

L'ITALIA FORESTALE E MONTANA

RIVISTA DI POLITICA ECONOMIA E TECNICA

ANNO LVI - NUMERO 4 - LUGLIO-AGOSTO 2001

GIOVANNI BOVIO (*) - GIOVANNI CALLEGARI (**) - ANDREA CAMIA (*)
ANNALISA FRANCESSETTI (*) - FRANCESCO IOVINO (***)
PAOLO PORTO (**) - ANTONELLA VELTRI (**)

PROVE SPERIMENTALI PER VALUTARE L'IMPATTO DEGLI INCENDI BOSCHIVI SULL'IDROLOGIA SUPERFICIALE E SULL'EROSIONE DEI SUOLI (primi risultati) (1)

FDC 431.6 : 116.2

*Le tematiche legate agli incendi boschivi impongono di affrontare problemi complessi che spesso possono essere studiati in modo approfondito solo unendo varie competenze. Diviene particolarmente necessaria la collaborazione di differenti specialisti quando si affrontano le tematiche relative agli effetti che il fuoco causa con il suo passaggio nelle coperture forestali. Tra queste tematiche ne è un particolare esempio lo studio delle modificazioni dei processi idrologici ed erosivi in ecosistemi forestali percorsi da un fronte di fiamma. In questo quadro di riferimento si inserisce la presente ricerca, intrapresa in Calabria nel 1999, in popolamenti di pino laricio (*Pinus laricio* Poir.) nei quali sono stati eseguiti incendi sperimentali per valutare l'impatto del passaggio di differenti fronti di fiamma, caratterizzati nei principali parametri, sui processi idrologici ed erosivi e di verificare i tempi di ristabilimento delle condizioni iniziali in seguito al passaggio del fuoco.*

I primi risultati ottenuti consentono di asserire che il passaggio del fuoco abbia provocato sostanziali modifiche nell'area di studio, dando luogo a repentini aumenti di deflusso superficiale ed erodibilità dei suoli. Tali modifiche, però, sembrano essere limitate ad un periodo variabile dai 2 ai 6 mesi, con riferimento al quale esiste ancora un certo margine di incertezza. I risultati, con riferimento agli aspetti pedologici, forniscono, inoltre, evidenze sperimentali a favore della possibilità di applicazione anche nel nostro Paese della tecnica del fuoco prescritto.

(*) Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e gestione del Territorio – Università degli studi di Torino.

(**) CNR Istituto di Ecologia e Idrologia Forestale – Rende (Cosenza).

(***) Dipartimento di Agrochimica e Agrobiologia – Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.

(1) Lavoro svolto in parti uguali dagli Autori, nell'ambito della linea di ricerca del CNR-IEIF: Ciclo dell'acqua ed erosione dei suoli in ecosistemi forestali percorsi dal fuoco.

1. PREMESSA

Per recepire e normare le evoluzioni in materia di protezione dagli incendi boschivi, il legislatore ha prodotto la recente Legge quadro 353/2000. Nell'ambito di questa evoluzione si è passati dalla genericità alla specializzazione fino a tendere ad un approccio globale (BOVIO & LEONE, 1999).

Finalizzati alla comprensione dei problemi causati dagli incendi in campo scientifico sono maturati numerosi approcci sperimentali con differenti impostazioni.

Le tematiche legate agli incendi impongono di affrontare problemi complessi che spesso possono essere studiati in modo approfondito solo unendo varie competenze.

Diviene particolarmente necessaria la collaborazione di differenti specialisti quando si affrontano le tematiche relative agli effetti che il fuoco causa con il suo passaggio nelle coperture forestali. Tra queste tematiche ne è un particolare esempio lo studio delle modificazioni dei processi idrologici ed erosivi in ecosistemi forestali percorsi da un fronte di fiamma.

I contributi forniti da molti ricercatori hanno attribuito i fenomeni di erosione accelerata, verificatasi a seguito del passaggio del fuoco, a repentini aumenti di deflusso superficiale ed erodibilità dei suoli (SCOTT 1993; EMMERICH & COX, 1994; CERDÀ, 1998; PROSSER & WILLIAMS, 1998). Gli effetti immediati prodotti dal fuoco, infatti, oltre a manifestarsi con la distruzione, totale o parziale, della vegetazione (THORNES, 1985) (BROWN, 1990) riguardano il consumo della sostanza organica degli orizzonti superficiali del suolo, la diminuzione della stabilità degli aggregati (GIOVANNINI & LUCCHESI, 1983) e lo sviluppo di uno strato superficiale impermeabile (CALVO & CERDÀ, 1994).

In effetti, il passaggio del fuoco, favorendo la formazione di uno strato idrorepellente, provocato dalla migrazione di sostanze idrofobiche al di sotto dello strato superficiale del suolo (DE BANO *et al.*, 1970), determina una riduzione della capacità di immagazzinamento di acqua dei suoli e, di conseguenza, un aumento del deflusso superficiale (SCOTT & VAN WYK, 1990). Tale circostanza origina notoriamente fenomeni di erosione diffusa con conseguenti perdite di suolo e quindi di fertilità (HELVEY *et al.*, 1985; PROSSER & WILLIAMS, 1998).

Nel contempo, la parziale o totale eliminazione della copertura vegetale espone il suolo stesso all'azione battente delle piogge rendendolo ancora più vulnerabile all'erosione d'impatto (FAHNESTOCK, 1973).

La variazione dei parametri di comportamento del fuoco, ed in particolare la variazione dell'intensità lineare del fronte di fiamma, intesa come espressione della quantità di energia emanata nell'unità di tempo per unità di lunghezza del fronte, determina modifiche diverse nel complesso suolo-sopras-

suolo, ed è proprio la magnitudine di tali modifiche che funge da elemento regolatore principale del processo erosivo (PROSSER & WILLIAMS, 1998).

Col passare del tempo le variazioni apportate al terreno a seguito del passaggio del fuoco tendono a ridursi progressivamente fino al ripristino delle condizioni iniziali (BRUNSDEN & THORNES, 1979). Le caratteristiche idrologiche del suolo (aumento della conducibilità idraulica e diminuzione del deflusso superficiale) e quelle biologiche (ripristino della copertura vegetale e della lettiera) vengono ristabilite e la resistenza all'erosione ricomincia a crescere fino a ritornare ai valori normali.

Come conseguenza, esiste un limitato intervallo temporale in cui il fuoco manifesta conseguenze più o meno evidenti nei riguardi dell'erosione. Tale intervallo di tempo, noto anche come tempo di rilassamento (*relaxation time*), può variare da poco più di un mese a diversi anni (BROWN, 1972).

2. SCOPO DEL LAVORO

In questo quadro di riferimento si inserisce la presente ricerca, intrapresa nel 1999, su popolamenti di pino laricio (*Pinus laricio* Poir.) situati in Calabria nei quali sono stati eseguiti incendi sperimentali differenti per intensità, con lo scopo di:

1. quantificare l'impatto del passaggio di un fronte di fiamma, del quale sono noti i principali parametri di comportamento del fuoco, sui processi idrologici ed erosivi;
2. verificare le modifiche chimico-fisiche indotte sul suolo e i tempi di ristabilimento delle condizioni iniziali in seguito al passaggio del fuoco.

Nel presente lavoro si riportano i risultati ottenuti in merito al primo punto.

3. AREA DI STUDIO

La ricerca è stata condotta su un'area di studio localizzata in provincia di Cosenza, nell'ambito di una vasta porzione della Sila Greca interessata da rimboschimenti di pino laricio realizzati negli anni dal 1955 al 1960. L'area di studio interessa una superficie complessiva di circa mezzo ettaro, presenta un'altitudine media di 1090 [m s.l.m.], una pendenza media del 43% ed esposizione prevalente Ovest.

