

DAVIDE ASCOLI (*) - GIOVANNI BOVIO (*) - RICCARDO CECCATO (*)
RAFFAELLA MARZANO (*)

COMPORTAMENTO DEL FUOCO E GESTIONE DELLA BIOMASSA NEI VIALI TAGLIA FUOCO: VALUTAZIONE SPERIMENTALE DEL CARICO DI COMBUSTIBILE COMPATIBILE CON L'ATTACCO DIRETTO ⁽¹⁾

Per mantenere nel tempo l'efficacia di un viale taglia fuoco (VTF) è necessario realizzare una periodica manutenzione attraverso il contenimento della biomassa. Il materiale di risulta della gestione del VTF, generalmente concentrato in bosco, può essere destinato a finalità energetiche. La stima della biomassa ottenibile prevede inizialmente di definire la quantità di combustibile compatibile con le funzioni del VTF. Nel presente lavoro viene descritta una metodologia sperimentale per definire il carico di combustibile compatibile con l'attacco diretto nel VTF, attraverso la realizzazione e la descrizione quantitativa di fronti di fiamma sperimentali realizzati all'interno della Riserva Naturale Orientata della Vauda, Piemonte, in specifiche condizioni vegetazionali, orografiche e meteorologiche.

Si è individuato su base bibliografica il valore limite di intensità lineare del fronte di fiamma (I) di 500 kW/m oltre il quale non è possibile operare l'attacco diretto. Attraverso la realizzazione di fronti di fiamma sperimentali su superfici variabili (625 - 4000 m²) è stato studiato un modello che mostra come la velocità di avanzamento del fuoco (ROS) aumenti in modo esponenziale al crescere del carico di combustibile. Sono stati individuati valori limite di ROS e carico di combustibile, con umidità percentuale compresa fra 30% e 40%, rispettivamente pari a 0,08 m/s (5 m/min) e 4 t/ha, oltre ai quali non è possibile intervenire con l'attacco diretto. Dalla differenza fra la biomassa presente su un VTF in fase di realizzazione o manutenzione ed il carico di combustibile massimo compatibile con le attività antincendio (4 t/ha con 30% < U% < 40%) è possibile stimare la quantità di biomassa estraibile.

Parole chiave: comportamento del fuoco; carico di combustibile; attacco diretto; viale taglia fuoco.

Key words: fire behavior; fuel load; direct fire suppression; fuel break.

(*) Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio (AGROSELVITER), Università di Torino, via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO); tel. +39 011 6705553; fax +39 011 6708734; e-mail: d.ascoli@unito.it.

¹ Lavoro svolto nell'ambito del progetto MIUR PRIN 2005 BIO_FOR_ENERGY «Modelli innovativi di gestione forestale per la produzione di biomasse per energia» (coordinatore nazionale: O. Ciancio).

INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

La biomassa da destinare a finalità energetiche può essere ricavata dalle realizzazioni e manutenzione dei viali tagliafuoco (VTF) (USFS, 2003).

Nella gestione dei VTF il materiale di risulta viene generalmente concentrato in bosco; tuttavia questa pratica accresce il carico di combustibile morto disponibile (PYNE *et al.*, 1996; MORRIS, 2000) aumentando il rischio di incendio (*risk*), inteso secondo la definizione proposta nell'ambito dei progetti europei SPREAD (BLANCHI *et al.*, 2003) ed EUFIRELAB (MARZANO *et al.*, 2006).

Nell'ultimo decennio il Forest Service del United States Department of Agriculture (U.S.D.A.) ha sperimentato nuove politiche per una destinazione sostenibile del materiale di risulta della manutenzione dei VTF al fine di perseguire molteplici obiettivi gestionali: ridurre il rischio di incendio, rendere più sicuri ed efficaci gli interventi di lotta attiva da parte degli operatori antincendio, abbattere i costi di manutenzione delle opere di prevenzione attraverso l'utilizzo del materiale legnoso per produrre energia rinnovabile (BUSH, 2002; USFS, 2003).

Partendo da questi presupposti, si intende definire una metodologia per stimare la biomassa ottenibile dalle attività di prevenzione antincendio boschivo (AIB) in Italia, con particolare riguardo alla realizzazione e manutenzione dei viali tagliafuoco.

In Italia i VTF sono opere di prevenzione degli incendi boschivi previste dal Piano regionale di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi di cui alla L. 353/2000. Tali opere rappresentano un argomento abbastanza controverso dal punto di vista terminologico, a causa delle differenti interpretazioni funzionali ad essi attribuite e delle conseguenti tipologie di realizzazione (LEONE e SIGNORILE, 1997).

Nel presente lavoro si fa riferimento al VTF verde (BOVIO, 1996) o *fuelbreak* (BERNETTI, 1975; XANTHOPOULOS *et al.*, 2006), inteso come una striscia o un vasto lotto posizionato strategicamente su cui una vegetazione densa, abbondante o infiammabile è stata modificata allo scopo di ridurre il carico di combustibile e la sua infiammabilità (GREEN, 1977). Infatti, in questa tipologia di viali non è prevista la completa eliminazione della vegetazione presente: la riduzione della biomassa avviene soprattutto a carico della vegetazione arbustiva, gli alberi vengono interessati solo parzialmente con diradamenti finalizzati a separare le chiome e spalcatore per innalzare l'altezza di inserzione della chioma (BROWN e DAVIS, 1973; RIGOLOT, 2000).

