



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali

TESI DI LAUREA IN TECNOLOGIE FORESTALI E AMBIENTALI

Simulazione degli incendi di vegetazione con *FARSITE*

*(Fire Area Simulator):*

possibilità di utilizzo in Regione del Veneto

Relatore:

Prof. *Tommaso Anfodillo*

Correlatore:

Dott. Eva Valesè

Correlatore:

Dott. Massimo Bacchini

Laureanda:

Giulia Variara

Matricola n. 598751

ANNO ACCADEMICO 2011-2012



# INDICE

<i>SUMMARY</i>	7
RIASSUNTO	7
1. INTRODUZIONE	8
2. OBIETTIVI	9
3. <i>FARSITE</i>	10
3.1 I MODELLI MATEMATICI IN <i>FARSITE</i>	13
3.1.1 LA PROPAGAZIONE DEGLI INCENDI SUPERFICIALI: IL MODELLO ROTHERMEL	13
3.1.2 IL PASSAGGIO DEGLI INCENDI IN CHIOMA (VAN WAGNER) E LA LORO PROPAGAZIONE (ROTHERMEL)	14
3.1.3 FENOMENO DELLO SPOTTING, MODELLO DI ALBINI ( 1979 )	17
4. APPLICAZIONE DI <i>FARSITE</i> IN VENETO	19
4.1 INSERIMENTO DEGLI <i>INPUT</i> IN <i>FARSITE</i>	24
4.1.1 GENERARE IL FILE <i>LANDSCAPE</i>	24
4.1.2 COSTRUIRE UN PROGETTO <i>FARSITE</i>	30
4.1.3 STABILIRE I PARAMETRI DELLA SIMULAZIONE	42
4.1.4 INDICARE LA DURATA DELLA SIMULAZIONE	46
4.1.5 REALIZZAZIONE DELLA SIMULAZIONE E INTERPRETAZIONE DEGLI <i>OUTPUT</i>	47
5. DISCUSSIONE	67
6. CONCLUSIONI	71
BIBLIOGRAFIA	72



*“Signor Prefetto, ho appreso che vari incendi hanno recentemente danneggiato i boschi del Dipartimento affidato alle cure della Signoria Vostra.*

*Poiché ciò deve assolutamente cessare Ella mi userà la cortesia di fucilare sul posto le persone sospette d’aver dolosamente provocato gli incendi.*

*Che se poi questi non cessassero, penserò io di darLe un successore.”*

(Da una lettera scritta da Napoleone I nel 1808, per il dilagare degli incendi nella Francia Meridionale)



## SUMMARY

The fire management strategy for the control of wildfires is becoming common worldwide. One of the prevention techniques used by fire management is the prevision of the possible behaviour of the vegetation fires. The simulation *software* are able to give informations about how and in what direction a fire can growth.

*FARSITE* is one of this *software* and it's the most used for the wildfires behaviour forecast.

In this thesis, *FARSITE* is initially analyzed through the description of the model utilized by the *software* for the fire behaviour simulation: the Rothermel model (1972) for the propagation of a superficial fire, the Van Wagner model (1977, 1993) and the Rothermel model (1991) for the simulation of crown fire, and the Albini model (1979) for spotting.

The study also reports the simulation of one wildfire happened in Verona in 2003. The inputs necessary to *FARSITE* are described and then the outputs of the simulation are interpreted.

The aim of this work is to test *FARSITE* for a possible utilization of the *software* in the Region of Veneto.

## RIASSUNTO

La strategia del *fire management* per il controllo degli incendi boschivi si sta sempre più affermando a livello internazionale.

Una delle tecniche di prevenzione utilizzate dal *fire management* è la previsione del possibile comportamento degli incendi. I *software* di simulazione sono in grado di fornire informazioni su come e in quale direzione un incendio si può sviluppare. *FARSITE* è il simulatore più adottato per predire la propagazione del fuoco.