Gli incendi sperimentali sono stati eseguiti su parcelle localizzate in località «Micumico» (CS) (39°28'50" N, 4°03'00" E) nel bacino idrografico del torrente Cino che ricade in un bacino sperimentale, monitorato per lo studio del bilancio idrico (IOVINO & PUGLISI, 1989; CALLEGARI *et al.*, 1994), fin dal 1986, dall'Istituto di Ecologia e Idrologia Forestale (CNR-Cosenza).

Dal punto di vista fitoclimatico l'area è ascrivibile al *Fagetum* sottozona calda (PAVARI, 1916). L'associazione fitosociologica presente è ascrivibile al *Hypochoerido-Pinetum laricionis* (PIGNATTI, 1998), caratterizzata dalla presen-

za del pino laricio, e ricade nell'ordine dei *Fagetalia*. I suoli, originati da graniti, rientrano nell'associazione Typic Xerumbrepts (DIMASE & IOVINO, 1996).

I dati climatici relativi alla vicina stazione di Cecita (CS) (gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Italiano) indicano una precipitazione media annua di 1124 mm, una temperatura media del mese più freddo di 1°C ed una temperatura media del mese più caldo pari a 17,1°C. La temperatura media annua è di 8,7°C.

4. MATERIALI E METODI

4.1. Dispositivi sperimentali

Per realizzare le indagini è stato allestito un dispositivo sperimentale costituito da tre parcelle rettangolari (A, B e C) ciascuna di 20×60 m.

In ciascuna delle parcelle A e B è stato innescato un incendio di tipo radente, ad intensità elevata in A e bassa in B mentre la parcella C è stata utilizzata come testimone (non è stato innescato alcun incendio).

Per la determinazione dei valori di intensità raggiunti dai due fronti di fiamma degli incendi sperimentali è stato utilizzato il sistema BEHAVE (BURGAN & ROTHERMEL, 1984; ANDREWS, 1986) che fornisce i principali valori di comportamento del fuoco a partire dalle caratteristiche del combustibile (proprietà fisiche e contenuto di umidità), dalle condizioni meteorologiche e dalla pendenza del terreno.

Per rilevare i dati meteorologici (pioggia, vento, temperatura e umidità dell'aria) è stata approntata una stazione digitale in dotazione all'Istituto di Ecologia e Idrologia Forestale, localizzata nelle immediate vicinanze per il monitoraggio del bacino sperimentale Bonis. Un termoigrografo meccanico, installato all'interno dell'area di studio, è stato utilizzato come supporto supplementare per le misure puntuali di temperatura e umidità dell'aria.

Prima delle prove di incendio la morfologia di ciascuna parcella sperimentale è stata caratterizzata attraverso la costruzione di un modello digitale delle elevazioni (DEM) basato su rilievi topografici di dettaglio. I punti di rilievo topografico sono stati prescelti assicurando una loro distribuzione uniforme nelle aree di studio e in maniera tale da rendere ripetibile l'operazione nonché effettuare in tempi successivi ulteriori rilievi ai fini della ricerca.

La rappresentazione del DEM delle parcelle è riportata nella Fig. 1 mentre le loro caratteristiche morfologiche sono riassunte in Tab. 1.

Ogni parcella è stata idraulicamente delimitata lungo l'intero contorno con fogli di lamierino zincato aventi un'altezza di 33 cm ed uno spessore di 3 mm.

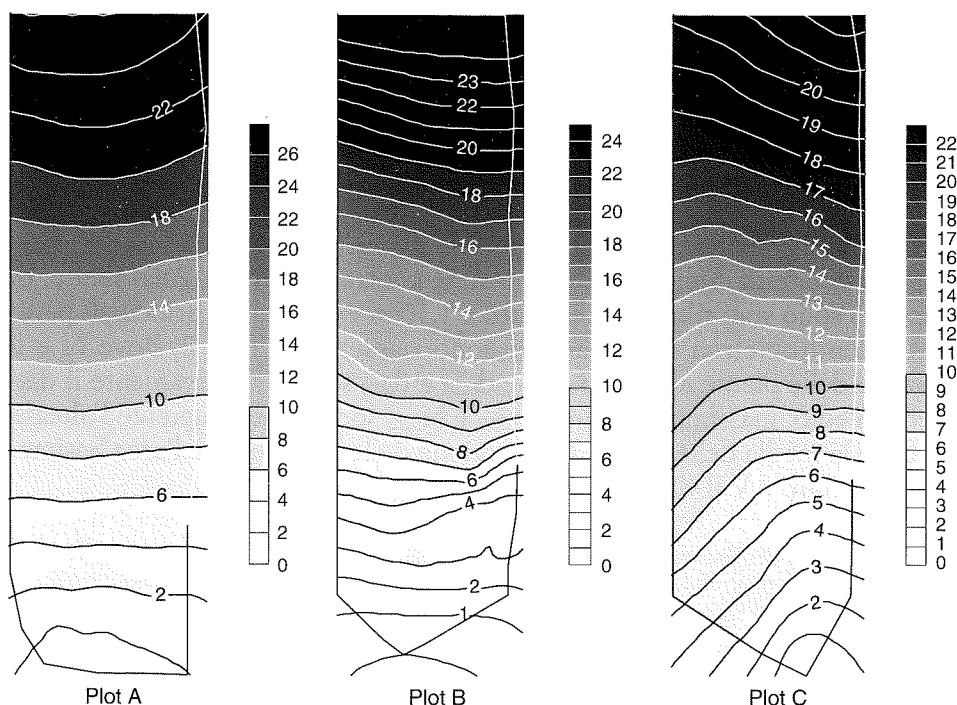


Fig. 1 – DEM delle tre parcelle A,B e C oggetto di studio (quote relative rispetto alla sezione di chiusura, in metri).

A valle di ogni parcella, in corrispondenza della sezione di chiusura, sono state installate due vasche di raccolta, collocate in serie, la prima delle quali, di circa 1 m^3 di capacità, svolge anche funzione da partitore, essendo provvista di 20 stramazzi triangolari (tipo Thompson). La frazione di deflusso (pari ad $1/20$ del totale di portata) in uscita dalla prima vasca, viene versata nel secondo contenitore (di circa $0,6 \text{ m}^3$ di capacità).

Ogni contenitore è provvisto di una serie di saracinesche, disposte a diverse altezze lungo una stessa verticale, che consentono il prelievo dei campioni di torbide. Questi ultimi, previo essiccamento in laboratorio, consentono la determinazione della quantità di sedimento raccolto all'interno di ogni vasca. Il dimensionamento dell'apparato di raccolta è stato realizzato a seguito di un'indagine idrologica appositamente effettuata.

Tabella 1 – Caratteristiche morfologiche delle parcelle sperimentali.

Parcella	SUPERFICIE [m ²]	PERIMETRO [m]	PENDENZA (media) [%]	DISLIVELLO [m]
A	1150,37	149,36	42,23	16,1
B	1267,89	159,97	38,36	25,2
C	1096,96	144,97	35,04	20,2

4.2. Caratterizzazione del soprassuolo

Precedentemente all'esecuzione degli incendi sperimentali sono state effettuate misure relative al soprassuolo con lo scopo di caratterizzare i popolamenti dal punto di vista dendrometrico, strutturale e pirologico (rilievo dei combustibili).

4.2.1. Caratteristiche dendrometriche e strutturali

Le piante di ogni parcella sono state contrassegnate singolarmente, di ciascuna sono stati rilevati il diametro a 1,30 m e l'altezza. I principali parametri dendrometrici delle parcelle sono riassunti in Tab. 2, dove N è il numero delle piante ad ettaro, d_{MED} , d_{MAX} e d_{MIN} sono rispettivamente il diametro medio, massimo e minimo; h_{MED} e h_{iMED} sono rispettivamente l'altezza media e la media delle altezze di inserzione delle chiome, G è l'area basimetrica ad ettaro e V il volume ad ettaro.

Tabella 2 – Principali parametri dendrometrici delle parcelle sperimentali.