Il VTF attivo verde rappresenta inoltre un'area privilegiata di attacco diretto del fronte di fiamma: non ha lo scopo di fermare l'incendio, ma di modificarne il comportamento in modo da consentire l'attacco diretto,

umentando le probabilità di successo e le condizioni di sicurezza delle squadre di estinzione (BOVIO, 1992; AGEE *et al.*, 2000). Nel momento in cui l'incendio raggiunge la zona in cui il combustibile è stato trattato si verificano cambiamenti nel suo comportamento (SUSMEL, 1974; GRAHAM, 1999; BEAVER, 2001). La riduzione della velocità e dell'intensità del fronte di fiamma da un lato e le possibilità di accesso e di organizzazione di un attacco diretto dall'altro, consentono alle squadre di intervenire efficacemente ed in sicurezza (BROWN e DAVIS, 1973; BOVIO, 1996).

Per mantenere nel tempo l'efficacia di un viale è tuttavia necessario realizzare una periodica manutenzione attraverso il contenimento della biomassa (DAVIDSON, 1988; AGEE *et al.*, 2000). Ad oggi la gestione dei VTF in Italia viene effettuata sulla base di esperienze pratiche non supportate da una solida base scientifica (BOVIO, 1996).

Risulta quindi utile delineare linee guida per individuare la quantità di biomassa compatibile con le funzioni del VTF in relazione alla tipologia di vegetazione, alle caratteristiche orografiche e meteorologiche della zona, quali fattori determinanti il comportamento del fronte di fiamma (BYRAM, 1959; CHENEY, 1981; VIEGAS, 2004).

Nel presente lavoro viene descritta una metodologia sperimentale per definire il carico di combustibile compatibile con l'attacco diretto attraverso la realizzazione e la descrizione quantitativa di fronti di fiamma sperimentali in specifiche condizioni vegetazionali, orografiche e meteorologiche.

Il metodo proposto dedica particolare importanza allo studio del comportamento del fuoco in relazione alla sicurezza ed efficacia delle operazioni di attacco diretto: a tal fine l'intensità del fronte di fiamma viene analizzata in funzione delle caratteristiche del combustibile e delle condizioni meteorologiche.

La metodologia ed i risultati presentati costituiscono un primo passo nella definizione di una procedura per stimare la biomassa ottenibile dalle attività di realizzazione e manutenzione dei VTF in Italia: il confronto fra la quantità di combustibile compatibile con le attività antincendio e la quantità realmente presente all'interno del VTF consente di quantificare caso per caso la biomassa ottenibile dalla gestione dei VTF.

MATERIALI E METODI

Sono stati realizzati fronti di fiamma in dispositivi sperimentali collocati all'interno della Riserva Naturale Orientata (RNO) della Vauda, Provincia di Torino. Le fasi operative di accensione sono state effettuate in collaborazione con il Corpo Forestale dello Stato, il Corpo Volontari AIB della Provincia di Torino e l'Ente di Gestione dei Parchi e delle Riserve Naturali del Canavese.

I dispositivi sperimentali

L'area in cui sono state realizzate le sperimentazioni costituisce la porzione sud della RNO della Vauda, che si estende su una superficie di 335 ha nel comune di Lombardore della Provincia di Torino, a quote che vanno da 250 a 300 m s.l.m.

La Vauda è caratterizzata da una vegetazione acidofila mista, per lo più basso arbustiva ed erbacea, su terrazzi fluvio-glaciali antichi, solcati da impluvi in cui è presente una copertura boschiva.

In seguito all'abbandono delle tradizionali pratiche agricole quali lo sfalcio, il pascolamento ed il débbo, le formazioni a *Calluna vulgaris* Hull e *Molinia arundinacea* S. che caratterizzano la brughiera della Vauda vengono invase da stadi giovanili di *Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth e *Quercus robur* L. (MUGION e MARTINETTO, 1995; SINDACO *et al.*, 2003; ASCOLI *et al.*, 2005).

Grazie a queste dinamiche evolutive l'area sperimentale si presenta eterogenea dal punto di vista vegetazionale, offrendo la possibilità di realizzare fronti di fiamma con comportamento diverso a seconda della quantità e distribuzione spaziale del combustibile (ASCOLI *et al.*, 2006).

I dispositivi presentano superfici variabili: 4000 m² (50 m x 80 m), 1250 m² (25 m x 50 m) e 625 m² (25 m x 25 m); in tutti i casi le pendenze sono inferiori al 5%.

L'individuazione ed il dimensionamento dei dispositivi ha seguito i seguenti aspetti:

- i. composizione, struttura della vegetazione e carico di combustibile;
- ii. dimensioni raccomandate in letteratura per un VTF verde in assenza di pendenza (GREEN, 1977; BOVIO *et al.*, 1996; LEONE e SIGNORILE, 1996; AGEË *et al.*, 2000; RIGOLOT e COSTA, 2000);
- iii. presenza di viabilità in grado di consentire l'accesso ai dispositivi da parte dei mezzi antincendio del Corpo Forestale dello Stato e delle Squadre Volontari AIB;
- iv. presenza di confini naturali per agevolare il controllo del fronte di fiamma.