Nel presente lavoro di tesi *FARSITE* viene analizzato inizialmente tramite la descrizione dei modelli che il *software* utilizza per simulare i diversi comportamenti di un incendio boschivo: il modello Rothermel (1972) per la propagazione di un incendio radente, il modello Van Wagner (1977, 1993) e Rothermel (1991) per la simulazione di quello di chioma, e il modello Albini (1979) per il fenomeno dello *spotting*.

Lo studio riporta inoltre la simulazione di un incendio verificatosi nel 2003 nella Provincia di Verona. Vengono descritti gli *input* necessari a *FARSITE* ai fini della simulazione e successivamente ne sono interpretati gli *output*.

Analizzare i risultati di questa simulazione ha lo scopo di verificarne l'attendibilità per un possibile utilizzo di *FARSITE* in Regione del Veneto nelle attività del Servizio Antincendi Boschivi dell'Unità di Progetto Protezione Civile.

# 1. INTRODUZIONE

Una delle più importanti e impegnative sfide che si presenta al giorno d'oggi agli enti preposti alla tutela del territorio è quella di affrontare l'emergenza degli incendi boschivi.

Questa particolare attenzione è giustificata dal fatto che in media ogni anno, solo in Europa, 500.000 ha di foreste, coltivi e garriga sono interessati da incendi (Paivinen 2010). A livello internazionale si va affermando negli ultimi anni la strategia del *fire management* intesa come l'insieme di tutte quelle attività richieste per la protezione di foreste, zone di interfaccia e coltivi dagli incendi di vegetazione (FAO 2010). La strategia del *fire management* prevede l'utilizzo di tecniche di previsione, prevenzione, di lotta attiva sul fronte fiamma, di ripristino post - incendio delle zone colpite e anche dell' utilizzo del fuoco prescritto. La previsione del possibile comportamento di un incendio permette di organizzare al meglio queste attività e allocare le risorse disponibili e rendendo anche più agevoli le decisioni sugli interventi. Per tali motivi, gli enti incaricati all'attività di antincendio boschivo si avvalgono sempre più diffusamente di *software* che simulano il comportamento di un incendio. I simulatori *software* si basano sull'applicazione di uno o più modelli costruiti per descrivere il comportamento e la propagazione dei fronti fiamma da un punto di innesco (Manenti *et al.* 2003). Anche se l'uso di *software* basati sull'utilizzo di questi modelli si è molto diffusa verso gli anni '80 a seguito della graduale introduzione dei computer come strumenti di lavoro (Pastor *et al.* 2003), l'elaborazione e l'applicazione dei diversi modelli di propagazione degli incendi boschivi è in costante evoluzione sin dagli inizi del secolo scorso (Morvan *et al.* 2004). In letteratura sono stati individuati ben 23 simulatori *software* (Papadopoulos e Fotini-Novini 2011). Tra questi, *FARSITE - Fire Area Simulator* (Finney 1998), un *software* realizzato dal *Missoula Fire Sciences Laboratory*, è, senza dubbio, il simulatore più adottato per predire la propagazione del fuoco. Infatti *FARSITE* può produrre analisi dettagliate del comportamento dell'incendio e dei suoi effetti grazie all' utilizzo dei più collaudati e consolidati modelli di propagazione del fuoco.

Considerate le potenzialità di questo *software*, la Regione del Veneto sta recentemente testandone l'utilizzo, attraverso l'ufficio Antincendio Boschivo (AIB) della Provincia di Verona. Esso ha intrapreso, in maniera piuttosto autonoma e, per certi aspetti pionieristica, lo studio approfondito di *FARSITE*.

