

LIVIO BIANCHI (*) - GIANFRANCO CALAMINI (*) - ENRICO GREGORI (**)
MARCO PACI (*) - ANDREA TANI (*) - GIOVANNI ZORN (**)

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEL RIMBOSCHIMENTO IN ZONE ARIDE DELLA SARDEGNA

Modificazioni ambientali relative ai processi di desertificazione (1)

Il presente lavoro è finalizzato alla valutazione degli effetti del rimboschimento in tre zone della Sardegna centrale: F.D. Montes (NU), F.D. Usinavà (NU) e Monte Arci (OR). In ognuna di queste sono state messe a confronto aree rimboschite con aree a vegetazione naturale (macchia mediterranea), verificando le differenze venutesi a creare in termini di produzione di biomassa, diversità specifica, quantità di lettiera e caratteristiche edafiche.

Dallo studio emerge il positivo effetto del rimboschimento nei confronti della biomassa e della diversità specifica, confermando l'importante ruolo del rimboschimento nel promuovere ed accelerare le dinamiche evolutive. Di più difficile interpretazione sono i risultati relativi agli effetti delle piantagioni nei confronti di fattori come lo stoccaggio della sostanza organica e l'infiltrabilità dell'acqua nel suolo. Solo nel caso del rimboschimento di Montes possono essere evidenziati notevoli miglioramenti per quanto riguarda la velocità di infiltrazione e il sequestro di sostanza organica al suolo. Nelle altre due zone il perdurare degli effetti delle lavorazioni eseguite per l'impianto, nonché l'impatto delle pratiche selvicolturali e dell'incendio non permettono una esauriente valutazione delle conseguenze indotte dagli interventi di forestazione.

Parole chiave: Biomassa; biodiversità; rimboschimenti.

Key words: Biomass; biodiversity; afforestation.

INTRODUZIONE

Nelle aree a clima mediterraneo si è spesso fatto ricorso al rimboschimento anche con finalità di conservazione del suolo e regimazione delle acque, e quindi anche per contrastare i processi di desertificazione. Tali fenomeni, comunemente riferiti all'espandersi delle grandi aree desertiche, riguardano anche le fasi iniziali di deterioramento della copertura vegetale

(*) Università degli Studi di Firenze, DISTAF.

(**) Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze.

(1) Lavoro svolto nell'ambito del progetto MIUR cofin2000 «Studio dell'influenza e del ruolo di frangivento, alberature e rimboschimenti nella lotta alla desertificazione in ambiente mediterraneo».

e del suolo, interessando, secondo l'annesso IV della Convenzione ONU per la lotta alla desertificazione, anche i Paesi europei mediterranei (UNCCD, 1994). Oltre 1,5 milioni di ettari del territorio italiano sono ufficialmente dichiarati a rischio di desertificazione (LOGUERCIO, 1999), con elevata concentrazione nella parte insulare (MOTRONI *et al.*, 2003).

L'attività di riforestazione portata avanti in Sardegna, in particolare dall'Azienda Regionale delle Foreste (oggi Ente Foreste), ha interessato, dagli anni '70 ad oggi, oltre 40000 ha, mobilitando notevoli risorse umane e finanziarie e modificando il paesaggio di intere aree. Al di là di ogni considerazione sui risultati conseguiti sotto l'aspetto della produzione legnosa, l'eliminazione della vegetazione spontanea e le operazioni di preparazione del terreno hanno talora innescato preoccupanti fenomeni di degradazione del suolo (ARU e BALDACCINI, 1993; DELOGU, 1993). Va comunque riconosciuto che le attività di sorveglianza e manutenzione delle piantagioni e delle opere accessorie hanno consentito un più efficace controllo del territorio, in particolare per quanto riguarda la regolamentazione del pascolo e la lotta agli incendi boschivi.

Il presente lavoro completa il quadro valutativo delle conseguenze, in relazione ai processi di desertificazione, della sostituzione della macchia mediterranea con impianti artificiali in alcune zone della Sardegna, riprendendo i risultati di alcune pubblicazioni precedenti relative all'impostazione delle indagini (BIANCHI *et al.*, 2002), all'inquadramento climatico (BIANCHI *et al.*, 2003) ed agli aspetti pedologici ed erosivi (BIANCHI *et al.*, 2004).

MATERIALI E METODI

Le indagini sono state condotte in tre diverse località della Sardegna: sul Monte Arci, Demanio del comune di Ales (OR), e nelle Foreste Demaniali di Montes, comune di Orgosolo (NU) e Usinavà, comune di Torpè (NU).

Il clima delle aree di indagine è stato oggetto di una precedente nota (BIANCHI *et al.*, 2003), alla quale si rimanda per i relativi dettagli; i caratteri salienti del clima sono riassunti in Tab. 1. In generale si può notare una certa omogeneità climatica, risultando le tre stazioni appartenere alle stesse tipologie della classificazione di Köppen (*Csa*) e di Pavari (*Castanetum* caldo con siccità estiva), con piccole differenziazioni solo nell'ombrotipo di quella di Rivas-Martinez. Gli indici di aridità di Bagnouls e Gaussen evidenziano una aridità estiva leggermente più pronunciata a Monte Arci.

In ciascuna località, secondo criteri di omogeneità per caratteristiche morfo-litologiche ed edafiche, è stata individuata un'area campione all'interno della quale sono state delimitate due parcelle, una con copertura di

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei principali parametri climatici delle aree indagate.
– *Mean climatic features of the studied areas.*

	Monte Arci	Montes	Usinavà
Temperatura media annua (°C)	13,9	12,4	13,9
Temp. media mese + caldo (°C)	23,3	22,4	23
Temp. media mese + freddo (°C)	6,7	4,8	6,4
Precipitazione media annua (mm)	996	1106	1004
ETP secondo Thornthwaite (mm)	750	708	753
Indice di Bagnouls e Gaussen	71,4	48,6	63,6

macchia mediterranea e un'altra con rimboschimento di conifere (BIANCHI *et al.*, 2002). Rinviano ad una nota precedente per una descrizione delle principali caratteristiche pedologiche (BIANCHI *et al.*, 2004), si riporta qui di seguito una sintesi dei principali aspetti dell'ambiente fisico e della vegetazione delle aree di indagine.