Parcella	N	d_{MED} [cm]	d_{MAX} [cm]	d_{MIN} [cm]	h_{MED} [m]	h_{iMED} [m]	G [m ² /ha]	V [m ³ /ha]
A	1495	23	39	7	17,33	9,67	69,8	739,4
B	1357	24	40	11	17,73	10,06	53,69	568,49
C	1568	24	37	8	17,63	9,97	50,77	535,76

Il volume dei soprassuoli è stato determinato utilizzando una tavola di cubatura locale a una entrata, costruita a seguito dei rilievi di dettaglio effettuati sulle 59 piante abbattute ai margini delle parcelle per realizzare fasce parafuoco di sicurezza.

La curva che descrive la relazione tra il diametro a petto d'uomo ($d_{1,30}$) ed il volume cormometrico (V_c), calcolato per sezioni delle piante campione, è riportata in Fig. 2.

Ulteriori aspetti di interesse per lo studio sono stati considerati: l'area di insidenza (A_i), il grado di copertura delle chiome ($C\%$) e l'indice di area fogliare (LAI).

L'area di insidenza A_i , è stata stimata misurando, per ogni pianta, le proiezioni della chioma in quattro diverse direzioni e calcolando la superficie coperta adattando una forma ellittica alla proiezione dell'intera chioma.

La valutazione del grado di copertura $C\%$ è stata effettuata per via grafica mediante appropriati software applicativi. In particolare, i dati relativi alla proiezione della chioma sono stati elaborati con il software *Stand Visualization System* (MCGAUGHEY, 1998) che ne ha consentito la restituzione grafica (Fig. 3); le stesse immagini sono state quindi acquisite con il software Scion Image Beta 2 (SCION CORPORATION, 1997) per il calcolo delle superfici.

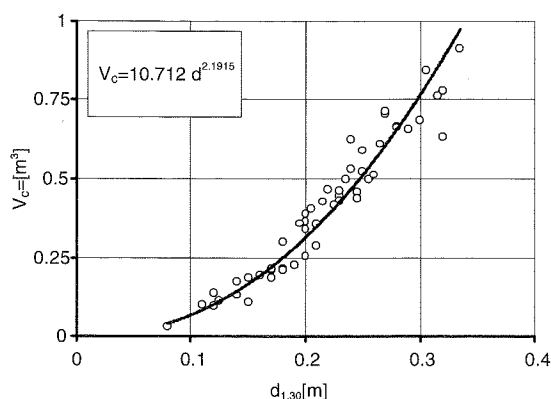


Fig. 2 – Relazione tra diametro a 1,30 m e volume cormometrico.

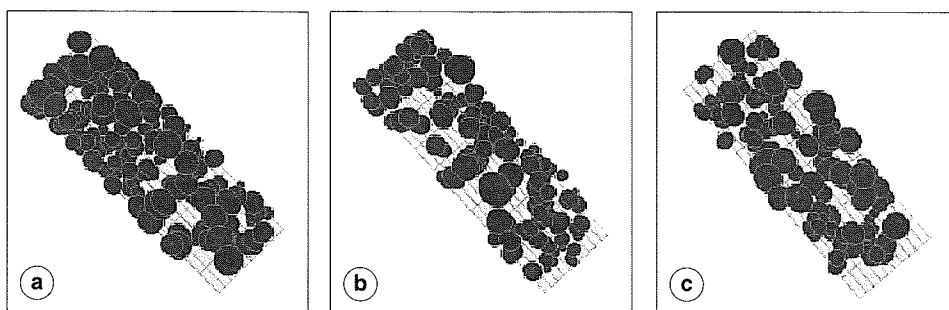


Fig. 3 – Copertura forestale delle parcelle oggetto di studio.

La stima di LAI è stata effettuata seguendo due criteri differenti: il primo, di tipo diretto, ha consentito, mediante il prelievo di campioni di foglie, la valutazione esatta (LAI_E) dell'indice di area fogliare; il secondo, di tipo indiretto, condotto mediante l'impiego del *LAI-2000 plant canopy analyzer*, ha consentito di pervenire ad un valore strumentale (LAI_S), sulla base del quale è stata anche verificata l'affidabilità dello strumento.

L'utilizzazione del *LAI-2000 plant canopy analyzer* ha consentito anche una stima esatta del grado di copertura vegetale ($C_{\%,E}$). (Tab. 3)

Tabella 3 – Valori di LAI e del grado di copertura arborea nelle parcelle.

Parcelle	A_i [%]	LAI_E [m ² /m ²]	$C_{\%}$ [%]	LAI_S [m ² /m ²]	$C_{\%,E}$ [%]
A	181	6,17	90	3,29	90
B	144	4,70	79	3,38	93
C	125	4,50	74	3,61	94

Dall'esame della Tab. 3 si evince una chiara tendenza da parte del *LAI-2000 plant canopy analyzer*, a sottostimare la misura dell'indice di area fogliare. In particolare, il valore esatto dell'indice (LAI_E) risulta, mediamente, 1,5 volte più alto rispetto alla misura fornita dallo strumento (LAI_S).

4.2.2. Caratteristiche dei combustibili

La caratterizzazione dei combustibili, come accennato in precedenza, è stata effettuata per la valutazione delle caratteristiche del comportamento del fuoco. Si sono pertanto eseguiti rilievi per la determinazione del carico e dello spessore (altezza da terra) dei complessi combustibili, nonché dell'umidità dei combustibili secondo la metodologia proposta da CAMIA (1995). Dai campioni di lettiera prelevati si è separata la componente di ramaglia che è stata quindi suddivisa nelle diverse classi dimensionali secondo quanto riportato in letteratura, in funzione del *timelag* (BOVIO & SAITTA, 1979; LEONE *et al.*, 1993).

Sono state inoltre caratterizzate, dal punto di vista delle proprietà fisiche legate al comportamento del fuoco, le chiome della componente arborea, effettuando misure sulle 59 piante abbattute per la messa in sicurezza del dispositivo sperimentale.

Di seguito si riportano i dettagli delle misure effettuate.

Per le misure relative alla lettiera, sono state materializzate 10 aree campione di piccole dimensioni (50×50 cm), posizionate immediatamente fuori delle parcelle sperimentali per minimizzare il disturbo alle aree indagate. In ciascuna di esse è stata rilevata l'altezza della lettiera (Z) e si è prelevata la biomassa morta presente. Dai campioni raccolti si sono separati la ramaglia e gli strobili che sono stati misurati a parte. Della parte di lettiera così ottenuta (costituita prevalentemente da aghi) è stato determinato il peso secco (PSL_{aghi}), e il contenuto di umidità. Il tempo e la temperatura di essiccazione in stufa, per la determinazione di tali parametri, sono stati rispettivamente di 24 h e 104° C.

Della ramaglia ottenuta dai campioni di lettiera, comprendente anche gli strobili e suddivisa per classi dimensionali, è stato determinato il peso secco ($PSL_{R,S}$), utilizzando come tempo e temperatura di essiccazione rispettivamente 24 h e 104° C.

Per la componente arborea, le 59 piante abbattute, per la realizzazione delle fasce parafuoco ai margini delle parcelle, sono state assimilate, in termini quantitativi, alle piante presenti all'interno nel dispositivo sperimentale sottoposto al passaggio del fuoco.

La biomassa delle chiome delle piante abbattute è stata suddivisa in tre parti corrispondenti a sezioni della chioma di eguale profondità (dalla base a 1/3 della profondità, da 1/3 a 2/3 e da 2/3 al cimale). Per ogni sezione

della chioma così suddivisa e per ciascuna delle classi dimensionali di biomassa opportunamente definite, sono stati determinati i seguenti parametri:

- peso fresco degli aghi;
- peso fresco dei rametti aventi diametro inferiore a 0,6 cm ($PF_{\text{aghi}} + PF_{d<0,6}$);
- peso fresco dei rami il cui diametro è compreso tra 0,6 e 4 cm ($PF_{0,6<d<4}$).

Per ciascuna pianta è stato inoltre misurato il peso dei rami secchi ancora presenti sul tronco (P_{secchi}).