La stima della biomassa

Al fine di elaborare un modello che descrivesse il comportamento del fuoco (velocità di avanzamento e intensità) in funzione della biomassa bruciabile (carico e umidità percentuale del combustibile), si è proceduto alla caratterizzazione del combustibile all'interno dei dispositivi sperimentali.

I combustibili sono stati distinti per classi di diametro (d) corrispondenti a classi di tempo di rilassamento (T_r) (ANDERSON, 1982; ROTHERMEL, 1983; PYNE *et al.*, 1996). Il tempo di rilassamento (*timelag*) viene definito

come il numero di ore impiegate da un combustibile a perdere il 63% della differenza tra il valore dell'umidità iniziale e quello di stabilità, se sottoposto ad un ambiente con il 20% di umidità relativa dell'aria e 27°C di temperatura (BOVIO, 1996).

I combustibili fini con $d < 0,6$ cm (Tr 1h) sono stati campionati casualmente con metodo distruttivo su quadrati di 30 x 30 cm ($n = 20$).

Nel presente lavoro il carico di combustibile fine comprende sia la componente viva, caratterizzata prevalentemente da *Calluna vulgaris*, che la componente morta costituita da cespi di *Molinia arundinacea* e dalle parti non vitali delle chiome di calluna; è stato utilizzato un valore di umidità percentuale del combustibile fine (U%) che media i valori della componente viva in fase di dormienza (40%-60%) con i valori dei combustibili erbacei secchi (15%-20%).

I combustibili con $d > 0,6$ cm (Tr 10h; 100h; 1000h) non sono stati campionati in quanto hanno una minor influenza sulla velocità di avanzamento e sull'intensità del fronte di fiamma (ROTHERMEL, 1983; CHENEY, 1990).

I campioni sono stati pesati in campo per ricavarne il peso fresco ed in seguito collocati in stufa per 24 ore, ad una temperatura costante di 105°C, in modo da ottenere il peso secco. Dalla differenza fra il carico di combustibile secco stimato prima e dopo il passaggio del fuoco si ottiene la stima della quantità di combustibile consumato durante l'esperimento. La percentuale di umidità del combustibile è stata stimata il giorno stesso delle sperimentazioni.

Il potere calorifico del combustibile è stato definito pari a 20.957 kJ/kg (ASCOLI *et al.*, 2006).

Il comportamento del fuoco

Per quantificare l'intensità dei fronti di fiamma sperimentali in relazione alle attività di attacco diretto, sono stati analizzati l'intensità lineare (BYRAM, 1959) ed il flusso radiante (LEICESTER, 1985).

i) L'intensità lineare² (I), espressa in kW/m (BYRAM, 1959; ALEXANDER, 1982; CHENEY, 1990), è pari a:

$$I = Hwr$$

dove:

I = Intensità lineare (kW/m);

H = Potere calorifico (kJ/kg);

w = Quantità di combustibile combusta nella zona attiva del fronte di fiamma (kg/m²);

r = Velocità di avanzamento del fronte di fiamma in m/s (*Rate of spread*; ROS).

² Nella letteratura scientifica italiana generalmente l'intensità lineare si esprime in kcal m⁻¹s⁻¹ (1 kW/m = 0,239 kcal m⁻¹s⁻¹), in quella statunitense in Btu ft⁻¹s⁻¹ (1 kW/m = 3,46 Btu ft⁻¹s⁻¹).

Al fine di determinare I , durante le sperimentazioni è stata misurata la velocità di avanzamento del fronte di fiamma (ROS) (ASCOLI *et al.*, 2005).

ii) Il flusso radiante (Q), espresso in kW/m^2 (LEICESTER, 1985), è pari a:

$$Q = 60(1 - \exp[-I/(3000D)])$$

dove:

Q = Flusso radiante (kW/m^2);

I = Intensità lineare (kW/m);

D = Distanza dalla fonte di calore (m).

Numerosi lavori hanno individuato limiti di intensità lineare e di esposizione al flusso radiante delle fiamme oltre i quali non è possibile intervenire con l'attacco diretto se non a rischio di sensazioni di dolore o scottature.

LEONE e SIGNORILE (1996) riferiscono che radiazioni superiori a $0,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, (pari a $12,6 \text{ kW}/\text{m}^2$), procurano gravi ustioni sulla pelle. Secondo BRAUN *et al.* in BUTLER e COHEN (1998), una scottatura di secondo grado si verifica quando un operatore con tuta di protezione anti incendio viene esposto ad un flusso radiante incidente di $7 \text{ kW}/\text{m}^2$ per 90 secondi. BUDD *et al.* (1997) realizzando fronti di fiamma sperimentali hanno osservato che durante le operazioni di attacco diretto flussi inferiori a $2 \text{ kW}/\text{m}^2$ non causano problemi agli operatori, ma per valori superiori vengono avvertite sensazioni di dolore.

BEAVER (2001), partendo dal lavoro di BUDD *et al.* (1997), considera come limite superiore per l'attacco diretto a 5 m di distanza dalla testa del fronte di fiamma verticale un valore di flusso radiante pari a $2 \text{ kW}/\text{m}^2$. A partire da questo valore, ed utilizzando la formula di LEICESTER sopra indicata, l'intensità lineare massima alla quale un operatore, munito di un dispositivo di protezione individuale, può sostenere un attacco diretto della testa del fronte è $500 \text{ kW}/\text{m}$, confermando valori già noti in letteratura (BROWN e DAVIES, 1973).

