

CONTROLLO DELL'USO DELL'ACQUA NEGLI ECOSISTEMI FORESTALI

(*) Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata, Potenza

(**) Dipartimento di Colture Arboree, Università di Bologna

Dopo una breve analisi dei fattori ambientali che controllano l'evapotraspirazione dalle coperture vegetali, vengono considerati i probabili effetti sul bilancio idrologico dei diradamenti, dall'invecchiamento dei soprassuoli forestali, dall'espansione della foresta su terreni abbandonati dall'agricoltura e dal pascolo.

Parole chiave: foresta, evapotraspirazione, deflussi, diradamenti, invecchiamento, espansione forestale.

Key words: forest, evapotranspiration, drainage, thinning, age, forest expansion.

1. INTRODUZIONE

Le caratteristiche delle coperture vegetali hanno una grande influenza sugli scambi di materia ed energia fra la biosfera e l'atmosfera, in quanto determinano le modalità con cui la radiazione netta viene ripartita in flusso di calore sensibile e flusso di calore latente (evapotraspirazione): con riflessi di notevole portata sul ciclo idrologico, sul bilancio del carbonio e, in definitiva, sul clima (Hutjies *et al.*, 1998).

Una delle pratiche previste in selvicoltura durante il ciclo colturale del bosco è la riduzione del numero di alberi per unità di superficie (diradamenti), che a sua volta comporta rilevanti modifiche del grado di copertura del suolo da parte delle chiome e della distribuzione verticale dell'area fogliare. La comprensione di come ciò possa riflettersi sull'evapotraspirazione dell'ecosistema è un aspetto che merita attenzione; anche per avvalorare, o meno, l'idea che i diradamenti possano avere effetti positivi sui deflussi idrici a scala di bacino (Iovino e Veltri, 2003).

Con riferimento al concetto di bilancio idrologico, se nel medio-lungo periodo non variano piovosità e contenuto idrico del suolo, al diminuire dell'evapotraspirazione corrisponde infatti un aumento dei deflussi idrici, che può favorire l'uso dell'acqua per l'agricoltura, l'industria, le necessità civili. L'aspetto è di particolare rilievo per la regione mediterranea, dove l'attesa per i decenni a venire è quella di una riduzione significativa delle precipitazioni.

Anche il grado di maturità (invecchiamento) della foresta, che dipende dalle scelte di pianificazione forestale (definizione del turno e della distribuzione delle particelle forestali in classi cronologiche), può influenzare il bilancio idrologico, dal momento che all'aumentare dell'età (e quindi delle dimensioni) degli alberi si possono modificare i tassi di traspirazione (Borghetti *et al.*, 2005).

L'effetto dei diradamenti e dell'invecchiamento della foresta sull'evapotraspirazione e sui deflussi idrici sarà l'argomento della prima parte della nostra analisi.

La restante parte dell'analisi riguarderà un altro aspetto di notevole attualità. Nel nostro paese è infatti in corso una profonda trasformazione della copertura vegetale naturale, in buona parte dovuta all'espansione del bosco su terreni montani e collinari abbandonati dall'agricoltura e dal pascolo. I risultati dell'ultimo inventario forestale nazionale mostrano che le formazioni boschive rivestono oggi oltre il 35% della superficie nazionale, con coefficienti di boscosità che in diverse Regioni superano il 50%. Vista la

rilevanza del fenomeno, è quindi importante mettere a confronto l'uso dell'acqua da parte degli ecosistemi forestali con quello di coperture erbacee o arbustive.

2. EFFETTO DEI DIRADAMENTI E DELL'INVECCHIAMENTO DELLA FORESTA

2.1 Effetto dei diradamenti

I diradamenti possono modificare l'uso dell'acqua da parte della foresta, alterando il grado di copertura del suolo, la distribuzione dell'area fogliare, il microclima stazionario.

Può soprattutto modificarsi, almeno nel breve periodo, il rapporto fra la traspirazione del soprassuolo arboreo e quella del sottobosco (erbaceo e/o arbustivo), che sono soggette a un diverso controllo da parte delle variabili ambientali.