L'ufficio AIB della provincia di Verona è una sezione dei Servizi Forestali Regionali recentemente associato all' Unità Progetto Protezione Civile e si dedica alla prevenzione e gestione della lotta attiva agli incendi boschivi. Oltre a funzioni prettamente tecnico - operative, l'AIB è impegnato sul fronte dell'addestramento e della formazione professionale degli



operatori permanenti e volontari impegnati nelle operazioni di spegnimento. Per adempiere a tali obiettivi, recentemente l'attenzione di questa sezione è stata rivolta alla simulazione del comportamento di incendi boschivi. Fin'ora è stato molto utilizzato un *software* di origine americana, in grado di simulare la propagazione del fronte fuoco in base al tipo di combustibile, *BehavePlus5*®. Tuttavia, tale *software* non si è dimostrato efficace dato che è stato predisposto solo per condizioni ambientali e di combustibile omogenei.

L'ufficio AIB ha quindi deciso di approfondire le potenzialità applicative di *FARSITE* che è adatto a simulare in condizioni eterogenee di ambiente e combustibile.

Le prime simulazioni effettuate con *FARSITE* hanno prodotto risultati incoraggianti ma allo stesso tempo hanno spinto la Regione del Veneto a rivolgersi all'Università degli Studi di Padova Dipartimento TESAF al fine di definire al meglio limiti ed assunzioni del *software* e programmarne un più ampio utilizzo, al di fuori delle province del Veneto.

Il presente studio si inserisce in questa prima verifica del *software* nella Regione del Veneto.

## **2. OBIETTIVI**

Obiettivo della tesi è quello di realizzare una prima verifica delle potenzialità applicative di *FARSITE* inizialmente attraverso la descrizione dei modelli di propagazione del fuoco che il *software* utilizza e, successivamente, tramite lo studio di una simulazione di un incendio avvenuto nel Comune di Verona in località Monte Ongarine nel 2003.

### 3. *FARSITE*

*FARSITE* (Fire Area Simulator) è un *software* progettato da M.A. Finney (1994, 1998) per simulazioni spaziali e temporali del comportamento di un incendio di vegetazione in condizioni eterogenee di terreno, combustibile e scenario meteorologico.

Esso è in grado di fornire informazioni sulla vulnerabilità di una determinata località, ovvero sulla potenzialità che ha un incendio di procurare danni a infrastrutture o a persone. Inoltre, grazie al fatto che si possono inserire condizioni meteorologiche e di combustibile che variano nel tempo e nello spazio, e grazie alla sua rapidità di elaborazione dei dati, può essere utilizzato come *Decision Support System* (DSS) durante situazioni di emergenza, direttamente dalla Sala Operativa in comunicazione con il Direttore Operazioni di Spegnimento (DOS) che deve coordinare le squadre a terra e i mezzi aerei.

Inoltre, il *software* è gratuito e quindi facilmente installabile sui computer della Regione senza che si renda necessario l'intervento dell'amministratore. In ultimo, ma non meno importante, *FARSITE* presenta un'interfaccia intuitiva e non servono particolari abilità informatiche per avviare una simulazione, sempre che siano stati preventivamente organizzati i dati.

Paragonare la propagazione del fronte fuoco ad un'onda ellittica in espansione è alquanto intuitivo: il fuoco si propaga nel tempo e nello spazio con movimento continuo lungo la sua porzione di territorio e può essere tranquillamente paragonato ad una serie di isocroni, ossia linee immaginarie che collegano i punti "raggiunti" nel medesimo tempo, come si vede in Figura 2.1.

*FARSITE* simula lo sviluppo di un incendio boschivo riferendolo alla forma di un'onda ellittica che si espande su una superficie piana (Figura 2.1). Considerando un arco temporale definito, le ellissi che si generano da dei punti delineano le zone periferiche dell'incendio e, di conseguenza, il loro bordo esterno rappresenta il nuovo fronte di fuoco ossia i punti dai quali partiranno altre onde ellittiche nell'intervallo temporale successivo (Finney 1998). Questo processo viene indicato come principio di Huygens (Anderson *et al.* 1982).

Grazie all'applicazione del principio di Huygens, è stato elaborato da Richards (1990) il modello di propagazione del fuoco radente che utilizza le relazioni sviluppate da Rothermel (1972) (Formula 1). I modelli che *FARSITE* utilizza per simulare il comportamento dell'incendio di chioma (Van Wagner 1997) e per simulare lo *spotting* (Albini 1979) sono stati realizzati con lo stesso principio.