Il paesaggio di **Monte Arci** è dominato da macchia alta e boschi di leccio associati a rimboschimenti di conifere che interessano diffusamente tutto il *plateau* trachi-basaltico; la vegetazione spontanea della zona interessata dalle indagini, ubicata a 730 m di altitudine, è costituita da macchia mediterranea alta (4-5 m), molto densa, a prevalenza di corbezzolo ed erica arborea, non interessata da fattori di disturbo da almeno una ventina d'anni (l'ultimo incendio risale al 1983). Il rimboschimento fu realizzato con *Pinus pinaster* nel 1971 con densità iniziale di 1600 piante/ha, eseguito tramite decespugliamento andante, spietramento superficiale e successiva lavorazione profonda del terreno con ripper; la zona rimboschita è stata interessata solo marginalmente dal passaggio dell'incendio, in seguito al quale è stato effettuato un diradamento a carico di circa un terzo della massa in piedi. La pineta presenta attualmente una densità disforme e struttura biplana, con piano superiore (altezza media 13 m) costituito da pini, e piano inferiore (altezza media da 1.5 a 3 m), a densità quasi colma, composto da una rigogliosa rinnovazione naturale di pino e subordinatamente di latifoglie autoctone (leccio e roverella), oltre che da arbusti quali corbezzolo ed erica arborea; il piano erbaceo-arbustivo è costituito da felce aquilina, rovo e brachipodio rupestre.

Le due parcelle di **Montes** sono poste ad un'altitudine di 1100 m s.l.m., in un ambiente caratterizzato dall'affioramento del substrato cristallino metamorfico (filladi) e dalla presenza di macchia bassa, cedui di leccio e rimboschimenti per lo più di conifere. La prima è coperta da macchia bassa (1-1,5 m) con locale aspetto di gariga a copertura quasi colma (85%), con netta dominanza di erica arborea associata a ginestra di Corsica, cisto monspessolano e salvifolio, e presenza sporadica di rinnovazione di leccio e di ginepro; la copertura erbacea è scarsa (20-50%) e costituita in prevalenza

da brachipodio. L'altra parcella è collocata in un rimboschimento di *Pinus nigra* subsp. *laricio* messo a dimora nel 1970 su terreno preparato manualmente a piccoli gradoni, dove sono state messe a dimora 1500 piante/ha circa; successivi diradamenti dal basso hanno mantenuto nel tempo una densità colma. Il popolamento ha un'altezza media di 12 m, un rado piano arbustivo a densità irregolare di erica arborea, cisto salvifolio e biancospino, ed un piano erbaceo localizzato a brachipodio rupestre ed erba mazzolina. Nelle chiarie e sui margini si osserva la presenza di rinnovazione sparsa di roverella e più concentrata di leccio, assieme a giovani piante di leccio alte fino a 4 m circa.

Ad **Usinavà** la vegetazione dominante è costituita da macchia bassa e rimboschimenti a prevalenza di pino marittimo frammisti ai caratteristici affioramenti rocciosi delle rupi granitiche. Le due aree di studio, poste a 555 m s.l.m., sono separate fisicamente da un viale parafulmineo che rappresenta anche il confine della Foresta Demaniale. La copertura della parcella a macchia, pari in media al 90%, è in prevalenza costituita da corbezzolo ed erica arborea, associati a diversi arbusti mediterranei, con altezza generalmente inferiore a 2 m e locale aspetto di gariga. Il rimboschimento è stato eseguito nel 1986; dopo aratura profonda (70-80 cm) a strisce e sistemazione in andane delle pietre affiorate che hanno conferito al terreno una morfologia ondulata; sono state messe a dimora circa 1500 piante ad ettaro, in prevalenza di *Pinus pinaster*, *Cupressus sempervirens* e *Cupressus arizonica*. A causa dell'elevata mortalità registrata nei primi anni seguenti all'impianto, solo parzialmente compensata da tardivi risarcimenti eseguiti con leccio e sughera, la densità attuale del soprassuolo è di 400 piante/ha. La copertura arborea è pari a circa il 60%, con altezza variabile da 4 a 8 m. La bassa densità ha favorito lo strato arbustivo che risulta a prevalenza di corbezzolo, erica arborea, cisti e *Phillyrea angustifolia*.

In ogni località i caratteri della copertura vegetale delle aree sperimentali sono stati rilevati mediante aree di saggio, con posizionamento planimetrico di tutti gli alberi e misura del diametro a 1,30 dal suolo, altezza totale e diametro medio della chioma; per il piano arbustivo e della rinnovazione spontanea delle specie arboree, come pure per lo strato erbaceo, si è proceduto alla caratterizzazione mediante rilievo delle altezze e del rispettivo grado di copertura in 10 aree quadrate di 2 x 2 m. Rilievi più dettagliati sono stati condotti su due transect contigui di 12 m di lunghezza e 2-4 m di larghezza; la biomassa epigea dei diversi settori dei transect è stata misurata con il metodo del raccolto, pesando in posto il peso fresco complessivo di ciascuna specie e prelevando campioni opportunamente assortiti per la determinazione del contenuto in acqua e del peso

secco (essiccazione in stufa a 105 °C fino a peso costante). Di sei piante scelte fra le specie arbustive più rappresentative di ogni parcella è stato estratto e pesato anche l'apparato radicale; tutta la parte ipogea è stata portata in laboratorio per la misura del peso secco. La biomassa arborea dei rimboschimenti di pino marittimo è stata stimata mediante le relazioni allometriche calcolate da GIANNINI *et al.* (2002), mentre per il pino laricio si è fatto riferimento alle tavole di biomassa di RANGER (1978) e MILLER *et al.* (1980). Il livello di diversità specifica della biomassa totale misurata in ciascun transect è stato valutato mediante l'elaborazione dell'indice di SHANNON (1948).

La sostanza organica presente alla superficie del suolo (lettiera e muschi) è stata prelevata a dicembre 2002 in 4 punti di raccolta distribuiti casualmente in ciascuna stazione, ricorrendo ad un telaio rigido di 0,11 m² di superficie ed asportando con una spatola tutto il materiale organico fino al sottostante orizzonte minerale (A); il campione è stato essiccato in stufa a 105°C fino a peso costante. I risultati sono stati quindi espressi in t di sostanza secca e riportati ad ettaro tenendo conto dell'incidenza areale delle rocce affioranti, come risultante dalla descrizione della stazione (BIANCHI *et al.*, 2004) e della superficie occupata dalle ceppaie.

Il metodo dell'infiltrometro a cilindro (CAVAZZA e TORRI, 1997) è stato impiegato per la determinazione della conducibilità idraulica del terreno saturo, ricorrendo ad una coppia di cilindri di 30 cm di diametro, infissi per circa 15 cm nel terreno di ogni transect esaminato. Le prove di infiltrometria sono state eseguite 4 volte nel corso di un biennio (lug e dic/2001, mag e dic/2002), esprimendo la velocità di infiltrazione in mm/h. A partire dalla seconda misura, per le sole stazioni rimboschite, sono stati utilizzati 3 cilindri, allo scopo di verificare la variabilità spaziale e/o i valori particolarmente elevati della velocità di infiltrazione.