BOVIO (1992), per le operazioni di attacco diretto in VTF attivi, individua come limite superiore valori di I compresi fra 420 e $830 \text{ kW}/\text{m}$.

Con riferimento alla capacità di intervento delle squadre antincendio, in ROTHERMEL (1983) vengono presentate classi di intensità lineare del fronte di fiamma in relazione al comportamento del fuoco ed alla possibilità di attacco diretto della testa del fronte, così come definite da ROUSSOPOULOS e JOHNSON (1975) (Tabella 1).

Valori di intensità lineare e limiti nell'estinzione simili a quelli utilizzati da ROTHERMEL (1983) sono riportati in ANDREWS e ROTHERMEL (1982) e ALEXANDER e COLE (1995).

Nel presente lavoro si è deciso di utilizzare come valore limite superiore per l'attacco diretto della testa del fronte di fiamma quello di $500 \text{ kW}/\text{m}$,

Tabella 1 – Comportamento del fuoco e possibili interventi di lotta attiva (da: ROUSSOPOULOS e JOHNSON, 1975 in ROTHERMEL, 1983; modificato).

– *Fire behaviour and possible firefighting activities (from: ROUSSOPOULOS and JOHNSON, 1975 in ROTHERMEL, 1983; modified).*

Intensità lineare (kW/m)	Possibilità di intervento
> 3460	Sforzi nel controllare la testa del fronte non sono efficaci per l'alta probabilità di salti di faville e incendi di chioma.
1730 – 3460	Il controllo della testa del fronte risulta probabilmente inefficace a causa di fenomeni di salti di faville.
350 – 1730	Il fuoco è troppo intenso per essere attaccato in testa con attrezzature manuali. L'intervento di autobotti e ritardanti può essere efficace.
< 350	Attacco diretto del fianco e della testa del fronte con attrezzature manuali.

suggerito da BUDD *et al.* (1997). Questo valore limite è stato utilizzato come parametro di confronto a cui riportare i valori di I registrati durante le sperimentazioni alla Vauda.

Si è realizzato un modello di regressione secondo una curva esponenziale (QUINN e KEOGH, 2002), che mette in relazione il ROS, variabile da cui dipende I , in funzione del carico e dell'umidità percentuale del combustibile e delle condizioni meteorologiche. Il modello permette quindi di individuare le condizioni limite di carico di combustibile che consentono l'attacco diretto in sicurezza nel VTF.

RISULTATI DISCUSSIONE

Di seguito vengono riportati i principali risultati relativi ai parametri di comportamento dei fronti di fiamma sperimentali realizzati durante la stagione invernale 2006/2007. Il *database* è stato integrato con dati rilevati in sperimentazioni precedenti, realizzate nell'inverno 2005/2006.

In totale sono stati studiati 22 fronti di fiamma, realizzati in 4 siti diversi all'interno della RNO della Vauda (Tabella 2).

Il carico di combustibile fine stimato varia da 2,4 a 15 t/ha. Il coefficiente di variazione dei valori campionari del carico di combustibile fine, rilevati prima di ogni esperimento, varia dal 2 al 24%, con una media pari al $12\% \pm 1\%$; questo risultato indica come la struttura e la distribuzione del combustibile all'interno dei dispositivi sperimentali fossero sufficientemente uniformi da sostenere una diffusione omogenea del fuoco lungo le aree sperimentali. La velocità di avanzamento del fronte di fiamma (ROS) varia da 0,007 a 0,299 m/s, ovvero da 0,4 a 17,9 m/min.

Tabella 2 – Descrizione di 22 fronti di fiamma realizzati all'interno della RNO della Vauda.
 – Main descriptive values of the 22 experimental fires realized within the Manage Nature Reserve of Vauda.