La copertura del soprassuolo arboreo, per via dell'altezza e delle caratteristiche strutturali degli alberi, costituisce una superficie molto "rugosa" sotto il profilo aerodinamico: le chiome degli alberi sono ben "accoppiate" con l'atmosfera libera e la resistenza aerodinamica agli scambi gassosi è bassa ($r_a \Rightarrow 0$) (McNaughton e Jarvis, 1983, Magnani *et al.*, 1998).

In questo caso, l'evapotraspirazione (detta "imposta" E_{im}) può essere approssimata dalla seguente equazione:

$$E_{im} = \frac{\rho_a c_p D}{\gamma r_s}$$

dove ρ_a è la densità dell'aria, c_p il calore specifico dell'aria, γ la costante psicrometrica, D il deficit di saturazione di vapore in aria, r_s la resistenza al flusso di vapore a scala di copertura.

Mentre nel caso del sottobosco (sistema sostanzialmente "disaccoppiato" dall'atmosfera libera: resistenza aerodinamica $r_a \Rightarrow \infty$) l'evapotraspirazione (detta di "equilibrio" E_{eq}) può essere approssimata nel modo seguente:

$$E_{eq} = \frac{sR}{s + \gamma}$$

dove s è la pendenza della curva temperatura-pressione di saturazione di vapore e R la radiazione netta.

Nel caso delle foresta il principale fattore di controllo del processo evapotraspirativo è quindi rappresentato dal deficit di saturazione del vapore (umidità dell'aria); mentre, nel caso delle sottobosco la principale variabile di controllo è rappresentata dalla radiazione netta (v. McNaughton e Jarvis, 1983 per una trattazione approfondita dell'argomento).

Per analizzare l'effetto dei diradamenti, un'utile ipotesi di lavoro è quella avanzata da Roberts (1983), secondo il

quale l'evapotraspirazione degli ecosistemi forestali sarebbe un processo caratterizzato da un notevole grado di omeostasi, per via dei meccanismi di retroazione che si vengono a realizzare fra le varie componenti del sistema (Fig. 1).

L'evapotraspirazione dell'ecosistema è data dalla somma dei contributi degli alberi e delle piante del sottobosco; la riduzione della copertura arborea in seguito al diradamento determinerà un maggior apporto radiativo e un parallelo aumento dell'indice di area fogliare del sottobosco.

A una riduzione della traspirazione degli alberi si assocerebbe quindi un aumento della traspirazione del sottobosco, su cui esercita un ruolo di controllo l'aumento della radiazione netta. Questo meccanismo di compensazione tende 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 retroazione negativa: una riduzione della densità del bosco, riducendo la traspirazione degli alberi, farà sì che durante il periodo vegetativo le riserve idriche del suolo si conservino maggiormente.

A sua volta, questo permetterà tassi di traspirazione più elevati nelle foglie ancora presenti, siano queste degli alberi o del sottobosco, andando a controbilanciare l'effetto del disturbo; in pratica, nel medio periodo l'evapotraspirazione dell'intero ecosistema sarebbe controllata dalla disponibilità idrica stagionale, risultando in larga misura insensibile agli interventi colturali (Fig. 1).

Un quadro di tipo conservativo della traspirazione di soprassuoli forestali assoggettati ad interventi di diradamento traspare anche dall'analisi condotta da Whitehead *et al.*, (1984); un aspetto interessante della loro analisi riguarda il fatto che la temporanea maggior disponibilità idrica del suolo successiva al diradamento (riduzione dell'intercettazione e della competizione per l'acqua) ridurrebbe il rischio di stress idrico per gli alberi rilasciati.

Consideriamo ora le evidenze sperimentali; sulla base dei risultati (sintetizzati in Tab. 1) di alcuni studi in cui sono stati analizzati gli effetti dei diradamenti su evapotraspirazione e deflussi, sembrano possibili le seguenti considerazioni:

- non sono numerosi i lavori in cui sono state considerate tutte le componenti del bilancio idrologico mentre più frequenti sono i casi in cui è stata studiata la risposta della sola traspirazione del soprassuolo;
- sono ancora pochi gli studi condotti in ambiente mediterraneo e poco frequenti gli studi di pluriennali;
- nel complesso l'ipotesi di un'omeostasi dei processi traspirativi (Roberts 1983, Whitehead *et al.* 1984) appare ragionevolmente confermata: nell'immediato si osserva spesso una riduzione della traspirazione, cui si può associare un aumento dei deflussi, ma l'effetto risulta spesso di breve durata;
- la risposta della traspirazione del soprassuolo al diradamento dipende abbastanza nettamente dalla disponibilità idriche stagionali; durante periodi di stress idrico l'effetto del diradamento può scomparire del tutto o addirittura la traspirazione del soprassuolo diradato può eccedere quella del soprassuolo non diradato, come possibile effetto di un'aumentata disponibilità delle risorse nutritive dovuta alla riduzione della competizione;
- l'effetto più rilevante del diradamento sembra essere quello del miglioramento delle disponibilità idriche del suolo e dello stato idrico delle piante rilasciate e della loro

minore vulnerabilità alla siccità; aspetto questo di sicuro interesse per la regione mediterranea, caratterizzata da un lungo periodo secco, che potrebbe accentuarsi in futuro in ragione dei cambiamenti climatici in atto.

2.2 Effetto dell'invecchiamento della foresta

Le dinamiche di lungo termine dell'evapotraspirazione degli ecosistemi forestali al progredire dell'età delle piante sono state analizzate, fino ad oggi, da un numero relativamente scarso di studi.

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; Borghetti *et al.*, 2005).

Come si riflette questa progressiva chiusura stomatica sull'uso dell'acqua da parte dell'intero ecosistema?

Nel caso di sistemi semplificati come le piantagioni forestali, vi sono esempi in cui con la ridotta traspirazione degli alberi determina un significativo aumento dei deflussi superficiali all'aumentare dell'età del soprassuolo (Fig. 2).

L'evidenza disponibile per i boschi naturali è invece contraddittoria. In boschi di eucalipto 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 (Fig. 3), 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, e 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 illustrata in precedenza.

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'evapotraspirazione dell'intero ecosistema non variasse all'aumentare dell'età del bosco; entrambi i meccanismi delineati in Fig. 1 sembravano contribuire all'omeostasi osservata. Risultati simili sono stati riportati di recente anche per boschi francesi di *Pinus pinaster* (Delzon *et al.*, 2005).

Non sappiamo ancora quanto le discrepanze fra i diversi studi siano frutto di differenze inter-specifiche o ambientali o piuttosto delle diverse metodologie applicate; s'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 un'opportuna modulazione della distribuzione delle classi di età delle piante potrebbe aprire interessanti prospettive per aumentare la disponibilità idrica per gli usi alternativi dell'acqua a scala di bacino.

3. EVAPOTRASPIRAZIONE E DEFLUSSI: FORESTE VS FORMAZIONI DI PICCOLA TAGLIA

Le foreste mostrano in genere tassi di evapotraspirazione più elevati delle formazioni vegetali di bassa taglia (colture agricole e praterie) in analoghe condizioni ambientali.

Questo è dovuto a quanto si è illustrato in precedenza, cioè che per la maggiore altezza e per le caratteristiche strutturali degli alberi, la copertura della foresta costituisce una superficie molto “rugosa” sotto l’aspetto aerodinamico: le chiome degli alberi sono ben “accoppiate” con l’atmosfera e la resistenza aerodinamica agli scambi gassosi con l’atmosfera è bassa (McNaughton e Jarvis, 1983; Magnani *et al.*, 1998). Questo fa sì che sia l’evaporazione da copertura bagnata (perdite per intercettazione) sia la traspirazione siano, in condizioni analoghe di ventosità, maggiori nei sistemi forestali.

Le osservazioni sperimentali indicano, infatti, che l’afforestazione tanto di praterie quanto di arbusteti porta normalmente ad una riduzione dei deflussi (Farley *et al.*, 2005); l’effetto relativo è tanto più marcato quanto meno piovosa è la stazione (Fig. 4), potendo portare ad una riduzione dei deflussi di oltre il 60% con piovosità annue inferiori ai 1000 mm, quali s’incontrano in buona del territorio nazionale. Questo effetto, talvolta rilevante, 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 d’interventi di afforestazione in ambienti aridi o sub-aridi (UN FAO, 2005).