Per la valutazione della suscettività nei confronti dei processi di desertificazione si è fatto ricorso al modello delle *Environmental Sensitive Areas* (ESAs) alla desertificazione, messo a punto nell'ambito del Progetto MEDALUS (KOSMAS *et al.*, 1999). Secondo questo approccio vengono considerati diversi parametri quali morfologia, suolo, geologia, vegetazione, clima ed impatto antropico, raggruppati in classi, con pesatura diversa in funzione dei loro effetti sulla desertificazione. La classificazione finale considera tre livelli di esposizione al fenomeno degradativo (critico, fragile, potenziale) o la sua assenza, ottenuti combinando quattro aspetti di valutazione qualitativa di suolo, clima, vegetazione e tipo di gestione.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Biomassa vegetale

I risultati di seguito esposti vanno ad integrare quelli già riportati in un precedente lavoro (BIANCHI *et. al.*, 2002) riferiti alla sola biomassa epigea.

I rilievi di campo e le misure di laboratorio hanno innanzitutto consentito di fornire indicazioni sui rapporti tra peso secco e peso fresco e sulla proporzione tra la biomassa ipogea ed epigea delle diverse specie arbustive delle aree campione (Tab. 2).

Tabella 2 – Medie ($\pm$ dev.st.) dei rapporti peso secco/fresco e biomassa ipogea/epigea e numero (n°) dei campioni.

– *Average ($\pm$ st. dev.) of dry/fresh weight and root/shoot biomass ratios with the corresponding sample number.*

Specie	Sigla	Peso secco / peso fresco				Biomassa	
		parte epigea	n°	parte ipogea	n°	ipogea /epigea	n°
<i>Arbutus unedo</i>	Au	0,505 (0,051)	11	0,549 (0,044)	5	1,064 (0,09)	4
<i>Cistus salvifolius</i>	Cs	0,537 (0,09)	3	0,513 (0,011)	3	0,208 (0,039)	2
<i>Cytisus monspess.</i>	Cm	0,528 (0,082)	3	0,471	1	0,506	1
<i>Erica arborea</i>	Ea	0,595 (0,041)	13	0,616 (0,032)	9	1,735 (0,688)	10
<i>Genista corsicana</i>	Gc	0,638	1	0,647	1	0,2	1
<i>Halimium halimifolium</i>	Hh	0,544 (0,019)	2	0,541 (0,001)	2	0,132 (0,03)	2
<i>Helicbrysum sp.</i>	Hi	0,5	0	0,5	0	0,2	0
<i>Inula viscosa</i>	Iv	0,5	0	0,5	0	0,2	0
<i>Lavandula stoechas</i>	Ls	0,5	0	0,5	0	0,2	0
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Pa	0,549	1	0,65	1	0,49	1
<i>Pinus nigra</i>	Pn	0,47	0	0,47	0	0,285	0
<i>Pinus pinaster</i>	Pp	0,3 (0,038)	2	0,67 (0,056)	2	0,15 (0,053)	2
<i>Quercus ilex</i>	Qi	0,5	0	0,5	0	1	0
<i>Thymus capitatus</i>	Tc	0,5	0	0,5	0	0,2	0

Il rapporto fra peso secco e peso fresco è normalmente influenzato dalle condizioni stazionali e dallo stadio vegetativo del momento della raccolta. Trattandosi di un unico rilievo per zona e di un numero limitato di campioni, è opportuno attribuire al dato esposto un carattere indicativo. Tutte le specie caratteristiche della macchia hanno fatto registrare sia nelle radici che nel fusto un rapporto tra peso secco/fresco compreso tra 0,5 e 0,65. Negli apparati radicali di corbezzolo, erica e fillirea la proporzione di sostanza secca è risultata mediamente più elevata rispetto a quella riscontrata nella parte aerea. La rinnovazione di pino marittimo ha invece fornito valori che si discostano notevolmente da quelli sopra citati, con un rapporto che vale complessivamente 0,3 per la parte aerea e 0,7 per quella radicale.

Molto più variabile è invece risultato il rapporto tra biomassa delle radici e del fusto (Tab. 2), con valori nettamente più elevati per le due specie arbustive più rappresentate nelle aree campione; per corbezzolo ed

erica arborea, infatti, il peso dell'apparato radicale è rispettivamente uguale e quasi doppio a quello della parte epigea, mentre tutte le altre specie presentano una netta prevalenza della biomassa aerea. Tutto questo conferma ed esalta, in particolare per le aree a macchia, una dominanza delle due specie suddette che tende ad essere ancora più rilevante a livello sotterraneo. Per tali motivi i valori di biomassa totale delle diverse aree risultano condizionati dalla presenza di queste due specie in misura maggiore di quanto lo siano quelli relativi alla sola biomassa epigea, così come evidenziato nel precedente lavoro (BIANCHI *et. al.*, 2002).

La biomassa totale è risultata compresa fra il minimo di 46 t/ha della macchia di Usinavà ed il massimo di 231 t/ha nella macchia di M. Arci. Fatta eccezione per quest'ultima località, le aree rimboschite sono caratterizzate da livelli di biomassa che sono circa il doppio di quelli delle corrispondenti aree a macchia, con una incidenza delle specie impiantate pari al 56 e all'89% rispettivamente a M. Arci e a Montes, ma solo del 47% per il pino marittimo di Usinavà. Nelle aree a macchia il corbezzolo e l'erica sono le specie più rappresentate, costituendo il 100% della biomassa complessiva a M. Arci, circa il 96% a Montes e il 92% a Usinavà.

La quantità di biomassa epigea è risultata molto simile nelle stazioni rimboschite di Monte Arci e Usinavà, con valori (41 e 44 t/ha) pari a meno della metà di quelli di Montes (105 t/ha); tale variazione è da attribuirsi prevalentemente all'effetto del fuoco, che ha attraversato le piantagioni delle prime 2 località, ed al diradamento che ha interessato recentemente la pineta di Monte Arci. La stessa spiegazione non appare invece fondata nel caso delle aree a macchia, infatti la biomassa aerea varia tra le 20 e 30 t/ha per le stazioni di Usinavà e Montes, fino alle 110 t/ha a Monte Arci; tale variazione può essere motivata solamente dalle differenti caratteristiche edafiche delle stazioni.

Le radici rappresentano in media dal 27 al 62% della biomassa totale. Nelle aree a macchia la proporzione di biomassa radicale risulta abbastanza costante ed appena superiore alla porzione epigea (52-62% del totale), mentre in quelle rimboschite tale rapporto è nettamente sfavorevole alle radici, che incidono sul totale con percentuali comprese fra il 47% di Monte Arci ed il 27% di Montes. Nella piantagione di questa località la biomassa radicale delle specie arbustive è in assoluto la più bassa, non raggiungendo le 10 t/ha, probabilmente a causa dell'elevato livello di copertura che tende a privilegiare l'accrescimento della parte epigea rispetto alla ipogea. Le conifere impiantate apportano il contributo più elevato di biomassa aerea e radicale (Tab. 3), rappresentando circa $\frac{3}{4}$ della biomassa radicale complessiva a Montes e quasi la metà negli altri due popolamenti più radi.