N.	Data	Ora Inizio (h.m.s.)	Ampiezza Fronte (m)	Area (m ²)	Comb. Fine <6mm (t/ha)	U% (%)	W (kg/m ²)	ROS (m/s)	I (kW/m)	Vel.Vento (km/h)	U. Aria (%)	T. Aria (°C)	Tipo
1	21-feb-05	10.38.00	50	4000	10,3	28	0,73	0,036	549	6,6	72	1,8	BF
2	21-feb-05	13.13.00	50	4000	15,0	30	1,12	0,111	2614	6,5	65	2,3	HF
3	10-mar-05	10.28.00	50	4000	13,4	32	1,14	0,216	5148	7	25	14	HF
4	10-mar-05	11.56.00	50	4000	7,6	30	0,68	0,045	645	5,1	22	13	-
5	17-mar-05	9.42.00	25	1250	13,4	35	0,72	0,040	606	1,7	52	14	-
6	17-mar-05	10.56.00	25	1250	7,6	33	0,47	0,110	1086	3,1	48	16	-
7	17-mar-05	11.40.00	25	1250	15,0	34	1,26	0,092	2426	6,6	44	19	BF
8	17-mar-05	12.31.00	25	1250	10,3	30	0,72	0,119	1793	5,0	42	19	HF
9	16-mar-06	10.20.00	25	625	3,2	33	0,16	0,007	23	3,8	57	7	BF
10	16-mar-06	10.55.00	25	625	3,2	33	0,19	0,042	163	3,8	56	8	HF
11	16-mar-06	11.59.00	25	625	4,0	35	0,21	0,015	67	5,6	48	11	BF
12	16-mar-06	12.32.00	25	625	4,0	35	0,23	0,058	282	5,6	48	10	HF
13	16-mar-06	13.07.00	25	625	3,3	37	0,19	0,018	72	8,1	47	11	BF
14	16-mar-06	13.08.00	25	625	3,3	37	0,21	0,045	196	7,9	47	11	HF
15	16-mar-06	14.12.00	25	625	3,4	35	0,17	0,010	36	6,0	41	13	BF
16	16-mar-06	14.28.00	25	625	3,4	35	0,20	0,073	312	6,1	41	13	HF
17	2-feb-07	12.27.00	25	1250	2,6	35	0,17	0,048	167	3,7	63	10	HF
18	16-feb-07	10.47.00	25	1250	2,4	22	0,17	0,145	506	8,0	54	11	-
19	16-feb-07	12.06.00	25	625	2,4	13	0,24	0,299	1473	10	42	17	HF
20	16-feb-07	12.22.00	25	625	2,7	13	0,27	0,206	1153	7,5	56	13	HF
21	16-feb-07	13.08.00	25	625	3,1	12	0,31	0,269	1753	7,5	50	15	HF
22	16-feb-07	13.23.00	25	625	2,8	12	0,28	0,274	1625	6	48	15	HF

Il *range* di variazione del ROS viene di seguito interpretato in funzione dei principali fattori che determinano il ROS.

L'intensità e la direzione del vento spiegano gran parte delle variazioni del ROS (ROTHERMEL, 1983; VIEGAS, 2004): se si confronta il valore di ROS medio ($0,030 \text{ m/s} \pm 0,013$) per gli esperimenti condotti controvento (*backfire*; BF), con il valore di ROS medio ($0,147 \text{ m/s} \pm 0,029$) per gli esperimenti a favore di vento (*headfire*; HF), la relazione appare evidente.

L'ampiezza della linea di accensione e successivamente della testa del fronte, a parità di altri fattori, ha un effetto direttamente proporzionale sul ROS (ANDERSON 1982; CHENEY *et al.*, 1993; CHENEY e GOULD, 1995): date le dimensioni degli esperimenti studiati, non sono state registrate differenze significative di ROS in funzione dell'ampiezza del fronte.

Il carico del combustibile fine ha un effetto direttamente proporzionale sul ROS (MARSDEN-SMEDLEY e CATCHPOLE, 1995; FERNANDES, 2001): il grafico in Figura 1 mostra come il ROS aumenti all'aumentare del carico di combustibile fine secondo una relazione esponenziale. Per fronti di fiamma controvento, in combustibili con U% compresa fra il 30% e 40%, la regressione esponenziale è significativa ($\alpha = 0,005$; $df = 5$), presenta un valore di R_{adj}^2 pari a 0,86; questo significa che gran parte della variabilità del ROS è spiegata dal carico di combustibile. Questa relazione può essere dovuta al fatto che un carico di combustibile maggiore comporta una maggior continuità nella struttura e distribuzione della biomassa bruciabile; inoltre maggiore è la quantità di combustibile disponibile nella combustione, maggiore sarà l'energia di irraggiamento del fronte di fiamma, quindi il preriscaldamento dei combustibili davanti al fronte di fiamma; entrambi i fenomeni hanno un effetto positivo sulla velocità e quindi sull'intensità lineare del fronte. Anche per fronti di fiamma a favore di vento la relazione è significativa ($\alpha = 0,004$; $df = 6$) con un R_{adj}^2 pari a 0,74; in questo caso il modello è più debole in quanto parte della variabilità è spiegata dalle variazioni di intensità e direzione del vento che in un fronte di fiamma a favore di vento hanno un effetto sensibilmente maggiore sul ROS rispetto a quanto avviene in fronti di fiamma controvento. Per la realizzazione dei modelli non sono stati presi in considerazione gli esperimenti 4, 5, 6 e 18, in quanto, a causa della direzione trasversale del vento rispetto al posizionamento dei dispositivi sperimentali, non è stato possibile classificarli come fronti di fiamma a favore o controvento.

L'umidità percentuale (U%) dei combustibili fini ha un effetto inversamente proporzionale sul ROS (HOBBS e GIMINGHAM, 1984; CATCHPOLE *et al.*, 1993; WILLIAMS *et al.*, 1998): se si confrontano i valori di ROS per gli esperimenti 19, 20, 21, 22 (Tabella 2), in cui il combustibile, prevalentemente erbaceo, presenta una U% del 12-13%, con i valori degli altri esperimenti, in cui il

combustibile presenta una U% dal 30 al 35%, le differenze in ROS a parità di carico di combustibile sono sensibili. In Figura 1 viene illustrato come, a parità di carico di combustibile, i fronti di fiamma condotti in combustibile con U% inferiore al 15%, presentano un ROS maggiore; il carico di combustibile assume quindi una minor importanza nello spiegare la variabilità del ROS, mentre la stessa U% insieme a direzione e intensità del vento acquistano una maggior importanza; l'assenza di un numero sufficiente di esperimenti con U% del combustibile inferiore al 15% non ha tuttavia consentito di elaborare un modello che mettesse in relazione il ROS ed il carico di combustibile.