La determinazione della biomassa secca è stata quindi effettuata in laboratorio mediante il prelievo di 6 campioni verdi per pianta, del peso di circa 2 Kg ciascuno, rispettando la suddivisione indicata in parti della chioma (il prelievo ha riguardato precisamente, per ogni pianta, 3 campioni composti per PF_{aghi} e $PF_{d<0,6}$, e 3 campioni per $PF_{0,6<d<4}$). I campioni composti relativi a PF_{aghi} e $PF_{d<0,6}$ sono stati separati in laboratorio per la determinazione, previo essiccamento in stufa, dei pesi secchi degli aghi (PS_{aghi}) e dei rametti con diametro inferiore a 0,6 cm ($PS_{d<0,6}$). I campioni relativi ai rami di diametro compreso tra 0,6 e 4 cm ($PF_{0,6<d<4}$) sono stati posti direttamente in stufa per la determinazione del peso secco ($PS_{0,6<d<4}$). Il tempo e la temperatura di essiccamento sono stati rispettivamente di 24 h e 104°C.

Sono state ricavate espressioni per la determinazione del peso secco degli aghi (PS_{aghi}), del peso secco dei rametti con diametro inferiore a 0,6 cm ($PS_{d<0,6}$), dei pesi secchi dei rami di diametro compreso tra 0,6 e 4 cm ($PS_{0,6<d<4}$), del peso secco totale della chioma $PS_{\text{TOT}} = (P_{\text{secchi}} + PS_{\text{aghi}} + PS_{d<0,6} + PS_{0,6<d<4})$ in funzione del diametro a 1,30 m (Fig. 4).

4.3. Realizzazione degli incendi sperimentali

Al termine dei rilievi per la caratterizzazione del soprassuolo e del combustibile, si è proceduto ad approntare le parcelle per la realizzazione degli incendi sperimentali di diverse intensità.

Per ottenere fronti di fiamma di caratteristiche differenti, nella parcella A è stato riportato del combustibile aggiuntivo (anch'esso caratterizzato secondo la metodologia precedentemente descritta), costituito da accumuli di lettiera e ramaglia di pino laricio e da fascine di ginestra disposti su una superficie nota della parcella.

Si è quindi proceduto all'innesco del fronte di fiamma realizzato, per entrambi i casi, a valle, in corrispondenza della sezione di chiusura idraulica, e lungo i 20 m di larghezza di ciascuna parcella, provocando l'accensione con combustibile liquido disposto sul combustibile forestale in modo da realizzare condizioni di accensione istantanea, realizzando in tal modo un fronte di fiamma lineare che si è propagato verso monte.

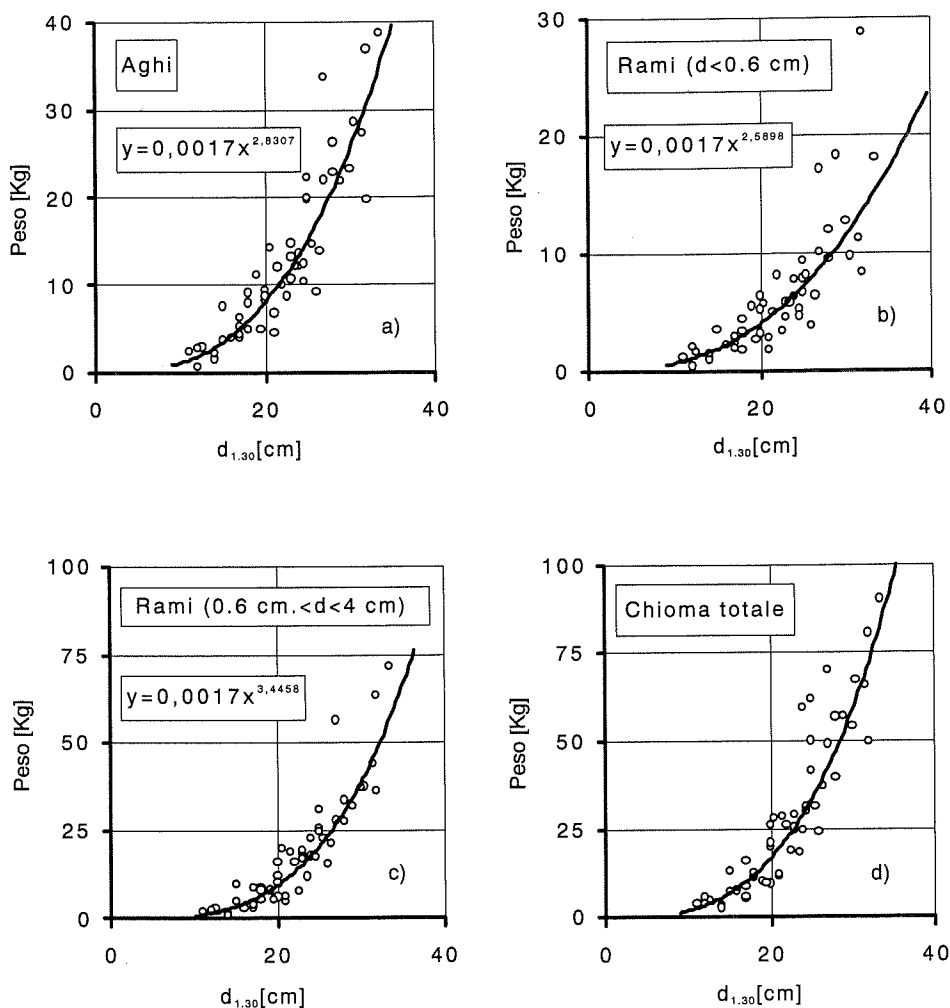


Fig. 4 – Relazioni tra diametro della pianta e peso secco delle categorie di biomassa della chioma indicate.

Nel seguito si descrivono in dettaglio i due incendi sperimentali e i valori di comportamento del fuoco riscontrati implementando il sistema BEHAVE.

4.3.1. Incendio di elevata intensità

In data 18 giugno 1999 è stata effettuata la prova di incendio ad intensità elevata nella parcella A.

Al fine di produrre un fronte di fiamma di elevata intensità, come precedentemente accennato, è stato necessario aumentare la quantità di com-

bustibile forestale iniziale (costituita esclusivamente da lettiera e ramaglia di pino laricio), predisponendo tre filari di cataste di combustibile aggiunto di 4×20 m, alte circa 1,5 m, equidistanti tra loro 3 m e così caratterizzati:

- una componente, avente un peso totale di 17,7 quintali derivante dai residui del taglio per la creazione delle fasce parafuoco, costituita da aghi e rami di pino laricio aventi diametro inferiore a 0,6 cm;
- una componente, avente un peso totale di 5,6 quintali, costituita da fasci di ginestra prelevata da zone limitrofe.

I principali parametri meteorologici registrati durante l'incendio sperimentale nella parcella A sono riportati nella Tab. 4.

Tabella 4 – Dati meteorologici registrati durante l'incendio di alta intensità – Parcella A.

Data	TEMPERATURA DELL'ARIA [°C]	UMIDITÀ DELL'ARIA [%]	DIREZIONE VENTO	VELOCITÀ VENTO [m/s]
18/06/99	21,5	62	Nord-Est	0,4

Il fronte di fiamma ha raggiunto, nella parte più a valle in cui era stato accumulato il combustibile vegetale aggiunto, l'intensità lineare di $1500 \text{ Kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'intensità si è progressivamente ridotta verso la parte terminale della parcella (a monte), per la diminuzione della quantità di biomassa. Sotto copertura il fronte di fiamma si propagava con tipologia radente con intensità medie dell'ordine delle $200 \text{ Kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$.

In generale l'incendio non aveva l'intensità che si intendeva raggiungere per tutta la parcella, essendo l'umidità sia dell'aria sia dei combustibili più elevata di quanto previsto per il giorno della prova.

L'esperimento veniva effettuato ugualmente essendo predisposti il sistema di sicurezza e tutti i dispositivi sperimentali. Con riferimento all'altezza da terra dei palchi più bassi, il fronte di fiamma si avvicinava all'intensità critica di passaggio da radente a chioma provocando il consumo di tutta la lettiera presente e la scottatura di buona parte delle chiome.