Tabella 3 – Valori specifici di biomassa radicale, epigea e totale (t/ha) nei popolamenti esaminati.
– *Above-ground, root, and total biomass per species (t/ha) in the sampled stands.*

Specie (sigla)	Biomassa	Monte Arci		Montes		Usinavà	
		rimbosch.	macchia	rimbosch.	macchia	rimbosch.	macchia
Au	epigea	9,26	104,26			5,36	9,47
	radicale	9,83	106,80			5,69	10,06
	totale	19,09	211,06			11,05	19,52
Cs	epigea	3,32		0,19	0,65	3,79	1,08
	radicale	0,64		0,04	0,13	0,74	0,21
	totale	3,97		0,22	0,78	4,53	1,29
Ea	epigea	4,67	7,39	5,45	26,96	5,30	8,26
	radicale	8,09	12,79	9,44	46,69	9,18	14,29
	totale	12,76	20,17	14,89	73,65	14,48	22,55
Gc	epigea				0,90	0,25	1,33
	radicale				0,18	0,05	0,27
	totale				1,08	0,30	1,60
Cm - Hh	epigea	0,21			0,71	2,58	0,34
	radicale	0,11			0,37	0,34	0,05
	totale	0,32			1,08	2,92	0,39
Hi - Iv	epigea			0,01		0,05	
	radicale			0,00		0,01	
	totale			0,02		0,06	
Tc - Ls	epigea				0,06	0,65	0,25
	radicale				0,01	0,13	0,05
	totale				0,07	0,78	0,30
Qi - Pa	epigea			0,16	0,07	3,31	0,09
	radicale			0,16	0,07	1,62	0,04
	totale			0,32	0,13	4,94	0,14
Pp	epigea	26,49				19,74	
	radicale	19,70				14,84	
	totale	46,20				34,58	
Pn	epigea			99,17			
	radicale			28,26			
	totale			127,43			
Totale	epigea	43,96	111,64	104,98	29,35	41,03	20,82
	radicale	38,38	119,59	37,90	47,45	32,60	24,97
	totale	82,34	231,23	142,88	76,80	73,63	45,79

Nelle aree a macchia il corbezzolo domina a Monte Arci, dove costituisce l'89% della sostanza secca radicale, mentre l'erica è preponderante a Montes e Usinavà, rispettivamente con il 98 e il 57% del totale della biomassa ipogea. In quest'ultima località l'erica, pur non essendo la specie più rappresentata in termini di biomassa epigea, prevale sul corbezzolo a livello di quella radicale in virtù della più elevata proporzione di radici rispetto al fusto.

Limitatamente alle aree a macchia l'analisi dei dati per singolo settore ha messo in evidenza una buona correlazione ($r = 0,90$; $P < 0,01$) fra biomas-

sa totale per unità di superficie e la media di 6 misure dell'altezza della copertura arbustiva. Anche se l'accuratezza delle stime è risultata modesta (C.V. 36%) per la limitatezza delle osservazioni, ciò indica la possibilità di valutare i livelli di biomassa a partire da variabili facilmente misurabili; la densità delle ceppaie, da sola o in associazione con l'altezza, non risulta invece legata alla biomassa.

Diversità biologica

Elaborando l'indice di *Shannon* con i dati di biomassa totale rilevati per ciascun transect è emerso che il valore massimo spetta all'area a bosco di Usinavà (1,52) e quello minimo all'area a macchia di Montes (0,22). Complessivamente, in ogni località, i valori di tale indice sono sempre superiori nell'area a bosco rispetto a quella a macchia; in particolare a Monte Arci il valore ottenuto nell'area a bosco (1,12) è quasi quattro volte quello calcolato per la macchia (0,30). Nelle aree a bosco, pertanto, la biomassa totale è distribuita fra un maggior numero di specie ed è anche più uniformemente ripartita fra queste. La differenza fra macchia e rimboschimento è probabilmente riconducibile alla presenza, oltre che delle specie impiantate, anche della rinnovazione di leccio e pino insediatasi sotto la copertura delle piantagioni, che non è stata osservata nelle adiacenti aree a macchia. Ciò conferma la maggiore efficacia del rimboschimento nell'innescare (o accelerare) dinamiche evolutive in direzione della lecceta rispetto alle contigue aree non rimboschite.

Lettieria

La quantità di sostanza organica presente al suolo è risultata quasi esclusivamente costituita da necromassa ed ha raggiunto, con una variabilità spaziale relativamente elevata, valori medi oscillanti tra 20 e 100 t/ha, senza rilevanti differenze fra macchie e rimboschimenti (in media 50 e 55 t/ha rispettivamente). L'ANOVA eseguita sui dati dei singoli rilievi, corretti per la superficie effettivamente occupata e trasformati nel logaritmo naturale (per necessità di omogeneizzazione delle varianze), evidenzia effetti principali attribuibili solamente alle località ($F=21,28$; $P_{2gl}<0,01$), con differenze significative originate anche dall'interazione fra località e soprassuolo ($F=3,78$; $P_{2gl}<0,05$). Le 3 località presentano quantità significativamente diverse di sostanza organica al suolo; i valori di Usinavà risultano infatti nettamente inferiori a quelli misurati a Monte Arci e a Montes ($F=37,57$; $P_{1gl}<0,01$), di cui rappresentano circa la metà e un quarto, rispettivamente. In generale nessun effetto è riconducibile al tipo di copertura, mentre il passaggio dell'incendio ad Usinavà e nel rimboschimento di Monte Arci può essere ritenuto la causa del minore accumulo di

necromassa in queste stazioni, anche se probabilmente il microclima di Montes può ritenersi meno favorevole ai processi di decomposizione della sostanza organica. In termini generali, comunque, i valori rilevati di accumulo di lettiera sembrano compatibili con una produzione pari a 2-6 t/ha all'anno, così come riportato da TORRENT (1995) per le foreste mediterranee tipiche.