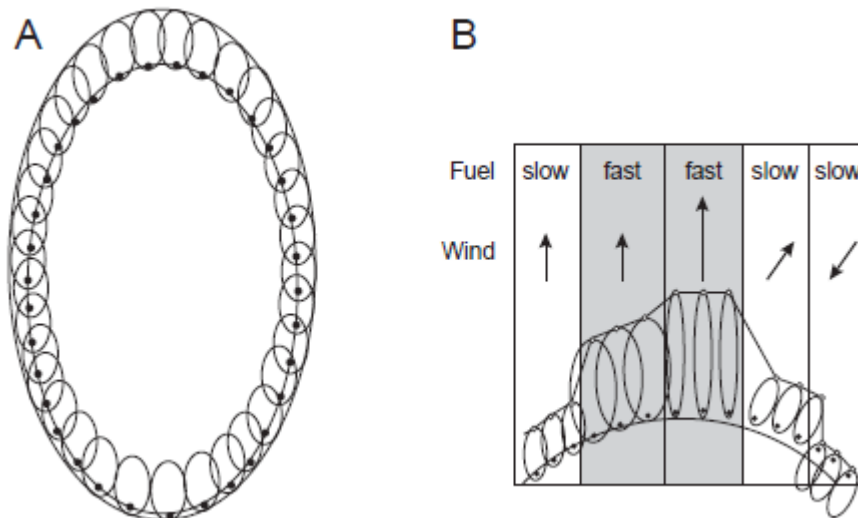
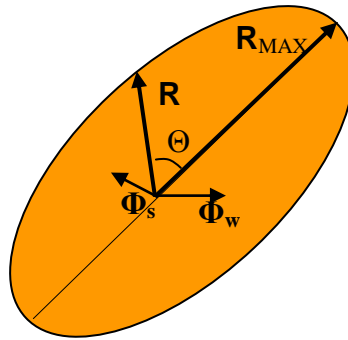


Figura 2.1: Avanzamento del fronte fuoco lungo il bordo esterno delle ellissi (Finney 2004) secondo il principio di Huygens. **(A)** Propagazione delle onde ellittiche in condizioni uniformi e costanti a livello orografico, meteorologico e di combustibile. **(B)** Le condizioni non uniformi mostrano che la grandezza delle onde dipende dalla tipologia di combustibile, mentre la loro forma e la loro direzione è correlata ai vettori vento e pendenza.



La velocità di propagazione in una direzione arbitraria si ottiene assumendo che il fuoco si espande seguendo una forma ellittica (D'Ambrosio *et al.* 2006).

Il valore  $R_{MAX}$  indica il vettore di accelerazione massima che si ricava dal modello Rothermel (1972). Il valore  $R$ , ovvero la velocità di propagazione in direzione differente a quella della testa del fuoco si ricava con la formula:

$$R = \frac{R_{MAX} (1 - \varepsilon)}{(1 - \varepsilon \cos\theta)} \quad (1)$$

Dove

$R_{MAX}$ : vettore accelerazione massima;

$\cos\theta$ : coseno dell'angolo che si forma tra la direzione dell'accelerazione massima e quella dell'accelerazione laterale

$\varepsilon$ : eccentricità dell'ellisse

$$\varepsilon = \sqrt{[(l/w)^2 - 1] / (l/w)} \quad (2)$$

Dove

$$l/w = 0.936 e^{0.2566 v} + 0.461 e^{-0.1548 v} - 0.397$$

$v$ : vento a metà fiamma

$l$ : lunghezza dell'ellisse

$w$ : larghezza dell'ellisse

Box 2.1: Teoria di Huygens applicata al modello di sviluppo di un incendio di Rothermel sviluppata in *FARSITE* da Richards (1990).