4.3.2. Incendio di bassa intensità

In data 7 luglio 1999 è stata effettuata la seconda prova di incendio a bassa intensità nella parcella B. Come precedentemente descritto, prima di iniziare l'esperimento si è proceduto alla determinazione delle caratteristiche della biomassa e del grado di umidità del combustibile. I valori medi dello spessore (altezza da terra), quantità di biomassa e contenuto di umidità (base peso secco) delle diverse componenti del complesso combustibile della parcella B sono riportati in Tab. 5. In Tab. 6 sono sintetizzati i dati meteorologici registrati durante la prova.



Foto 1 – Prove di incendio di elevata intensità ($1500 \text{ Kcalm}^{-1}\text{s}^{-1}$) in parcelle sperimentali di pino laricio.



Foto 2 – Prove di incendio di bassa intensità ($150 \text{ Kcalm}^{-1}\text{s}^{-1}$) in parcelle sperimentali di pino laricio.

Tabella 5 – Principali caratteristiche del combustibile della prova di incendio di bassa intensità – Parcella B.

Combustibile	ALTEZZA [cm]	BIOMASSA [Kg/mq]	UMIDITÀ [%]
PS _{Felci}	35,0	0,098	41,0
PSL _{L-d<0,6}	2,8	0,117	4,9
PSL _{0,6<d<2,5}	2,2	0,150	6,9
PSL _{-Aghi}	8,5	0,776	4,6

Tabella 6 – Dati meteorologici registrati durante l'incendio di bassa intensità – Parcella B.

Data	TEMPERATURA DELL'ARIA [°C]	UMIDITÀ DELL'ARIA [%]	DIREZIONE VENTO	VELOCITÀ VENTO [m/s]
07/07/99	27,7	39	Nord-Est	0,7

A seguito del rilievo ed elaborazione dei dati relativi alla quantità di biomassa, al contenuto di umidità del combustibile, alla velocità del vento ed alla pendenza della particella sperimentale, è stata effettuata la caratterizzazione del fronte di fiamma anche utilizzando il sistema BEHAVE. L'incendio, di tipo radente, è stato caratterizzato da una velocità di propagazione media pari a 5,4 metri al minuto.

Le caratteristiche geometriche della fiamma riscontrate erano pari a 0,7 m di profondità e di 1,5 m di lunghezza di fiamma. L'intensità media raggiunta dal fronte di fiamma presentava valori non elevati, pari a 150 Kcal·m⁻¹sec⁻¹.

5. RISULTATI E DISCUSSIONE

Successivamente al passaggio del fuoco sono state eseguite analisi post incendio nei popolamenti ed effettuate misure relative all'idrologia superficiale e all'erosione dei suoli, i cui risultati sono poi stati confrontati con i valori misurati nella parcella testimone.

L'incendio nella parcella A ha provocato il consumo di tutta la lettiera presente e la scottatura di buona parte delle chiome. L'entità di quest'ultimo fenomeno è stata valutata confrontando le misure di LAI effettuate dopo il primo evento piovoso significativo (ottobre) con quelle già disponibili relative alla condizione antecedente al fuoco. Le misure sono state eseguite dopo tale evento per avere valori di LAI non influenzati dalla presenza degli aghi seccati a seguito delle scottature ma rimasti ancora attaccati ai rametti. La Fig. 5a, in cui sono riportate le due distribuzioni di frequenza relative alle misure di LAI, mostra un'evidente riduzione dell'indice di area fogliare in seguito al passaggio del fuoco.

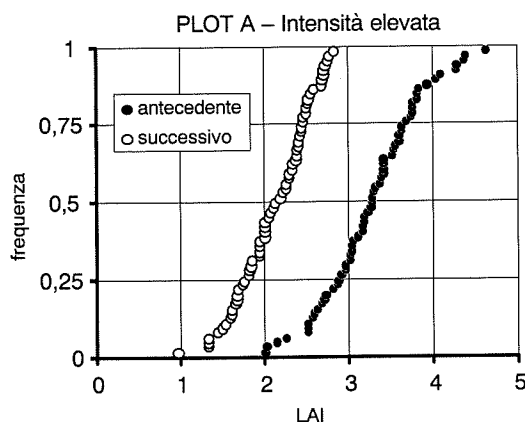


Fig. 5a – Confronto tra le distribuzioni di frequenza relative alle misure LAI pre e post incendio nella Parcella A.

L'incendio nella parcella B ha provocato il consumo di tutta la lettiera e del sottobosco. Nonostante le condizioni di bassa intensità del fronte di fiamma, anche in questo caso una parte delle chiome è stata interessata dalle scottature. L'entità di quest'ultimo fenomeno è stata valutata per confronto tra le misure di LAI effettuate nel mese di ottobre (dopo il primo evento piovoso significativo) con quelle già disponibili relative alla condizione antecedente al fuoco.

La Fig. 5b, in cui sono riportate, per il caso della parcella B, le due distribuzioni di frequenza relative alle misure di LAI, mostra anch'essa, sia pure in misura minore rispetto alla parcella A, una certa riduzione dell'indice di area fogliare in seguito al passaggio del fuoco.

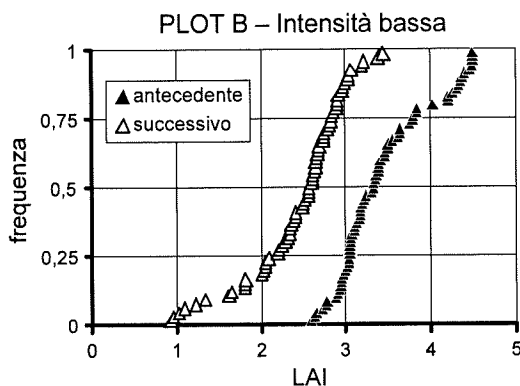


Fig. 5b – Confronto tra le distribuzioni di frequenza relative alle misure LAI pre e post incendio nella parcella B.

Nell'intento di fornire una valutazione analitica del fenomeno, si è riportata in Fig. 6 la distribuzione di frequenza relativa cumulata del seguente rapporto:

$$LAI_{rid} = \frac{LAI_{ant} - LAI_{suc}}{LAI_{ant}} \cdot 100 \quad (1)$$

in cui si è indicato con LAI_{ant} il valore di LAI misurato nel periodo antecedente al fuoco, con LAI_{suc} il valore di LAI misurato in seguito al primo evento piovoso successivo al fuoco e con LAI_{rid} il rapporto percentuale di riduzione dell'indice di area fogliare.

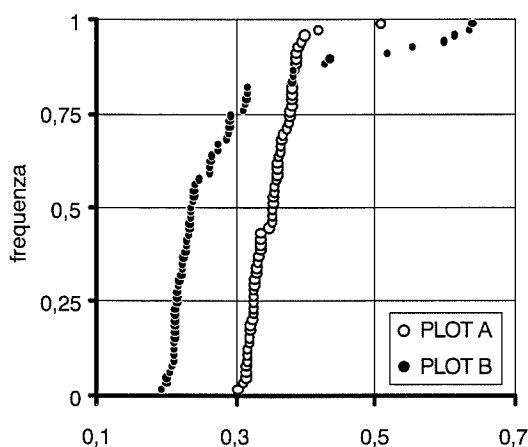


Fig. 6 – Distribuzione di frequenza relativa cumulata del rapporto tra il LAI prima e dopo l'incendio nelle due parcelle.

Fatta eccezione per un unico punto in cui il parametro LAI_{rid} assume un valore pari a circa 0,5, si evidenzia per la parcella A una variazione del rapporto di riduzione piuttosto contenuta ($0,3 \div 0,4$), che indica una bruciatura delle chiome abbastanza uniforme.

Per contro, il campo di variazione del parametro LAI_{rid} , nella parcella B è molto più ampio ($0,2-0,65$), indicando una sensibile eterogeneità nel grado di scottatura delle chiome nella parcella.