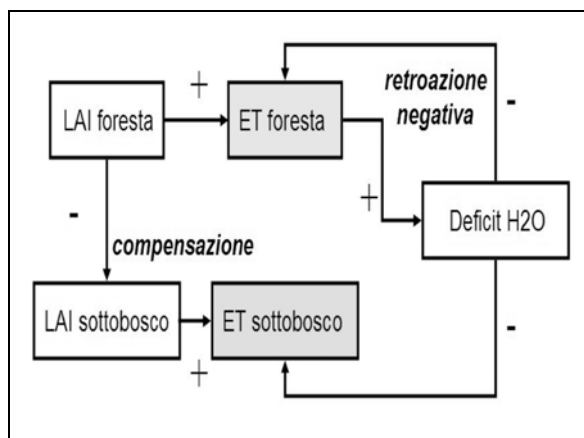


Figura 1. Rappresentazione schematica dei principali processi di regolazione omeostatica dell’evapotraspirazione (ET) di un ecosistema forestale (somma dei contributi di soprassuolo e sottobosco). Una riduzione dell’indice di area fogliare (LAI) del soprassuolo (per l’età, per diradamenti) permette un maggior sviluppo dell’indice di area fogliare (LAI) e quindi della traspirazione del sottobosco (meccanismo di compensazione). Un’elevata traspirazione determina un deficit idrico del suolo, che inducendo una chiusura stomatica in alberi e piante del sottobosco limita l’evapotraspirazione dell’ecosistema (meccanismo di retroazione negativa).

L’aumento delle perdite per intercettazione (evaporazione da copertura bagnata) dovuto all’espansione delle foreste su ex-praterie o arbusteti dipende in notevole misura dal regime pluviometrico; l’effetto può essere accentuato nel caso di regimi pluviometrici caratterizzati da piogge moderate ma ripetute a brevi intervalli di tempo, in cui fra un evento e l’altro si ricreano condizioni di umidità dell’aria che facilitano l’evaporazione; viceversa può risultare più limitato nel caso di precipitazioni intense, che saturano velocemente la capacità d’intercettazione della chioma, ma distanziate nel tempo.

Una previsione quantitativa, utile a scala operativa, dell’effetto sui deflussi idrici della trasformazione della copertura vegetale (passaggio da coperture di grossa taglia a coperture di bassa taglia o viceversa) richiede pertanto che vengano applicati modelli matematici di processo in cui, oltre a una rappresentazione di tipo funzionale del processo di evapotraspirazione delle coperture vegetali, si faccia riferimento a condizioni ambientali che siano rappresentative della situazione mesoclimatica; il fatto pone problematiche di non semplice soluzione per la necessità di disporre di scenari di cambiamento climatico realistici a scala locale.

RINGRAZIAMENTI

Lavoro svolto con il contributo dei fondi di finanziamento locale dell’Università della Basilicata e dell’Università di Bologna assegnati, rispettivamente, a M. B. e F. M.

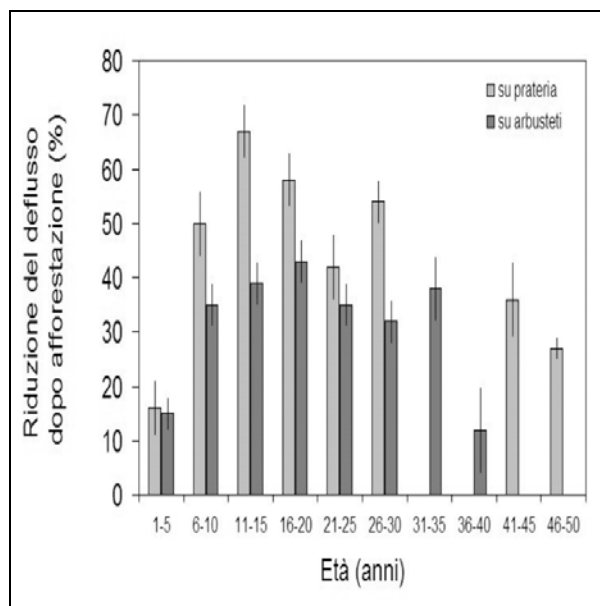


Figura 2. Effetto sui deflussi idrici d’interventi di afforestazione su praterie o su arbusteti, in funzione dell’età del soprassuolo. Da Farley *et al.*, (2005).