In Figura 1 vengono anche indicati per ogni esperimento i valori di intensità lineare del fronte di fiamma in funzione del ROS e del carico di combustibile: nella zona compresa fra valori di ROS inferiori a 0,08 m/s e valori di carico di combustibile inferiori alle 4 t/ha (in rosso nella figura), il fronte di fiamma ha presentato valori di I inferiori a 500 kW/m sia in condizioni a favore di vento che controvento. Questi valori rappresentano quindi i limiti di ROS e carico di combustibile fine oltre ai quali non è possibile intervenire in sicurezza con l'attacco diretto in un VTF.

CONCLUSIONI

La realizzazione e la manutenzione dei VTF, nell'ambito di attività di prevenzione degli incendi boschivi, possono rappresentare fonti di biomassa da destinare a finalità energetiche. Per stimare la quantità di biomassa

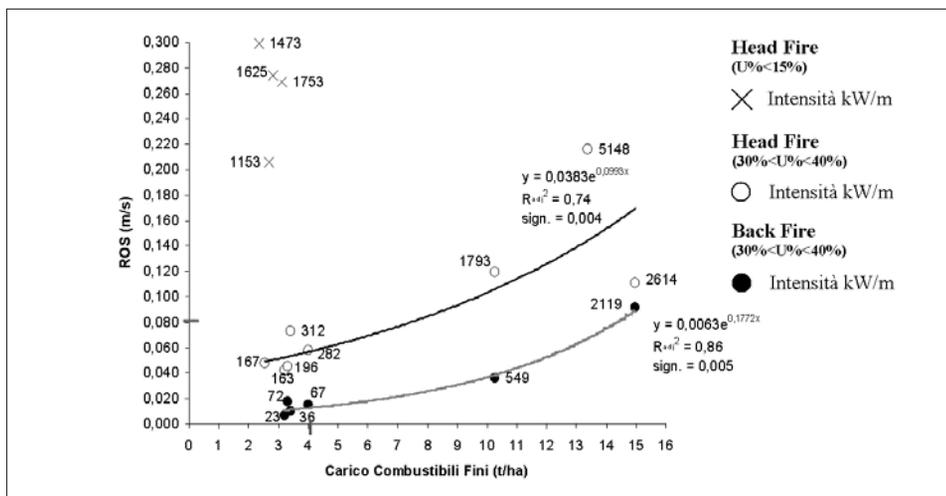


Figura 1 – Regressione esponenziale fra ROS e Carico dei Combustibili Fini.
– Exponential regression between ROS and Fine fuel load.

ottenibile dalla gestione del VTF è necessario innanzi tutto individuare la quantità di combustibile fine compatibile con le attività di attacco diretto su un VTF.

Nel presente lavoro sono stati studiati 22 fronti di fiamma sperimentali per valutare la quantità di biomassa compatibile con le funzioni del VTF.

La realizzazione di fronti di fiamma sperimentali, condotti sia a favore che controvento, ha permesso di studiare due modelli esponenziali che mostrano come all'aumentare del carico del combustibile fine aumentino la velocità di avanzamento, l'intensità lineare ed il flusso radiante incidente.

Al fine di determinare il carico di combustibile fine oltre il quale non è possibile intervenire con l'attacco diretto, è stato scelto su base bibliografica il valore di intensità lineare limite di 500 kW/m a cui rapportare i risultati ottenuti durante le sperimentazioni.

Sono stati individuati valori limite di ROS e carico di combustibile fine, con U% compresa fra il 30% e 40%, rispettivamente pari a 0,08 m/s (5 m/min) e 4 t/ha, oltre ai quali non è possibile intervenire con l'attacco diretto.

Fronti di fiamma controvento consentirebbero di operare anche con carichi di combustibile fine superiori alle 4 t/ha, tuttavia il VTF deve essere dimensionato tenendo in considerazione condizioni sfavorevoli ovvero fronti di fiamma a favore di vento. Una U% inferiore al 15% rende poco efficaci interventi di lotta attiva anche con carichi di combustibile fine inferiori alle 4 t/ha.

La ricerca offre indicazioni metodologiche per definire la quantità di biomassa compatibile con l'attacco diretto su un viale tagliafuoco. Pertanto contribuisce alla realizzazione di viali tagliafuoco impostati non più su regole empiriche e permette di quantificare la biomassa ricavabile dalla loro manutenzione. In tale modo si possono affiancare alle condizioni di sicurezza in estinzione indicazioni per lo sviluppo di metodologie di stima della quantità di biomassa ottenibile dalla gestione del VTF.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano il Corpo Forestale dello Stato-Coordinamento provinciale di Torino, il Corpo dei Volontari Antincendi Boschivi della Regione Piemonte ed il personale tecnico dell'Ente di gestione delle Riserve e dei Parchi naturali del Canavese per la collaborazione ed il supporto logistico fornito durante la realizzazione degli esperimenti con il fuoco.