Per valutare l'impatto dei due incendi sull'idrologia superficiale e sull'erosione dei suoli sono stati selezionati 14 eventi piovosi registrati dal 29 settembre 1999 al 19 gennaio 2001.

Nelle Figg. 7a e 7b sono riportati i valori dei deflussi e di produzione di sedimento in relazione al numero di giorni trascorsi dal primo evento piovoso significativo (29 settembre 1999).

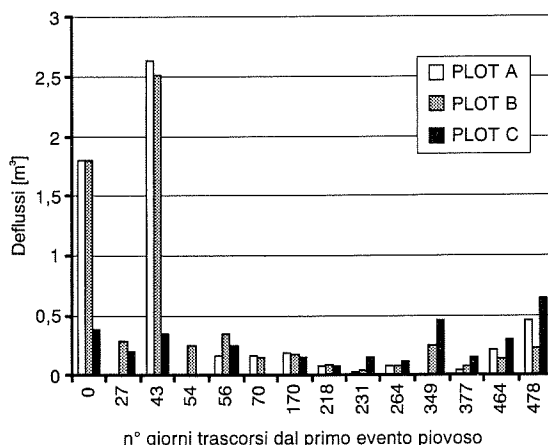


Fig. 7a – Deflussi superficiali in funzione del n° di giorni trascorsi dal primo evento piovoso significativo dopo l'incendio.

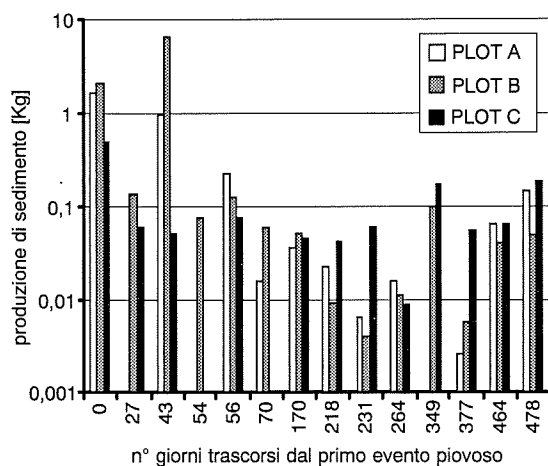


Fig. 7b – Produzione di sedimento in funzione del n° di giorni trascorsi dal primo evento piovoso significativo dopo l'incendio.

La Fig. 7a, relativa ai soli deflussi superficiali, mostra una chiara tendenza, da parte delle parcelle percorse dal fuoco (A e B), ad una minore efficacia, in termini di immagazzinamento idrico, rispetto alla situazione inalterata (parcella C).

Tale tendenza è piuttosto evidente in occasione del primo e del terzo evento, in corrispondenza dei quali si registrano valori di deflusso notevol-

mente più elevati nelle parcelle sottoposte alle prove rispetto a quelle riscontrate nel testimone.

La differenza non è più così marcata dopo il cinquantesimo giorno a partire dal quale si assiste al raggiungimento di una situazione, più o meno stabile, di pari risposta idrologica delle tre parcelle.

La situazione riscontrata durante i primi due mesi di misure concorda in maniera abbastanza netta con quanto sostenuto da alcuni autori (SCOTT & VAN WYK, 1990). Infatti, l'effetto provocato dal passaggio del fuoco, ha determinato una riduzione della capacità di immagazzinamento dei suoli e, di conseguenza, un aumento del deflusso superficiale a valle di ciascuna parcella. Tale situazione sembra essere limitata ad un periodo di tempo di disturbo la cui durata varia, per il caso in esame, da 2 a circa 6 mesi, trascorsi i quali si tende al ripristino delle condizioni pedologiche precedenti.

A partire approssimativamente dal settimo mese, invece, i grafici indicano una leggera inversione di tendenza, che sembra attribuire alla parcella testimone una minore capacità di immagazzinamento idrico rispetto alle parcelle percorse dal fuoco. Tale risposta può essere parzialmente spiegata dalla topografia della parcella C (Fig. 1) che appare notevolmente più incisa rispetto alle altre due parcelle sperimentali. Una simile configurazione, sembrerebbe infatti favorire sensibilmente la convergenza delle acque superficiali verso la sezione terminale della parcella, spiegando in tal modo i più alti valori di deflusso riscontrati a valle della parcella testimone.

Dalle sole misure di deflusso, comunque, non si riesce a distinguere un comportamento differente delle parcelle percorse dal fuoco con riferimento alle differenti intensità di incendio realizzate: l'esame dei dati disponibili sembrerebbe infatti far convergere verso un'ipotesi di pari risposta idrologica dei due dispositivi sperimentali.

Un'affinità di risposta idrologica è anche giustificata dall'analogia di comportamento dei due fronti di fiamma prodotti. Infatti ambedue, se pur con configurazioni proprie ed effetti differenti, possono essere ascritti ad incendi di intensità media contenuta.

La Fig. 7b, relativa alle misure di produzione di sedimento, rafforza sostanzialmente le ipotesi già emerse dall'interpretazione dei dati di deflusso. Il diagramma indica infatti un tempo di rilassamento (*relaxation time*) di circa 6 mesi ed una leggera inversione di tendenza, relativamente alla risposta della parcella C, a partire dal settimo mese.

L'unica sostanziale differenza sta nella diversa risposta delle due parcelle sottoposte alle prove di incendio: in particolare si assiste ad una minore efficacia antierosiva esercitata dalla parcella B, sottoposta alla prova di incendio a bassa intensità, rispetto alla parcella interessata da incendio ad alta intensità (A).

Ad avvalorare l'incertezza del comportamento idrologico ed erosivo del dispositivo sperimentale nel periodo variabile dai due ai sei mesi, in Fig. 8, oltre ai deflussi superficiali, sono riportati anche i valori dell'indice di aggressività della pioggia (R) relativi agli eventi selezionati (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

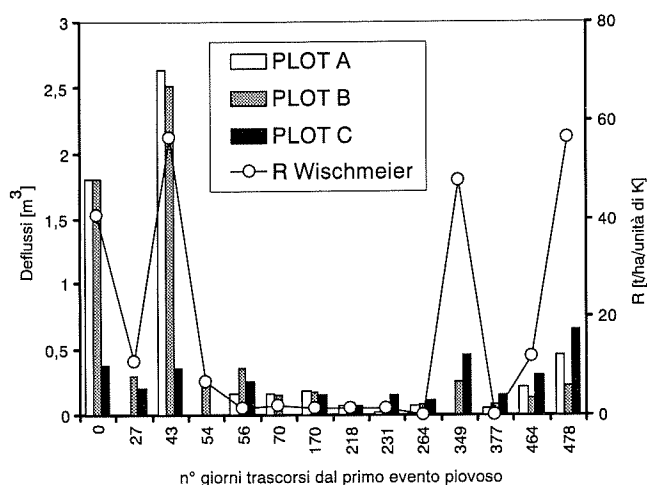


Fig. 8 - Deflussi superficiali e indice di aggressività della pioggia relativi agli eventi di pioggia selezionati.

Il diagramma indica che nel periodo compreso tra il giorno 56 ed il giorno 264 i valori di R sono talmente bassi che non risulta possibile tentare di attribuire alle 3 parcelle una differenza di comportamento. Differenza che è invece molto evidente nei primi due mesi, quando, in corrispondenza di precipitazioni molto intense (valori di R alti), è rilevante la minore efficacia protettiva esercitata dalle parcelle percorse dal fuoco. È interessante notare, inoltre, che negli ultimi 7 mesi, pur essendosi verificati eventi di pioggia di aggressività pari o superiore (valori di R compresi tra 48 e 57) a quella riscontrata durante i primi 2 mesi (valori di R compresi tra 41 e 57), le tre parcelle hanno ammortizzato abbastanza bene l'impatto avvalorando l'ipotesi di ripristino delle condizioni pedologiche antecedenti al fuoco.