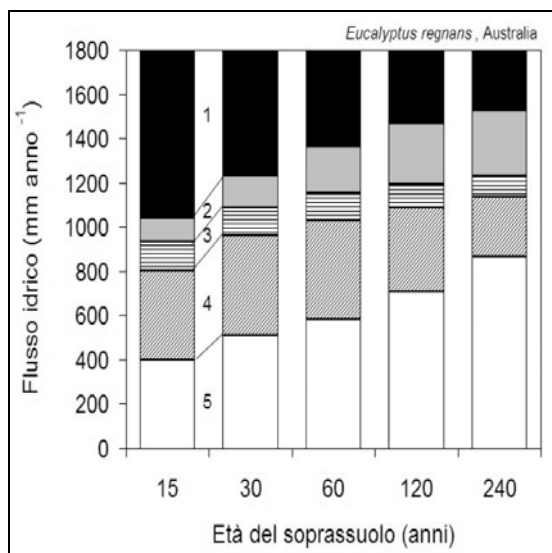


Figura 3. Contributo al bilancio idrico stagionale (1) della traspirazione degli alberi, (2) della traspirazione del sottobosco, (3) dell'evaporazione dalla lettiera, (4) dell'evaporazione dalle chiome bagnate e (5) dei deflussi idrici in boschi di eucalipto di età compresa fra 15 e 240 anni in Australia.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

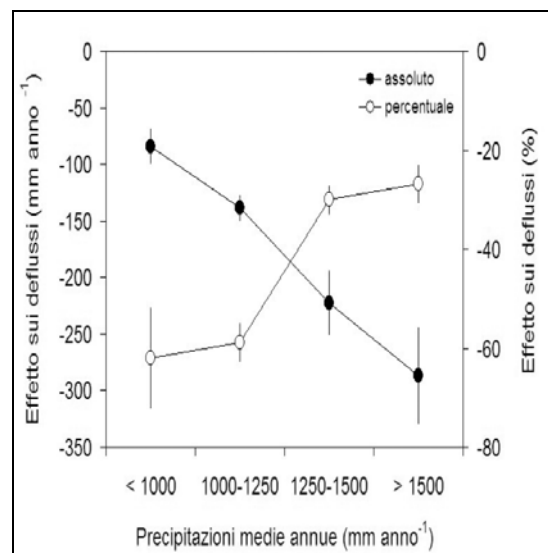


Figura 4. Effetti dell'afforestazione sui deflussi superficiali, in funzione delle disponibilità idriche stagionali. Da Farley *et al.* (2005); ogni punto rappresenta un confronto a coppie.

Specie	T/ET - bp	T/ET - mp	D - bp	D - mp	Riferimento
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Invariata - T	n.r.	n.r.	n.r.	Black <i>et al.</i> (1980)
<i>Chamecyparis obtusa</i>	Diminuita - T	n.r.	n.r.	n.r.	Morikawa <i>et al.</i> (1986)
<i>Pinus taeda</i>	Invariata - T	n.r.	n.r.	n.r.	Stogsdill (1992)
<i>Quercus petraea</i>	Diminuita - ET	Invariata - ET	n.r.	n.r.	Breda <i>et al.</i> (1995)
<i>Pinus laricio</i>	n.r.	n.r.	Aumentato	n.r.	Callegari <i>et al.</i> (2003)
<i>Pinus silvestris</i>	Invariata - ET	Invariata - ET	n.r.	n.r.	Vesala <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus ponderosa</i>	Diminuita - T	Diminuita - T	n.r.	n.r.	Simonin <i>et al.</i> (2007)
<i>Pinus silvestris/Picea abies</i>	Diminuita - T	Invariata - T	n.r.	n.r.	Lagergren <i>et al.</i> (2008)

Tabella 1. Risultati di alcuni studi sugli effetti dei diradamenti sulla traspirazione/evapotraspirazione e sui deflussi in sistemi forestali; T=traspirazione del soprassuolo; ET=evapotraspirazione totale dell'ecosistema; D=deflusso idrico; bp=breve periodo; mp=medio periodo; n.r.= dato non rilevato.

SUMMARY

CONTROL OF WATER USE IN FOREST ECOSYSTEMS

After a short analysis of environmental factors controlling evapotranspiration from plant canopies, we consider how the water balance can be affected by thinnings, the ageing of forest stands, the forest expansion on lands previously occupied by crops and pastures.