SUMMARY

Experimental analysis of the relationship between fire behaviour and biomass in fuel break management

A series of experimental fires (625-4000 m²) was lit in the Natural Reserve of Vauda, Piemonte Region, Italy, in order to study fuel load effects on fire spread (ROS), fireline intensity (*I*) and radiant heat flux (*Q*). The model showed how ROS increased with increasing fuel load. Limit values for manual fire suppression of *Q* (2 kW/m²), *I* (550 kW/m), ROS (5 m/min) and fuel load (4 t/ha) have been identified. Conclusions about fuel load assessment and biomass energetic opportunities in fuel break management are given.

BIBLIOGRAFIA

- AGEE J.K., BAHRO B., FINNEY M.A., OMI P.N., SAPSIS D.B., SKINNER C.N., VAN WAGTENDONK J.W., WEATHERSPOON C.P., 2000 – *The use of shaded fuel-breaks in landscape fire management*. Forest Ecology and Management, 127: 55-66.
- ALEXANDER M.E., 1982 – *Calculating and interpreting forest fire intensities*. Can. J. Bot., 60: 349-357.
- ALEXANDER M.E., COLE F.C., 1995 – *Predicting and interpreting fire intensities in Alaskan black spruce forests using the Canadian system of fire danger rating*. Managing Forests to Meet People's Needs. Proceedings of Society of American Foresters/Canadian Institute of Forestry Convention. SAF Publication 95-02. (Society of American Foresters [SAF]: Bethesda, MD), p. 185-192.
- ANDERSON H.E., 1982 – *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122, 22 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah 84401.
- ANDREWS P.L., ROTHERMEL, R.C., 1982 – *Charts for interpreting wildland fire behavior characteristics*. Gen. Tech. Rep. INT-131. Ogden, UT: Forest Service U.S.D.A., 21 p.
- ASCOLI D., MARZANO R., BOVIO G., 2005 – *Fuoco prescritto sperimentale per la gestione della brughiera*. Linea Ecologica, 37 (3): 19-26.
- ASCOLI D., MARZANO R., BOVIO G., 2006 – *Experimental fires for heather moorland management in north-western Italy*. In: Viegas D.X. (ed.), Proc. V Int. Conf. on Forest Fire Research, Figueira da Foz (Portugal), Elsevier.
- BEAVER A., 2001 – *Evaluating Risk and Reward Relationships in Wildland Firefighter Safety*. Proceedings of the «Wildland Fire Safety Conference», University of Montana, Missoula, MT., November 6-8, 2001.
- BERNETTI G. 1975 – *Incendi e parole*. Ann. Acc. It. Scienze Forestali, XXIV: 111-142.
- BLANCHI R., ALLGÖWER B., KOUTSIAS N., SALAS J., CAMIA A., 2003 – *Fire risk mapping (I): Methodology, selected examples and evaluation of user*

- requirements* (E. Chuvieco ed.). Forest Fire Spread Prevention and Mitigation (SPREAD) Deliverable D161. Contract number EVG1-CT-2001-00043, 46 p.
- BOVIO G., 1992 – *Linee metodologiche per la pianificazione Antincendi boschivi*. Monti e Boschi, 1: 243-272.
- BOVIO G., 1996 – *Come proteggerci dagli incendi boschivi*. Collana Protezione Civile e Ambiente. Regione Piemonte.
- BROWN A.A., DAVIS K.P., 1973 – *Forest fires: control and use*. McGraw-Hill, NY.
- BUDD G.M., BROOTHERHOOD J.R., HENDRIE A.L., CHENEY N.P., DAWSON M.P., 1997 – *Project Aquarius 6. Heat load from exertion, weather, and fire in men suppressing wildland fires*. International Journal of Wildland Fire, 7: 119-131.
- BUSH G.W., 2002 – *Healthy Forests – an initiative for wildfire prevention and stronger communities*. <http://whitehouse.gov/infocus/healthyforests/toc.html>.
- BUTLER B.W., COHEN J.D., 1998 – *Firefighter safety zones: a theoretical model based on radiative heating*. International Journal of Wildland Fire, 8 (2): 73-77.
- BYRAM G.M., 1959 – *Combustion of forest fuels*. In: K.P. Davis, Ed., *Forest Fire Control and Use*, McGraw-Hill, New York, NY, p. 61-89.
- CASTELLANI C., SCRINZI G., TABACCHI G., TOSI V., 1984 – *Inventario forestale nazionale italiano. Tavole di cubatura a doppia entrata*. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, Trento, 114 p.
- CATCHPOLE E.A., CATCHPOLE W.R., ROTHERMEL R.C., 1993 – *Fire Behavior Experiments in Mixed Fuel Complexes*. International Journal of Wildland Fire, 3 (1): 45-57.
- CESTI G., 2005 – *I combustibili negli incendi di vegetazione*. Monografia 1. Collana di monografie sugli incendi boschivi e di vegetazione. De Rerum Natura, Pesaro.
- CHENEY N.P., 1981 – *Fire behaviour*. In: *Fire and the Australian Biota*. Gill A.M., R.H. Groves, Noble I.R. Australian Academy of Science. Canberra, p. 151-178.
- CHENEY N.P., 1990 – *Quantifying bushfires*. Mathematical and Computer Modelling, 13 (12): 9-15.
- CHENEY N.P., GOULD J.S., CATCHPOLE W.R., 1993 – *The Influence of Fuel, Weather and Fire Shape Variables on Fire-Spread in Grasslands*. International Journal of Wildland Fire, 3 (1): 31-44.
- CHENEY N.P., GOULD J.S., 1995 – *Fire Growth in Grassland Fuels*. International Journal of Wildland Fire, 5 (4): 237-247.
- CIANCIO O., CORONA P., 1995 – *La pianificazione dei sistemi forestali: applicazioni e prospettive*. Quaderni IAED, 2: 22-37.
- DAVIDSON S., 1988 – *Predicting the effectiveness of firebreaks*. Rural Research, 139 (Winter): 11-16.
- GRAHAM R.T., HARVEY A., JAIN T., TONN J.R., 1999 – *The effects of thinning and similar stand treatments on fire behavior in western forests*. USDA Forest Service General Technical Report PNWGTR-463.
- GREEN L.R., 1977 – *Fuelbreaks and other fuel modification for wildland fire control*. USDA Agr. Hdbk., 499.