Caratteri edafici e conservazione del suolo

Le conseguenze del rimboschimento sui caratteri edafici e sulle proprietà del profilo si sono dimostrate legate al tipo di substrato, alle condizioni stazionali, alle modalità di preparazione del terreno ed alle successive vicende colturali o accidentali, ivi comprese quelle meteorologiche nelle prime fasi della piantagione (BIANCHI *et al.*, 2004). Gli andosuoli di Monte Arci, sottoposti a lavorazione andante e profonda, si sono dimostrati molto vulnerabili sia nei confronti dell'erosione idrica che di altri fenomeni degradativi, quali la compattazione e l'ossidazione della sostanza organica. Le conseguenze iniziali del rimboschimento sono state in questo caso drammatiche, anche per il verificarsi di un periodo particolarmente piovoso a ridosso della messa a dimora delle piantine e del passaggio del fuoco in epoca successiva, con perdite cospicue di suolo (differenza di diverse decine di cm di spessore) e di nutrienti (minore dotazione di sostanza organica, azoto, fosforo) e conseguente scadimento della capacità idrica di ritenzione: l'acqua utile per le piante nel terreno rimboschito è risultata infatti quasi dimezzata (87 mm) rispetto alla macchia (161 mm). Il minore tasso di saturazione in basi del complesso di scambio dovrebbe essere invece riconducibile all'effetto acidificante della lettiera di pino. A Montes, per contro, dopo una fase iniziale di riassetamento con perdite di suolo tutt'altro che trascurabili per effetto dei livelli elevati di erodibilità degli orizzonti superficiali, di pendenza e di aggressività climatica, la sistemazione su piccoli gradoni livellari e la buona riuscita della piantagione ha praticamente annullato le conseguenze negative sul suolo, che si limitano di fatto ad una modesta costipazione e ad una maggiore desaturazione del complesso di scambio. Data la minore pendenza e la più scarsa rocciosità dell'area rimboschita di Usinavà, è probabile che il suolo di questa fosse già in origine più profondo ed evoluto di quello che ospita la macchia; le analisi eseguite non fanno emergere tuttavia differenze fisico-chimiche eclatanti tra le due situazioni, ad esclusione di una peggiore dotazione in sostanza organica, azoto e fosforo totale sotto copertura della vegetazione spontanea. Le lavorazioni profonde per la preparazione della piantagione non sembrano aver apportato vistosi peggioramenti a livello di stazione, eccezion fatta per la presenza localizzata di fenomeni di erosione idrica diffusa (peraltro contrastati

dalla morfologia ondulata derivante dalla disposizione in andane delle pietre e dalla scarsa pendenza), ed hanno comportato più che altro una maggiore omogeneizzazione degli orizzonti edafici.

Il tasso medio annuo di erosione idrica del suolo, stimato mediante la *Universal Soil Loss Equation* di WISCHMEIER e SMITH (1978), è risultato generalmente inferiore a 0,5 t/ha*anno. In ogni caso, tenuto conto dello spessore di suolo esplorabile dalle radici, i livelli erosivi attuali sono risultati inferiori alla soglia di tollerabilità proposta da MC CORMAK e YOUNG (1981) salvo il caso della macchia di Montes. La vegetazione spontanea della macchia mediterranea appare più efficace del rimboschimento nel contrastare l'erosione idrica del suolo sia a Monte Arci che ad Usinavà, mentre a Montes, nonostante che il fattore morfologico risulti più svantaggioso, il rimboschimento è in grado di ridurre notevolmente le perdite di suolo. La morfologia si è dimostrata invece determinante nel contenere l'erosione del suolo sotto il rimboschimento di Usinavà: a parità di questo fattore, infatti, le perdite stimate, ancorché perfettamente tollerabili, risulterebbero doppie rispetto a quelle della macchia (BIANCHI *et al.*, 2004).

Le misure di infiltrabilità hanno dimostrato in generale un buon comportamento idraulico dei suoli, con valori molto variabili anche all'interno dei fattori controllati di variazione (periodi di misura, località, tipo di soprassuolo). La Tab. 4 evidenzia che la stazione rimboschita di Usinavà ha esibito una variabilità spaziale particolarmente elevata nelle diverse epoche di campionamento, probabilmente a causa del persistere degli effetti di costipazione dovuti ai ripetuti passaggi di mezzi meccanici durante la preparazione del terreno, la piantagione e le successive cure colturali. Da notare ancora come la variabilità tra stazioni (entro singola epoca di misura) sia risultata leggermente inferiore nei rilievi invernali rispetto a quelli tardo-primaverile ed estivo. I valori nettamente più bassi del campionamento di luglio 2001 ad Usinavà e Montes dovrebbero essere riconducibili agli effetti del prolungato (60 giorni) periodo privo di piogge che ha preceduto l'epoca di misurazione e che potrebbe aver alterato la risposta idrologica degli orizzonti superficiali, agendo sia sulla stabilità degli aggregati (BOIX-FAYOS *et al.*, 1998; CERDA, 1998), nel caso di Usinavà, sia sull'idrofobia della sostanza organica (Montes); le proprietà andiche dei suoli di M. Arci avrebbero invece conservato una eccellente infiltrabilità.

Nella macchia di M. Arci e nel rimboschimento di Montes i valori di infiltrometria si sono decisamente differenziati dalle altre aree, mediamente livellate su valori intorno a 300 mm/h; questo fenomeno è sicuramente da mettere in relazione alle proprietà degli orizzonti superficiali del profilo di queste due stazioni, caratterizzate, la prima, da una struttura ben sviluppata di tipo grumoso e di medie dimensioni, la seconda da elevata porosità per

Tabella 4 – Velocità di infiltrazione media in mm/h (CV) registrata alle varie epoche di campionamento.
– *Mean infiltration rate in mm/h (VC) at the different sample dates.*

Località	Soprasuolo	lug-01	dic-01	mag-02	dic-02	medie	medie per località
Usinavà	macchia rimboschimento	99 (57,5%)	471 (22,1%)	324 (33,3%)	356 (18,9%)	312 (49,9%)	258 (50%)
		96 (111,2%)	248 (78,5%)	286 (91,9%)	186 (78,4%)	204 (40,6%)	
Montes	macchia rimboschimento	117 (44,8%)	425 (48,3%)	297 (42,5%)	356 (13%)	299 (44,1%)	936 (79,4%)
		1042 (23,9%)	1925 (48,4%)	1929 (16,9%)	1399 (70,9%)	1574 (27,5%)	
Monte Arci	macchia rimboschimento	966 (4,2%)	763 (17,8%)	1250 (33,6%)	1053 (18,4%)	1008 (20,1%)	670 (57,8%)
		382 (32,6%)	247 (13,8%)	348 (19,7%)	347 (29,4%)	331 (17,6%)	
	totali	450 (98,3%)	680 (94%)	739 (93,8%)	616 (79,4%)	621 (88,6%)	621 (88,1%)

vuoti anche molto grandi, con dimensioni superiori a diversi mm (BIANCHI *et al.*, 2004). L'ANOVA condotta sui logaritmi naturali dei valori medi di ciascuna epoca di campionamento (considerata come replica), manifesta l'assenza di effetti del fattore «soprassuolo» ed una minore capacità di accettazione delle piogge nei suoli di Usinavà rispetto alle altre due località ($F=25,67$; $P_{1gl}<0,01$). La presenza di una fortissima interazione soprassuolo/località ($F=21,62$; $P_{2gl}<0,01$) dimostra ancora una volta che ogni sistema ha subito in maniera molto diversa gli effetti del rimboschimento, in particolare della pedoturbazione indotta dalle modalità di preparazione del terreno. Per ciò che concerne i diversi comportamenti di infiltrometria riferiti alle tre aree rimboschite, non può essere escluso un effetto negativo dell'incendio (RAISON, 1979; DE BANO, 1981 e 2000).