6. CONCLUSIONI

I primi risultati ottenuti a seguito di incendi sperimentali differenti per intensità, hanno consentito di valutare l'entità del loro impatto sull'idrologia superficiale e sull'erosione dei suoli. La numerosità campionaria e

l'entità degli eventi che sono stati registrati consentono di fornire indicazioni solo su una tendenza che dovrà essere verificata nel tempo, piuttosto che pervenire ad una completa definizione dei processi conseguenti al passaggio del fuoco. La tendenza indicata dall'analisi dei primi risultati ottenuti, soprattutto per quanto riguarda i tempi di ripristino delle condizioni antecedenti le prove sperimentali, sembra essere in linea con quanto riportato in letteratura.

Inizialmente è risultato netto l'effetto del passaggio del fuoco, registrandosi incrementi di deflusso, nelle aree bruciate rispetto all'area non bruciata, anche dell'87%. A distanza di circa un anno, pur essendosi verificati eventi pluviometrici di entità ed aggressività superiore a quelli immediatamente dopo gli incendi, la risposta idrologica risulta essere inferiore nelle aree incendiate. Ciò evidenzia che, in tale lasso di tempo, si è ristabilita una capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo, alterata inizialmente dagli effetti del fronte di fiamma.

Gli eventi registrati nel periodo intermedio, essendo di lieve entità, come peraltro dimostra il valore dell'indice di aggressività della pioggia, non evidenziano una differente risposta tra le tesi.

Anche i risultati ottenuti in termini di risposta erosiva convergono nell'indicare una maggiore produzione di sedimento nelle aree percorse dal fuoco per un tempo di disturbo di circa sei mesi. Si evince tuttavia, a differenza di quanto accade per i processi idrologici, nel periodo immediatamente seguente le prove, una minore efficacia antierosiva nella parcella sottoposta a incendio meno intenso, rispetto a quella interessata dall'incendio più intenso.

Tale comportamento, che potrebbe sembrare contrario rispetto alla logica degli esperimenti, può essere parzialmente giustificato dalle condizioni anomale verificatesi durante la prova di incendio di bassa intensità. Infatti, a causa di condizioni ambientali più favorevoli al fuoco, tale prova ha provocato, seppur in aree piuttosto localizzate della parcella, la bruciatura di parte delle chiome, esponendo il suolo ad un rischio maggiore di erosione d'impatto. Si ritiene pertanto che i maggiori valori di torbidità riscontrati nella parcella B siano sostanzialmente dovuti a contributi di situazioni isolate maggiormente vulnerabili all'azione battente delle precipitazioni.

In definitiva, nonostante le incertezze legate principalmente alla non perfetta similitudine topografica delle tre parcelle ed alle componenti casuali sfuggite al controllo sperimentale, si può asserire che il passaggio del fuoco abbia provocato sostanziali modifiche nelle aree di studio, dando luogo a repentini aumenti di deflusso superficiale ed erodibilità dei suoli. Tali modifiche sembrano essere limitate, per le due diverse intensità di incendio realizzate e per le caratteristiche stazionali relative alle aree di stu-

dio, ad un periodo variabile dai 2 ai 6 mesi con riferimento al quale esiste ancora un certo margine di incertezza. Essa è dovuta al fatto che nel periodo compreso tra il terzo ed il settimo mese non si sono verificati eventi di pioggia significativi.

Con riferimento all'incendio sperimentale radente, l'intensità riscontrata del fronte di fiamma è vicina a valori tipici di applicazione del fuoco prescritto, una pratica di prevenzione ampiamente utilizzata all'estero ma ancora considerata con diffidenza in Italia, anche a causa della scarsità di sperimentazioni specifiche.

Si ritiene che i risultati ottenuti, ed in particolare il sostanziale ripristino delle condizioni idrologiche precedenti l'incendio dopo un periodo di tempo compreso tra 2 e 6 mesi dalla prova, forniscano, con riferimento agli aspetti pedologici, evidenze sperimentali a favore della possibilità di applicazione del fuoco prescritto nel nostro Paese.

7. RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano l'Azienda Forestale della Regione Calabria (AFOR) per la collaborazione fornita nell'allestimento delle parcelle e nella realizzazione delle prove, il Coordinamento Provinciale CFS di Cosenza e l'Ufficio Amministrazione di Cosenza dell'ex ASFD per aver assicurato, con la presenza del proprio personale e dei mezzi AIB, l'esecuzione degli incendi sperimentali in condizioni di sicurezza.

SUMMARY

Experimental tests to assess the impact of forest fire on soil erosion and surface hydrology (first results)

Forest fire research and its related issues impose to face complex problems that often can be studied thoroughly only joining together different expertise. The collaboration of different specialists becomes particularly necessary when topics such as fire effects in forest land are examined. An example of such a topic is the study of hydrological and erosive process modifications induced by the fire in forest ecosystems. In this framework it is placed the research here presented, that was carried out in Calabria in 1999, in forest stands of *Pinus laricio* Poiret. Experimental fires were set up to assess the impact of different fire fronts, characterized in their main parameters, on hydrological and erosive processes, and to verify the time after the fire needed to restore initial conditions. The first results obtained allow to assert that the fires induced substantial modifications in the study area, producing a sudden increase of surface flow and soil erodibility. Nevertheless, such modifications appear to be restricted to a period of time ranging between 2 and 6 months, still existing a margin

of uncertainty in the time estimates. Furthermore, the results offer experimental evidence, with reference to the pedological aspects, in favour of the application of the prescribed fire technique also in our country.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON H.E., 1982 – *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. – Gen. Tech. Rep. INT-122, USDA For. Serv., Intermountain Forest and Range Exp. St., Odgen UT, p. 22.
- ANDREWS P.L., 1986 – *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System – Burn Subsystem, Part 1*. Gen. Tech. Rep. INT-194, USDA For. Serv., Intermountain Research Station, Odgen UT, p. 130.
- ANDREWS P.L. & CHASE C.H., 1989 – *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System – Burn Subsystem, Part II*. Gen. Tech. Rep. INT-260, USDA For. Serv., Intermountain Research Station, Odgen UT, p. 93.
- BOSCH J.M. & HEWLETT J.D., 1982 – *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. J. Hydrology, 55: 3-23.
- BROWN A.G., 1990 – *Soil erosion and fire in areas of Mediterranean type vegetation: results from chaparral in southern California, USA and matorral in Andalusia, southern Spain*. In: Vegetation and Erosion. Processes and Environments, ed. J.B. Thornes, John Wiley & Sons.
- BROWN J.A.H., 1972 – *Hydrologic effects of a bushfire in a catchment in south-eastern New South Wales*. J. Hydrology, 15: 77-96.
- BROWN J.K., 1971 – *A planar intersect method for sampling fuel volume and surface area*. Forest Science, 17 (1): 96-102.
- BROWN J.K., 1974 – *Handbook for inventorying downed woody material*. Gen. Tech. Rep. INT-16, USDA For. Serv., Intermountain Forest and Range Exp. St., Odgen UT, p. 24.
- BOVIO G., LEONE V., 1999 – *Evoluzione e attualità della protezione del bosco dagli incendi*. L'Italia Forestale e Montana, 3:101-108.
- BOVIO G. & SAIITTA L., 1979 – *Modello di propagazione di un incendio boschivo*. In: Esperienze e indagini per una selvicoltura moderna. Vol. II, Regione Piemonte, Atti dell'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste, Torino, 125-175.
- BRUNSDEN D. & THORNES J.B., 1979 – *Landscape sensitivity and change*. Trans. Inst. Brit. Geogr., 4: 463-484.
- BURGAN R.E. & ROTHERMEL R.C., 1984 – *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - Fuel Subsystem*. Gen. Tech. Rep. INT-167, USDA, Intermountain Research Station, Odgen UT, p. 126.
- CALLEGARI G., IOVINO F. & VELTRI A., 1994 – *Effects of silvicultural operations on the hydrological processes in an experimental watershed (first results)*. Proc. of the Intern. Symp. on Forest Hydrology, Tokyo, Japan.