- FERNANDES P.A.M., 2001 – *Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal*. Forest Ecology and Management, 144: 67-74.
- HOBBS R.J., GIMINGHAM C.H., 1984 – *Studies on fire in Scottish heathland communities I. Fire characteristics*. Journal of Ecology, 72: 223-240.
- LEICESTER R.H., 1985 – *Building technology to resist fire, flood, and drought*. In Proceedings of the Ninth Invitation Symposium. Australia Academy of Technical Science, p. 221-236.
- LEONE V., SIGNORILE A., 1997 – *Viali parafuoco: tipologia ed efficacia*. L'Italia Forestale e Montana, 52 (5): 307-328.
- MARSDEN-SMEDLEY J.B., CATCHPOLE W.R., 1995 – *Fire Behaviour Modelling in Tasmanian Buttongrass Moorlands I. Fuel Characteristics*. International Journal of Wildland Fire, 5 (4): 203-214.
- MARZANO R., BOVIO G., GUGLIELMET E., CAMIA A., DESHAYES M., LAMPIN C., SALAS J., MARTÍNEZ J., MOLINA D., GERONIMO N., CARREGA P., FOX D., SABATÉ S., VAYREDA J., MARTÍN P., MARTÍNEZ J., VILAR L., CONESE C., BONORA L., TSAKALIDIS S., GITAS I., KARTERIS M., 2006 – *Wildland Fire Danger and Hazards: a state of the art, final version*. EUFIRELAB: Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, a «wall-less» Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region. Deliverable D-08-07. EVR1-CT-2002-40028, p.64. http://www.eufirelab.org/prive/directory/units_section_8/D-08-07/D-08-07.pdf
- MORRIS G., 2000 – *Biomass energy production in California: the case for a biomass policy initiative*. In: Proceedings of Bioenergy 2000. Northeast Regional Biomass Program.
- MUGION L.G., MARTINETTO E., 1995 – *Piante vascolari rare o interessanti nella Vauda Canavesana (Torino, Italia NW)*. Riv. Piem. St. Nat., 16: 3-16.
- PYNE S.J., ANDREWS P.L., LAVEN R.D., 1996 – *Introduction to Wildland Fire*. Second edition. John Wiley & Sons, Inc, New York, 769 p.
- QUINN G.P., KEOGH M.J., 2002 – *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press, 537 p.
- REGIONE PIEMONTE, 2007– *Piano Regionale A.I.B. 2007-2010*. http://www.regione.piemonte.it/montagna/incendi/piano/dwd/aib2007_2010.pdf.
- RIGOLOT E., COSTA M., 2000 – *Conception des coupures de combustible*. Réseau Coupures de combustible, RCC n° 4. Éd. de la Cardère Morières, 154 p.
- ROTHERMEL R.C., 1983 – *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Gen. Tech. Report INT-143: 59-62.
- SINDACO R., MONDINO G.P., SELVAGGI A., EBONE A., DELLA BEFFA G., 2003 – *Guida al riconoscimento di Ambienti e Specie della direttiva Habitat in Piemonte*. Regione Piemonte.
- SUSMEL L., 1974 – *Modello del piano antincendio*. In: Studio di pianificazione antincendio per la Regione Autonoma della Sardegna. Padova. Prima ristampa, 1975, p. 87-99.
- USFS, 2003 – *Final Report. Biomass Energy Opportunities in and around the Lake*

- Tahoe Basin*. Nevada Tahoe Conservation District, South Lake Tahoe, McNeil Technologies NV, 107 p.
- VIEGAS D.X., 2004 – *Slope and wind effects on fire propagation*. International Journal of Wildland fire, 13: 143-156.
- WILLIAMS R.J., GILL A.M., MOORE P.H.R., 1998 – *Seasonal changes in fire behaviour in a Tropical Savanna in Northern Australia*. International Journal of Wildland Fire, 8 (4): 227-239.
- XANTHOPOULOS G., CABALLERO D., GALANTE M., ALEXANDRIAN D., RIGOLOT E., MARZANO R., 2006 – *Forest Fuel Management in Europe*. p. 29-46. In: Proceedings of the 1st Fire Behavior and Fuels Conference, «Fuels Management – How to Measure Success», Portland, Oregon, USA, March 27-30, 2006. Andrews, P. L, and B. W. Butler, compilers. USDA Forest Serv., Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. RMRS-P-41, 809 p.

