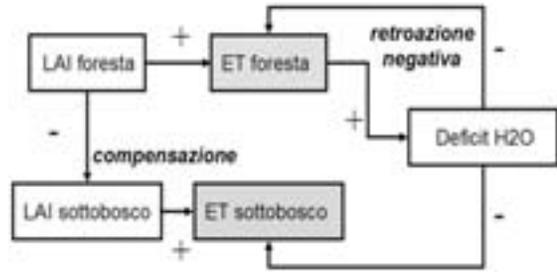


Figura 2. Rappresentazione schematica dei principali processi di regolazione omeostatica dell'evapo-traspirazione (ET) di un ecosistema forestale (somma dei contributi di foresta e sottobosco). Una riduzione dell'indice di area fogliare (LAI) del soprassuolo (per l'età, per diradamenti) permette un maggior sviluppo del LAI e quindi della traspirazione del sottobosco (meccanismo di compensazione). Una elevata traspirazione determina marcati deficit idrici del suolo, che inducendo una chiusura stomatica in alberi e piante del sottobosco limita l'evapo-traspirazione dell'ecosistema (meccanismo di retro-azione negativa).

Figure 2. Graphic diagram of main osmeostatic regulation of evapo-transpiration (et) of a forestal ecosystem.

ra presenti, siano queste degli alberi o del sottobosco, andando a controbilanciare l'effetto del disturbo; in pratica, l'evapo-traspirazione dell'intero ecosistema sarebbe controllata dalla disponibilità idrica, risultando in larga misura insensibile agli interventi di gestione forestale.

I dati sperimentali supportano l'ipotesi di omeostasi di Roberts? Consideriamo in successione l'evidenza disponibile per quanto riguarda gli effetti dei diradamenti, dei tagli di maturità e della regolazione del turno forestale.

Numerosi studi dimostrano come, in risposta al diradamento, si riduca non solo la traspirazione del soprassuolo, ma l'evapo-traspirazione dell'intero ecosistema, con il conseguente aumento della disponibilità idrica estiva del suolo (figura 3). L'effetto appare essere però di breve durata, scomparendo già completamente dopo pochi anni (Breda et al., 1995; Aussenac, 2000); questo potrebbe essere dovuto sia alla chiusura delle chiome del soprassuolo, sia alla maggiore crescita delle piante del sottobosco.

Interventi selvicolturali più intensi hanno un effetto più marcato e duraturo. Studi a livello di bacino idrologico hanno dimostrato come il taglio del bosco porti ad un forte aumento dei deflussi superficiali (Colpi e Fattorelli, 1982). L'effetto, peraltro, varia fortemente in funzione del tipo di trattamento applicato: trattamenti quali

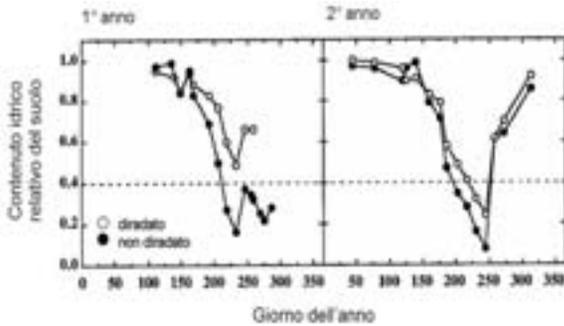


Figura 3. Effetto di un intervento di diradamento sul contenuto idrico del suolo: l'effetto, per quanto marcato, è già scomparso al secondo anno dal taglio intercalare. Da Breda et al., 1995.

Figure 3. Effect of a thinning on idric content of the soil. From Breda et al., 1995.

i tagli a buche o i tagli successivi, che garantiscono una parziale copertura del suolo a scala di bacino, risultano in un ridotto aumento dei deflussi superficiali. Il rischio che agli aumentati deflussi superficiali si associno fenomeni di erosione del suolo è in effetti una delle ragioni per cui si preferisce evitare il trattamento a taglio raso su ampie superfici, soprattutto in ambienti caratterizzati da precipitazioni intense.

Studi replicati a livello di intero bacino (Cornish e Vertessy, 2001) dimostrano come il ripristino dei deflussi ai livelli precedenti al taglio

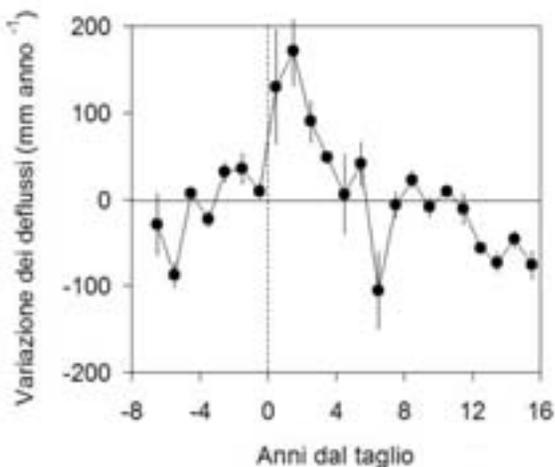


Figura 4. Dinamiche del deflusso a scala di bacino in seguito a un taglio di maturità in boschi australiani di *Eucalyptus regnans*. Da Cornish e Vertessy, 2001.