RÉSUMÉ

LE CONTROLE DE L'UTILISATION DE L'EAU DANS LES ECOSYSTEMES FORESTIERS

Après une brève analyse des facteurs du milieu qui contrôlent l'évapotranspiration de la forêt, on a pris en considération les probable effets sur le bilan hydrologique

des éclaircies forestières, du vieillissement du peuplement forestier et de l'expansion de la forêt après l'abandon des territoires par l'agriculture et le pâturage.

BIBLIOGRAFIA

- Black T.A., Tan C.S., Nnyamah J.U., 1980 - *Transpiration rate of Douglas fir trees in thinned and unthinned stands*. Canadian Journal of Soil Science, 60: 625-631.
- Borghetti M., Ripullone F., Magnani F., 2005 - *Vincoli idraulici alla crescita degli alberi e alla produttività forestale*. In: "Foreste Ricerca Cultura. Scritti in onore di Orazio Ciancio", pp. 27-42. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.
- 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 Physiology, 15: 295-306.
- Callegari G., Ferrari E., Garfi G., Iovino F., Veltri A., 2003 - *Impact of thinning on the water balance of a catchment in Mediterranean*. Forestry Chronicle, 79 (2): 301-306.

- Delzon S., Loustau D., 2005 - *Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 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 Biology*, 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 Physiology*, 19: 165-172.
- Hutjes R.W.A., Kabat P., Running S.W., Shuttleworth W.J., Field C., Bass B., Dias M., Avissar R., Becker A., Claussen M., Dolman A.J., Feddes R.A., Fosberg M., Fukushima Y., Gash J.H.C., Guenni L., Hoff H., Jarvis P.G., Kayane I., Krenke A.N., Liu C., Meybeck M., Nobre C.A., Oyebande L., Pitman A., Pielke R.A., Raupach M., Saugier B., Schulze E.D., Sellers P.J., Tenhunen J.D., Valentini R., Victoria R.L., Vorosmarty C.J., 1998 - *Biospheric aspects of the hydrological cycle - preface*. *Journal of Hydrology*, 213: 1-21.
- Iovino F., Veltri A., 2003 - *Gestione del bosco e impatto sulle risorse idriche*. *Quaderni di Idrotecnica*, 17: 29-44.
- 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 Physiology*, 24: 753-763.
- Lagergren F., Lankrejer H., Kucera J., Ciencala E., Mölder Meelis, Lindroth A., 2008 - *Thinnings effects on pine-spruce forest transpiration in central Sweden*. *Forest Ecology and Management*, 255: 2312-2323.
- 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 and Environment*, 21: 867-879.
- Mcnaughton K.G., Jarvis P.G., 1983 - *Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation*. In: Kozlowski T.T., (Ed.), *Water Deficits and Plant Growth*, vol. VII. Academic Press, pp. 1-47.
- Morikawa Y., Hattori S., Kiyono Y., 1986 - *Transpiration of a 31-year-old Chamaecyparis obtusa Endl. stand before and after thinning*. *Tree Physiology*, 2: 105-114.
- Roberts J., 1983 - *Forest transpiration: a conservative hydrological process?* *Journal of Hydrology*, 66: 133-141.
- Simonin K., Kolb T.E., Montes-Helu M., Koch G.W., 2007 - *The influence of thinning on components of stand water balance in a ponderosa pine stand during and after extreme drought*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143: 266-276.
- Stogsdill W.R., Wittwer R.F., Hennessey T.C., Dougherty P.M., 1992 - *Water use in thinned loblolly pine plantations*. *Forest Ecology and Management*, 50: 233-245.
- UN FAO 2005 - *Forests and Floods. Drowning in Fiction or Thriving on Facts?* Centre for International Forestry Research, Bogor Barat, 40 pp.
- 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.
- Vesala T., Suni T., Rannik U., Keronen P., Markkanen T., Sevanto S., Gronholm T., Smolander S., Kulmala M., Ilvesniemi H., Ojansuu R., Uotila A., Levula J., Makela A., Pumpanen J., Kolari P., Kulmala L., Altimir N., Berninger F., Nikinmaa E., Hari P., 2005 - *Effect of thinning on surface fluxes in a boreal forest*. *Global Biogeochemical Cycles* 19 doi:10.1029/2004GB002316 (GB2001).
- Whitehead D., Jarvis P.G., Waring R. H., 1984 - *Stomatal conductance, transpiration and resistance to water uptake in a Pinus silvestris spacing experiment*. *Canadian Journal of Forest Research*, 14: 692-700.