Capacità di sequestro della sostanza organica

La quantità di sostanza organica stoccata nelle aree di indagine è in media di oltre 400 t/ha, in un intervallo che va dalle 166 t/ha della macchia di Usinavà alle sorprendenti 650 t/ha a Monte Arci, sempre della macchia (Fig. 1). Tali quantità appaiono assai elevate soprattutto se confrontate con studi analoghi condotti in foreste mediterranee (TORRENT, 1995), nei quali si stima che il contenuto di sostanza organica nei primi 20-30 cm di suolo (con densità apparente pari a 1) oscilli tra 25 e 100 t/ha.

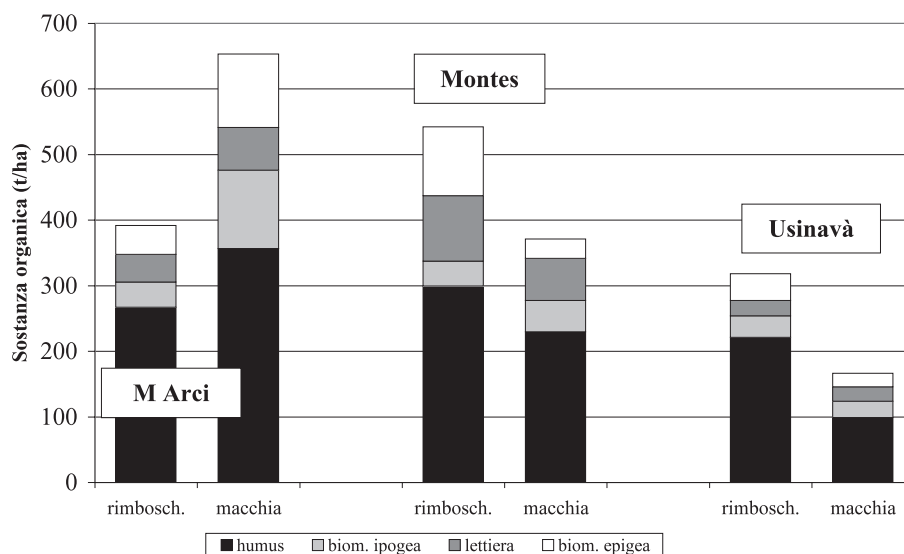


Figura 1 – Ripartizione della sostanza organica nelle diverse componenti nelle aree di studio.
– Organic matter distribution in the studied areas.

Lettiera e humus contengono mediamente circa 300 t/ha di biomassa, senza rilevanti differenze fra macchia e rimboschimento, con valori pari rispettivamente a circa 280 e 320 t/ha. Ad Usinavà la sostanza organica morta al e nel suolo è risultata di poco superiore alle 180 t/ha, quantità nettamente più contenuta rispetto alle 350 – 360 t/ha delle altre due località.

Monte Arci e Montes presentano maggiore efficacia nel sequestro di sostanza organica; ciò è riconducibile da una parte alle proprietà andiche dei suoli di Monte Arci, che bloccano ai primi stadi i processi di decomposizione della lettiera e, dall'altra, alle condizioni microclimatiche delle aree di Montes, caratterizzate (Tab. 1) da minore aridità e quindi meno limitanti per la vegetazione, ma anche da temperature più basse in grado di rallentare i processi di decomposizione. I livelli relativamente modesti di accumulo del rimboschimento di Monte Arci sono da imputare alle perdite di suolo che si sono presumibilmente verificate al momento dell'impianto (BIANCHI *et al.*, 2004).

Suscettività alla desertificazione

In Tab. 5 è riportata la procedura ESAs (Environmental Sensitive Areas) di KOSMAS *et al.* (1999) applicata alle aree esaminate. L'indice complessivo varia da 1,13 a 1,34, evidenziando un certo grado di fragilità per le sole aree di Monte Arci ed una discreta potenzialità alla desertificazione per la macchia di Usinavà. I fattori che incidono maggiormente nella formazione di questo indice sono il clima e gli aspetti gestionali: sul primo ha particolare influenza l'esposizione meridionale delle stazioni, mentre i secondi sono caratterizzati dall'assenza di adeguate misure di protezione. Da notare come quest'ultima variabile, almeno nelle nostre condizioni, risulti determinante ai fini della valutazione finale.

Aspetti paesaggistici e faunistici

Pur considerando la funzione protettiva della copertura forestale come elemento importante nel valutare la sostenibilità della gestione forestale, la percezione estetica dei risultati di certe scelte tecniche, rimboschimenti in particolare, deve oggi più di ieri essere tenuta in considerazione (SHEPPARD e HARSHOW, 2001). In questo senso è dimostrato che il rimboschimento, e specialmente quello di conifere, ha spesso un impatto negativo sul paesaggio a causa sia della geometria regolare degli impianti che dell'architettura delle chiome; ciò vale in maggior misura quando le piantagioni vengono effettuate nel contesto di paesaggi ricchi di forme irregolari e di curve, creando contrasti esteticamente poco apprezzati (BREMAN, 1995).

Nelle aree oggetto di studio, tali effetti negativi sono tuttavia compensati dall'aumento di diversità ad ampia scala prodotto dalle nuove tessere di

Tabella 5 – Risultati dell'applicazione del modello ESAs per la suscettività alla desertificazione.
 – Indexes obtained by ESAs model application for the susceptibility to desertification.

		Monte Arci		Montes		Usinavà	
		rimbosch.	macchia	rimbosch.	macchia	rimbosch.	macchia
Soil quality	tessitura	1,2	1,2	1	1	1	1
	roccia madre	1,7	1,7	1	1	1,7	1,7
	pietrosità	2	2	1,3	2	1,3	1
	profondità suolo	1	1	2	2	2	2
	pendenza	1	1	2	1,5	1	1,2
	drenaggio	1	1	1	1	1	1
	SQIndex	1,26	1,26	1,32	1,35	1,28	1,26
	qualità SQI	media	media	media	media	media	media
Climate quality	piovosità	1	1	1	1	1	1
	aridità	1,1	1,1	1	1	1,1	1,1
	esposizione	2	2	1	1	1	1
	CQIndex	1,30	1,30	1,00	1,00	1,03	1,03
	qualità CQI	media	media	elevata	elevata	elevata	elevata
Vegetation quality	rischio incendio	2	1,6	2	1,6	2	1,6
	protezione erosiva	1,3	1	1,3	1,3	1,3	1,3
	resistenza aridità	1	1	1	1	1	1
	grado copertura	1	1	1	1	1	1
	VQIndex	1,27	1,12	1,27	1,20	1,27	1,20
	qualità VQI	media	elevata	media	media	media	media
Management quality	intensità d'uso	1,2	1	1,2	1	1,2	1
	misure protezione	2	2	1	1	1	2
	MQIndex	1,55	1,41	1,10	1,00	1,10	1,41
	qualità MQI	bassa	media	elevata	elevata	elevata	media
	ESAIndex	1,34	1,27	1,16	1,13	1,16	1,22
	tipo ESA	F3	F2	N	N	N	P
	qualità ESA	fragile	fragile	esente	esente	esente	potenziale

paesaggio dei rimboschimenti. Questo è particolarmente evidente nelle situazioni dominate dalla macchia mediterranea bassa su morfologie poco accidentate, come nel caso di Montes; questi paesaggi, tipici di molte zone a metamorfiti della Sardegna, risultano infatti alquanto monotoni. Ad Usinavà, ed in generale sui substrati granitici fortemente antropizzati, l'effetto paesistico prodotto dall'alternanza localizzata di macchia ed affioramenti rocciosi risulta più gradevole e in un certo senso alternativo al rimboschimento; anche questi ambienti rupestri verrebbero comunque notevolmente valorizzati dalla presenza di nuclei di alberi e/o di esemplari isolati.