Figure 4. Runoff trends at basin scale after a cut of Australian woods of *Eucalyptus regnans*. From Cornish and Vertessy, 2001.

richiede diversi anni (figura 4), suggerendo che tale dinamica non sia legata alla crescita di erbe e sottobosco in assenza di copertura, ma piuttosto alla progressiva chiusura delle chiome del nuovo soprassuolo.

Pochi studi hanno invece investigato le dinamiche di lungo termine dell'evapo-traspirazione degli ecosistemi forestali al progredire dell'età delle piante. È noto come la traspirazione dei soprassuoli forestali, dopo un picco al momento della chiusura delle chiome, declini con l'avanzare dell'età; questo sembra essere legato alle limitazioni idrauliche imposte sugli scambi gassosi dalla crescente altezza delle piante, che fa sì che il trasporto dell'acqua dalle radici alle foglie debba superare una resistenza idraulica sempre più gravosa, imponendo di conseguenza una progressiva chiusura degli stomi (Hubbard et al., 1999; Magnani et al., 2006). Come si riflette questa progressiva chiusura stomatica sull'uso dell'acqua dell'intero ecosistema? Nel caso di sistemi semplificati come le piantagioni forestali, la ridotta traspirazione degli alberi si traduce in un significativo aumento dei deflussi superficiali all'aumentare dell'età del soprassuolo (figura 5) (Farley et al., 2005). L'evidenza disponibile per i boschi naturali è invece contraddittoria. In boschi di eucalitto di età compresa fra i 15 ed i 240 anni, ad esempio, Vertessy et al. (2001) hanno osservato un progressivo aumento della traspirazione del sottobosco all'aumentare dell'età del soprassuolo forestale (figura 6), in accordo con quanto ipotizzato da Roberts (1983); questo meccanismo di compensazione, però, non arrivava a controbilanciare completamente la ridotta traspirazione delle piante forestali mature, ed i deflussi superficiali mostravano un incremento considerevole all'aumentare dell'età del bosco.

Altri studi di dettaglio sembrano puntare invece nella direzione opposta, dando supporto all'ipotesi di omeostasi del bilancio idrico dell'ecosistema. In uno studio dettagliato su una cronosequenza di *Pinus ponderosa*, combinando fra loro metodologie diverse per la stima indipendente delle diverse componenti del bilancio idrologico, Irvine et al. (2004) hanno dimostrato come nonostante la ridotta traspirazione delle piante arboree l'evapo-traspirazione dell'intero ecosistema non variasse all'aumentare dell'età del bosco; entrambi i meccanismi delineati in figura 2 sembravano contribuire all'omeo-

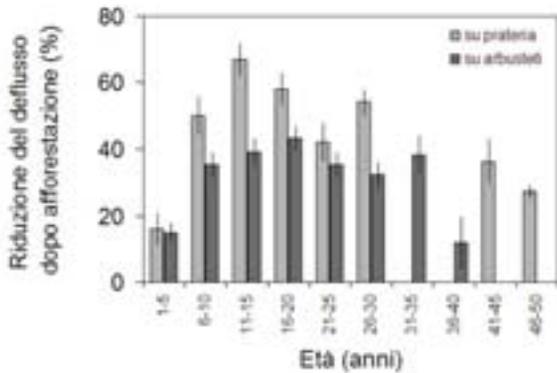


Figura 5. Effetto sui deflussi idrici di interventi di afforestazione su praterie o su arbusteti, in funzione dell'età del soprassuolo. Da Farley et al., 2005.

Figure 5. Effect on runoffs of forestation on grasslands or on shrubs as a function of age and soil use. From Farley et al., 2005.

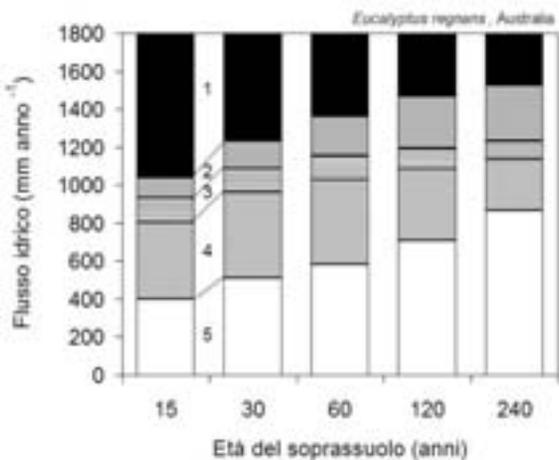


Figura 6. Contributo al bilancio idrico stagionale (1) della traspirazione degli alberi, (2) della traspirazione del sottobosco, (3) dell'evaporazione dalla lettiera, (4) dell'evaporazione dalle chiome bagnate e (5) dei deflussi idrici in boschi di eucalipto di età compresa fra 15 e 240 anni in Australia. Da Vertessy et al., 2001.