- CALVO A. & CERDÀ A., 1994 – *An example of the changes in the hydrological and erosional response of soil after fire, Pedralba (Valencia), Spain*. In: SALA M. and RUBBIO J.L. (Eds). *Soil erosion as a Consequences of Forest Fire*. Geoforma Ediciones, Logrono, Spain: 99-110.
- CAMIA A., 1994 – *Modello sperimentale di combustibile forestale. Giornate di Studio. «L'addestramento per la prevenzione e la lotta agli incendi boschivi»*, Viterbo.
- CAMIA A., 1995 – *Impianti di Pino strobo (Pinus strobus L.) e incendi boschivi in Piemonte: modelli di combustibile ed effetto dei diradamenti sul comportamento atteso del fuoco*. Tesi di Dottorato, Università di Torino – Università di Potenza, p. 121.
- CERDÀ A., 1998 – *Changes in overland flow and infiltration after a rangeland fire in a Mediterranean scrubland*. Hydrological Processes, 12: 1031-1042.
- CIANCIO O., 1971 – *Sul clima e sulla distribuzione altimetrica della vegetazione forestale in Calabria*. Ann. Ist. Sper. per la Selv. di Arezzo.
- DAUGHTRY C.S.T. & HOLLINGER S.E., 1984 – *Costs of measuring leaf area index of corn*. Agron. Journal, 76: 836-841.
- DE BANO L.F., MANN L.D. & HAMILTON D.A., 1970 – *Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter*. Soil Sc. Soc. Am. J., 34: 130-133.
- DIMASE C. & IOVINO F., 1996 – *I suoli dei bacini idrografici del Trionto, Nicà e torrenti limitrofi (Calabria)*. Accademia Italiana di Scienze Forestali: 3-112.
- DOBROWOLSKI J.P., BLACKBURN W.H. & PEARSON H.A., 1992 – *Changes to infiltration and interrill erosion from long-term prescribed burning in Louisiana*. Water Resources Bulletin, 28: 287-297.
- EMMERICH W.E. & COX J.R., 1994 – *Changes in surface runoff and sediment production after repeated rangeland burns*. Soil Science Soc. Am. Journal, 58: 199-203.
- FAHNESTOCK G.R., 1973 – *Use of fire in managing forest vegetation*. Trans. of the Asae: 410-413, 419.
- GIOVANNINI G. & LUCCHESI S., 1983 – *Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates*. Soil Science, 136: 231-236.
- GIOVANNINI G. & LUCCHESI S., 1997 – *Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities* – Soil Science, 162: 479-486.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S. & GIACHETTI M., 1987 – *The natural evolution of a burned soil: a three-year investigation*. Soil Science, 143: 220-226.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S. & GIACHETTI M., 1988 – *Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility*. Soil Science, 146: 255-262.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S. & GIACHETTI M., 1990 – *Effect of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth*. Soil Science, 149: 344-350.
- HELVEY J.D., 1980 – *Effects of a north central Washington wildfire on runoff and sediment production*. Water Resources Bulletin, 16: 627-634.

- HELVEY J.D., TIEDEMANN A.R. & ANDERSON T.D., 1985 – *Plant nutrient losses by soil erosion and mass movement after wildfire*. J. of Soil and Water Conserv., 1: 168-173.
- HEWLETT J.D. & BOSCH J.M., 1984 – *The dependence of storm flows on rainfall intensity and vegetal cover in South Africa*. J. Hydrology, 75: 365-381.
- IOVINO F., PUGLISI S., 1989 – *Il bacino strumentato bonis tributario del torrente Cino nel versante ionico silano (Calabria)*. Quaderni di Idronomia Montana, 9: 159-169.
- KUTIEL P., 1994 – *Fire and ecosystem heterogeneity: a Mediterranean case study*. Earth Surface Processes and Landforms, 19: 187-194.
- KUTIEL P. & INBAR M., 1993 – *Fire impact on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation*. Catena, 20: 129-139.
- LEONE V., SARACINO A., DE NATALE F., 1993 – *I modelli di combustibile e la previsione del comportamento del fuoco*. Cellulosa e Carta, 44 (2): 50-58.
- MCGAUGHEY R.J., (1998) – *Stand Visualization System. Electronic distribution version*. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 1-52.
- MILLER J.B., 1967 – *A formula for average foliage density*. Aust. Journal Bot., 15: 141-144.
- MOORE I.D. & BURCH F.J., 1986 – *Physical basis of the lenght-slope factor in the Universal Soil Loss Equation*. Sc. Soc. Am. J., 50: 1294-1298.
- NORMAN J.M. & GOWER S.T., 1990 – *Rapid estimation of leaf area index in forest using LI-COR LAI-2000*. Ecology.
- PAVARI A., 1916 – *Studio preliminare sulla coltura delle specie forestali esotiche in Italia*, Ann. R. Ist. Sup. For. Naz., I: 159-379.
- PIGNATTI S., 1998 – *I boschi di Italia - Sinecologia e biodiversità*. Edizioni UTET – Torino.
- PROSSER I.P. & WILLIAMS L., 1998 – *The effect of wildfire on runoff and erosion in native Eucalyptus forest*. Hydrological Processes, 12: 251-265.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A. & PORTER J.P., 1991 – *RUSLE-Revised Universal Soil Loss Equation*. J. Soil Wat. Conserv., 30-33.
- SCION CORPORATION, 1997 – *Scion Image for Windows*. Scion Corporation: 1-104.
- SCOTT D.F., 1993 – *The hydrological effects of fire in South African mountain catchments*. J. Hydrology, 150: 409-432.
- SCOTT D.F., 1997 – *The contrasting effects of wildfire and clearfelling on the hydrology of a small catchment*. Hydrological Processes, 11: 543-555.
- SCOTT D.F. & VAN WYK D.B., 1990 – *The effects of wildfire on soil wettability and hydrological behaviour of an afforested catchment*. J. Hydrology, 121: 239-256.
- SMITH F.W., SAMPSON D.A. & LONG J.N., 1991 – *Comparison of leaf area index estimates from tree allometrics and measured light interception*. Forest Science, vol. 37, 6: 1682-1688.
- STOCKING M., 1988 – *Assessing vegetative cover and management effects*. In: LAL R., (Ed.) – *Soil Erosion Research Methods*. ISSC Wageningen: 163-185.
- THORNES J.B., 1985 – *The ecology of erosion*. Geography, 70: 222-236.
- THORNES J.B., 1988 – *Erosional equilibria under grazing*. In: Conceptual Issues in Environmental Archeology (BINTLIFF J., DAVIDSON D.A. & GRANT E.G., Eds), Edimburgh University Press: 193-210.

- THORNES J.B., 1990 – *Vegetation and Erosion. Processes and Environments*. John Wiley & Sons, Chichester, 518 pagg.
- ULERY A.L. & GRAHAM R.C., 1993 – *Forest fire effects on soils color and texture*. Soil Sc. Soc. Am. J., 57: 135-140.
- VANSEVEREN J.P., 1969 – *Recherches sur l'écosystème forêt, Série B: La chenaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont. Contribution n. 30: L'index foliaire et sa mesure par photoplanimétrie*. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 102: 375-385.
- VERSACE P., FERRARI E., GABRIELE S. & ROSSI F., 1989 – *Valutazione delle piene in Calabria*. CNR-IRPI, Geodata.
- WELLES J.M. & NORMAN M.J., 1991 – *Instrument for indirect measurement of canopy architecture*. Agron. Journal, 83: 818-825.
- WISCHMEIER W.H. & SMITH D.D., 1978 – *Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning*. USDA Agr. Handbook 537, Washington D.C.
- ZOHAR Y., MIDANI E., KUTIEL P. & ISRAELI A., 1992 – *Prescribed burning as a tool in forest management*. In: Environmental Quality and Ecosystem Stability, Proc. of the fifth int. conf. of the Israel Society for Ecology and Environmental Quality Sciences, Jerusalem, Israel.