La rinaturalizzazione dei rimboschimenti realizzati con specie pioniere può essere ottenuta attraverso diradamenti di una certa intensità, come nel caso di Monte Arci, che favoriscono l'insediamento delle specie autoctone e, nel contempo, rivestono immediata valenza paesaggistica, interrompendo la continuità delle chiome e la regolarità delle geometrie.

Sotto il profilo degli habitat per la fauna selvatica omeoterma, è possibile affermare che il rimboschimento non costituisce un fattore negativo per gli ungulati. In effetti, nelle situazioni da noi analizzate, solo nel rimboschimento di Montes le risorse pabulari del sottobosco risultano nettamente compromesse dall'elevato grado di copertura arborea; d'altro canto la densità di questo popolamento lo promuove come zona di rifugio, come evidenzia la diffusione dei ricoveri del muflone, in un'area in cui rimboschimenti e macchie costituiscono un vero e proprio mosaico. In quest'area, peraltro, sono stati evidenziati alcuni effetti negativi dell'attività degli ungulati selvatici (muflone e cinghiale) sulla copertura vegetale della macchia, con possibili ripercussioni sulla sua funzionalità protettiva nei confronti del suolo (BIANCHI *et al.*, 2004).

La presenza nelle aree rimboschite di rinnovazione naturale di specie forestali a disseminazione barocora (leccio, roverella e sughera), anche a distanze rilevanti rispetto agli alberi portaseme, sono plausibilmente da attribuirsi all'attività dell'avifauna (ghiandaia) e dei piccoli roditori (scoiattolo, in particolare), che frequentano questi ambienti.

CONCLUSIONI

La diversa efficacia del rimboschimento e della vegetazione spontanea a macchia nel contrastare i processi di desertificazione è stata valutata attraverso il confronto di alcuni aspetti di riferimento relativi sia alla copertura vegetale che al suolo.

La biomassa totale misurata nelle aree rimboschite è risultata più elevata di quella riscontrata nelle aree a macchia in due casi su tre (Montes e Usinavà). L'elevata fertilità edafica a Monte Arci ha consentito invece la formazione di una densa copertura a macchia alta, mentre fenomeni consistenti di degradazione del suolo, passaggio dell'incendio e successivi interventi di diradamento hanno fortemente limitato l'accumulo di biomassa nell'area rimboschita. Le aree a macchia sono caratterizzate da una ripartizione praticamente paritaria della biomassa tra fusti e radici, mentre in quelle rimboschite si osserva una netta prevalenza della parte aerea.

Le piantagioni distribuiscono la biomassa fra un maggior numero di specie. Gli effetti del rimboschimento si sono cioè manifestati attraverso un

incremento di diversità di specie legnose sotto copertura la quale, limitando la concorrenza delle essenze eliofile di macchia, ha favorito l'ingresso di specie autoctone, tra cui il leccio. L'aggressività e la tendenza alla dominanza assoluta espressa dal corbezzolo e dall'erica, soprattutto nelle stazioni più fertili, rendono assai complicato l'ingresso di altre specie legnose e fanno ipotizzare delle dinamiche successionali notevolmente più lente. Quanto rilevato contrasta con le conclusioni cui giunge ARU (1999), che indica la diminuzione della diversità specifica come uno degli effetti indotti dalle attività di forestazione effettuate in Sardegna con pini ed eucalitti. Va comunque tenuto presente che la variazione della diversità specifica nei rimboschimenti è, a parità di altri fattori, in larga misura legata agli interventi colturali in genere e ai tagli intercalari in particolare.

La quantità di sostanza organica presente al suolo per lo più sotto forma di lettiera assume proporzioni rilevanti, specialmente a Montes ed a Monte Arci, con valori paragonabili a quelli della biomassa. La presenza di uno strato così consistente di residui vegetali indecomposti garantisce, almeno in assenza dell'incendio, una eccellente protezione contro la formazione di deflusso superficiale e le perdite di suolo per erosione (DISSMEYER e FOSTER, 1984; IVONIN e ZASOBA, 1989).

Gli effetti del rimboschimento sulle caratteristiche edafiche risultano assai più complessi da valutare. La velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo e la quantità di sostanza organica umificata fanno registrare, sotto la piantagione, una netta superiorità solo nella stazione di Montes, mentre altrove i migliori risultati spettano ai terreni che ospitano la macchia. Va tuttavia sottolineato il sorprendente risultato ottenuto a Montes, la stazione che risulta meno disturbata da fattori sia catastrofici (fuoco) che gestionali (lavorazioni meccanizzate). Non è stato evidenziato alcun effetto del soprassuolo sulla capacità di infiltrazione e quindi sulla probabilità che avvenga il ruscellamento delle acque meteoriche e l'erosione idrica del terreno (ROMERO-DIAZ *et al.*, 1999). In realtà, sotto questo aspetto, grande peso sembrano assumere le vicende pregresse. L'eliminazione della vegetazione spontanea e le operazioni di preparazione alla piantagione comportano infatti il deterioramento delle proprietà degli orizzonti di superficie (aumento della densità apparente, riduzione della sostanza organica, destabilizzazione degli aggregati) e si traducono spesso in un aumento dei deflussi di superficie e delle perdite di suolo (CASTILLO *et al.*, 1997). La scelta delle modalità più opportune per la preparazione del terreno è da considerarsi con particolare attenzione soprattutto in ambienti «fragili» e soggetti a degradazione (incendi, pascolo, piogge intense).

Come era logico attendersi, il metodo delle ESAs per la valutazione della suscettività alla desertificazione si è dimostrato scarsamente applicabi-

le alla nostra scala di indagine. Esso ha tuttavia evidenziato come, a fronte di condizioni ambientali relativamente omogenee e scarsamente predisponenti, la suscettività degli ecosistemi nei confronti di questi processi degradativi dipenda in prevalenza dalle variabili legate all'attività antropica.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori sono grati per la preziosa collaborazione fornita dagli operai dei cantieri di Montes e di Usinavà dell'Ente Foreste di Nuoro; un contributo essenziale per la conduzione dei rilievi di campagna e delle analisi di laboratorio è stato fornito dai tecnici Alberto Pierguidi (DISTAF) e Giovanni Borelli (DIAF).