Figure 6. Contribution to water balance (1) of trees transpiration, (2) of underwood transpiration, (3) of bedding transpiration, (4) of wet comas evaporation and (5) of runoffs in wood of eucalypts. From Vertessy et al., 2001.

stasi osservata. Risultati simili sono stati riportati di recente anche per boschi francesi di *Pinus pinaster* (Delzon e Loustau, 2005). Non sappiamo a tutt'oggi quanto le discrepanze fra i diversi studi siano frutto di differenze interspecifiche o ambientali o piuttosto delle diverse metodologie applicate; si impongono certamente al riguardo nuovi studi su un campione

più rappresentativo. La possibilità infatti di governare il bilancio idrico delle foreste (e quindi dell'intero territorio montano) attraverso l'attenta modulazione dell'età delle piante aprirebbe nuove importanti prospettive per aumentare la disponibilità idrica per usi alternativi (agricoltura, industria,...), senza per questo compromettere l'integrità e la salute degli ecosistemi.

## Bibliografia

- Aussenac G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate. Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57:287-301.
- Breda N., Granier A., Aussenac G. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in oak forest (*Quercus petraea* (Matt) Liebl.). *Tree Physiol.*, 15:295-306.
- Colpi C., Fattorelli S. 1982. Effetti idrologici dell'attività primaria in montagna. *Dendronatura*, 3:9-54.
- Cornish P.M., Vertessy R.A. 2001. Forest age-induced changes in evapotranspiration and water yield in a eucalypt forest. *J. Hydr.*, 242:43-63.
- Delzon S.D., Loustau M. 2005. Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. *Agric. For. Meteorol.*, 129:105-119.
- Farley K.A., Jobbagy E.G., Jackson R.B. 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biol.*, 11:1565-1576.
- Hubbard R.M., Bond B.J., Ryan M.G. 1999. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. *Tree Physiol.*, 19:165-172.
- Irvine J., Law B.E., Kurpius M.R., Anthoni P.M., Moore D., Schwarz P.A. 2004. Age-related changes in ecosystem structure and function and effects on water and carbon exchange in ponderosa pine. *Tree Physiol.*, 24:753-763.
- Jackson R.B., Jobbagy E.G., Avissar R., Roy S.B., Barrett D.J., Cook C.W., Farley K.A., le Maitre D.C., McCarl B.A., Murray B.C. 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, 310:1944-1947.
- Kelliher F.M., Leuning R., Raupach M.R., Schulze E.D. 1995. Maximum conductances for evaporation from global vegetation types. *Agric. For. Meteorol.*, 73:1-16.
- Law B.E., Falge E., Gu L., Baldocchi D.D., Bakwin P., Berbigier P., Davis K., Dolman A.J., Falk M., Fuentes J.D., Goldstein A., Granier A., Grelle A., Hollinger D., Janssens I.A., Jarvis P., Jensen N.O., Katul G., Mahli Y., Matteucci G., Meyers T., Monson R., Munger W., Oechel W., Olson R., Pilegaard K., Paw K.T.U., Thorgeirsson H., Valentini R., Verma S., Vesala T., Wilson K., Wofsy S. 2002. Environmental con-

- trols over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agric. For. Meteorol.*, 113:97-120.
- Magnani F., Bensada A., Cinnirella S., Ripullone F., Borghetti M. 2006. Transpiration, hydraulic limitations and water use efficiency in a maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) chronosequence. *Tree Physiol.*, submitted.
- Magnani F., Leonardi S., Tognetti R., Grace J., Borghetti M. 1998. Modelling the surface conductance of a broad-leaf canopy: effects of partial decoupling from the atmosphere. *Plant Cell Envir.*, 21:867-879.
- Roberts J. 1983. Forest transpiration: a conservative hydrological process? *J. Hydr.*, 66:133-141.
- Susmel L. 1968. Sull'azione regimante ed antiosiva della foresta. *Quaderni dell'Accademia Nazionale dei Lincei*, 112:1-137.
- UN FAO 2005. *Forests and Floods. Drowning in Fiction or Thriving on Facts?* Centre for International Forestry Research, Bogor Barat.
- Vertessy R.A., Watson F.G.R., O'Sullivan S.K. 2001. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. *Forest Ecology and Management*, 143:13-26.