SUMMARY

Reforestation effects in dry areas of Sardinia. Environmental modifications related to desertification processes

This paper deals with the evaluation of the effects of conifer plantation in three different areas of Central Sardinia (Italy). In each location, a planted lot was compared with an adjacent area covered by natural shrub vegetation (Mediterranean *Macchia*). The consequences of plantation in terms of biomass production, biodiversity, litter accumulation and properties of soil profiles were evaluated.

This study clearly shows positive effects of reforestation on standing biomass and its diversity, and emphasizes the important role of forest plantation in promoting and speeding up the evolutive dynamics in Mediterranean ecosystems. The interpretation of results about the capacity of the ecosystem to store organic matter and that of the soil to accept rainfall water is rather uncertain; with this regards, only at Montes the planted lot performed better than the *Macchia*. A complete assessment of the overall effects of forest plantation in the remaining locations is hampered by the presence of several concomitant factors, like site preparation, thinnings and fire occurrence.

BIBLIOGRAFIA

- ALIAS S., PACI M., TANI A., 1995 – *Osservazioni sull'esito dei rimboschimenti con Cedrus atlantica (Endl.) Carrière in provincia di Nuoro* – Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura; XXIV: 141-156.
- ARU A., 1999 – *Field investigations at the Santa Lucia field site, Sardinia, Italy*. MEDALUS III Project 1: Core project; Final report covering the period 96-98: 67-94.
- ARU A., BALDACCINI P., 1993 – *I suoli della Sardegna. Caratteristiche, attitudini e problemi di conservazione*. In: «La difesa del suolo in ambiente mediterraneo»; ERSAT, Cagliari: 33-41.
- BIANCHI L., CALAMINI G., GREGORI E., PACI M., PALLANZA S., PIERGUIDI A.,

- SALBITANO F., TANI A., VEDELE S., 2002 – *Valutazione degli effetti del rimboschimento in zone aride della Sardegna: risultati preliminari sulla vegetazione* – L'Italia Forestale e Montana, 4: 353-368.
- BIANCHI L., CALAMINI G., GREGORI E., ZORN G., 2003 – *Valutazione degli effetti del rimboschimento in zone aride della Sardegna. Inquadramento climatico delle aree sperimentali*. L'Italia Forestale e Montana, 5: 389-407.
- BIANCHI L., DELOGU G., GREGORI E., PALLANZA S., ZORN G., 2004 – *Valutazione degli effetti del rimboschimento in zone aride della Sardegna: suoli ed erosione idrica* – Comunicazione convegno SISS «Suolo e dinamiche ambientali», Viterbo 22-25 giugno 2004.
- BOIX-FAYOS C., CALVO-CASES A., IMESON A.C., SORIANO-SOTO M.D., TIEMESSEN I.R., 1998 – *Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a mediterranean climatological gradient* – Catena; 33: 123-138.
- BREMAN P., 1995 – *L'analisi visuale del paesaggio forestale e le possibili conseguenze sulla pianificazione e sulla gestione* – Sherwood; 7: 32-37.
- CASTILLO V.M., MARTINEZ-MENA M., ALBALADEJO J., 1997 – *Runoff and soil loss response to vegetation removal in a semiarid environment* – Soil Science Society of America Journal; 61: 1116-1121.
- CERDÀ A., 1998 – *Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types* – Catena; 32: 73-86.
- CAVAZZA L., TORRI D., 1997 – *Velocità di infiltrazione* – in: Metodi di analisi fisica del suolo; Ministero per le Politiche Agricole: 109-129.
- DE BANO L.F., 1981 – *Water repellent soils: a state of the art*. Gen. Tech. Rep. PSW – 46, Pacific Southwest Forest and Range Exp. Stn., Forest Serv., U.S. Dep. Agric., Berkeley, Calif.
- DE BANO L.F., 2000 – *The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review*. J. Hydrol., 231-232: 195-206.
- DELOGU G., 1993 – *Proposte di linee guida per la valutazione di attitudine ai rimboschimenti in Sardegna*. In: «La difesa del suolo in ambiente mediterraneo»; ERSAT, Cagliari: 216-221.
- DISSMEYER G.E., FOSTER G.R., 1984 – *A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land* - USDA, Tech. Publ. R8-TP 6.
- GIANNINI R., CALAMINI G., LAVRA S., MICHELOZZI M., PAFFETTI D., ROSSI F., TANI A., 2002 – *Risultati di prove di provenienza di Pino marittimo in Sardegna*. L'Italia Forestale e Montana, LVII-3: 293-301.
- IVONIN V.M., ZASOBA V.V., 1989 – *Soil conservation functions of steppe forest plantations* – Soviet Soil Science; 21(6): 26- 38.
- LOGUERCIO C. (a cura di), 1999 – *Il ruolo dell'Italia nella lotta alla desertificazione*. UNCCD, Comitato Nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione, Ministero dell'Ambiente. CUEN editore, Napoli.
- MCCORMACK D.E, YOUNG K.K., 1981 – *Technical and societal implications of soil loss tolerance* - In: «Soil Conservation: Problems and Prospects», ed. Morgan; Wiley & Sons, Chichester: 365-376.

- KOSMAS, C., KIRKBY, M., GEESON, N., 1999 – *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification* - European Commission, EUR 18882.
- MILLER H.G., MILLER J.D., COOPER J.M., 1980 – *Biomass and nutrient accumulation at different growth rates in thinned plantations of Corsican pine*. *Forestry* 53: 23-39.
- MOTRONI A., CANU S., BIANCO G., LOJ G., 2003 – *Aree sensibili alla desertificazione (environmentally sensitive Areas to desertification, ESAS) in Sardegna* – ERSAT, Cagliari.
- RAISON R.J., 1979 – *Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review*. *Plant Soil*, 51: 73-108.
- RANGER J., 1978 – *Recherches sur les biomasses comparées de deux plantations de Pin laricio de Corse avec ou sans fertilisation* - *Ann. Sci. For.*; 35: 93-115.
- ROMERO-DIAZ A., CAMMERAAT L.H., VACCA A., KOSMAS C., 1999 – *Soil erosion at three experimental sites in the Mediterranean* – *Earth Surface Processes and Landforms*; 24: 1243-1256.
- SHANNON C.E., WEAVER W., 1948 – *The mathematical theory of communication*. Urbana, Univ. of Illinois Press.
- SHEPPARD S.R.J., HARSHOW H.W., 2001 – *Forest and landscapes* – in: *Linking Ecology, Sustainability and Aesthetics*; CABI Publishing, UK.
- TORRENT J., 1995 – *Genesis and properties of the soils of the mediterranean regions*. Università degli Studi di Napoli Federico Secondo, Dipartimento di Scienze Chimico-Agrarie; Licenziato, Napoli.
- UNCCD, 1994 – *Regional Implementation Annex for the Northern Mediterranean*. UNCCD in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1978 – *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* - USDA, Agriculture Handbook 537.