### 3.1 I MODELLI MATEMATICI IN *FARSITE*

*FARSITE* è stato progettato per utilizzare diversi modelli di propagazione di un incendio. Questi diversi modelli utilizzati nel *software*, permettono una fedele riproduzione del reale comportamento dell'incendio.

In un incendio boschivo, il fuoco può avanzare secondo diverse tipologie di comportamento: come fuoco superficiale, fuoco di chioma, o tramite lo *spotting*.

Di seguito, vengono descritti i modelli utilizzati da *FARSITE* per la rappresentazione di queste fasi di transizione dell'attività di un incendio.

#### 3.1.1 LA PROPAGAZIONE DEGLI INCENDI SUPERFICIALI: IL MODELLO ROTHERMEL

Ai fini operativi, il modello di propagazione che meglio rappresenta il fuoco per incendi di tipo radente e che è considerato più affidabile è quello di Rothermel (1972).

Rothermel ha formulato un modello semiempirico basato cioè sulla “statistica di osservazioni del fenomeno in condizioni controllate abbinata a considerazioni fisiche dell'evento combustione” (Bovio *et al.* 2007).

L'equazione (3) di Rothermel descrive al numeratore il valore della quantità di calore ricevuto dal combustibile vegetale, mentre al denominatore indica la quantità di calore necessaria a portare il combustibile alla temperatura di accensione.

Di seguito si riporta la formula, che esprime la velocità di propagazione del fuoco ( $\text{m min}^{-1}$ ) su una superficie piana parallela al terreno in ogni vertice:

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_w \Phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (3)$$

Dove

- $R$  = Velocità costante di propagazione del fronte fuoco ( $\text{m min}^{-1}$ )
- $I_R$  = Intensità di reazione ( $\text{kJ min}^{-1} \text{m}^{-2}$ ), ovvero la quantità di calore rilasciato per unità di area di fronte fuoco.

$$I_R = - [(dw / dt) h] \quad (4)$$

$dw / dt$  = velocità di consumo della massa per unità di area nel fronte fuoco

$h$  = quantità di calore del combustibile

- $\rho_b \epsilon$  = Densità apparente o Massa volumica apparente
- $Q_{ig}$  = Calore al pre – innesco, che è funzione dell' umidità del combustibile, dalla temperatura al momento dell' innesco, e dalla quantità di combustibile
- $\Phi_W$  e  $\Phi_S$  = Coefficienti adimensionali che sono funzione del vento, della pendenza, e dei parametri di combustibile. Rappresentano il flusso di propagazione addizionale prodotto dal vento e dalla pendenza. Devono essere valutati da dati sperimentali (Rothermel 1972).

### 3.1.2 IL PASSAGGIO DEGLI INCENDI IN CHIOMA (VAN WAGNER) E LA LORO PROPAGAZIONE (ROTHERMEL)

In *FARSITE*, il modello che descrive la fase di transizione da incendio radente a incendio di chioma, ossia quello che interessa le parti aeree degli alberi convenzionalmente e poste ad una altezza maggiore di 2 m rispetto al terreno, dove si trovano i combustibili già interessati da abbruciamento, è quello di Van Wagner (1977, 1993).

Questo modello predice se il fuoco avanza radente oppure se può transitare in chioma. Le caratteristiche di chioma che sono utilizzate per calcolare l'attività del fuoco di chioma sono:

- altezza di inserzione della chioma (*Height to Crown Base CBH*) (m) che è la distanza verticale tra la superficie del terreno e la base del combustibile vivo della chioma dell'albero (Finney 2004)
- altezza degli alberi (*Stand Height*) (m)
- densità di chioma (*Crown Bulk Density*) ( $\text{kg/m}^3$ )

Queste caratteristiche sono importanti per poter valutare il comportamento dell'incendio in quanto, ad esempio, una inserzione di chioma bassa facilita il passaggio del fuoco dalla zona

superficiale a quella immediatamente superiore. La densità delle chiome è utilizzata per determinare la soglia dei valori per avere un fuoco di chioma attivo, che quindi si propaga molto più velocemente di quello radente il suolo.

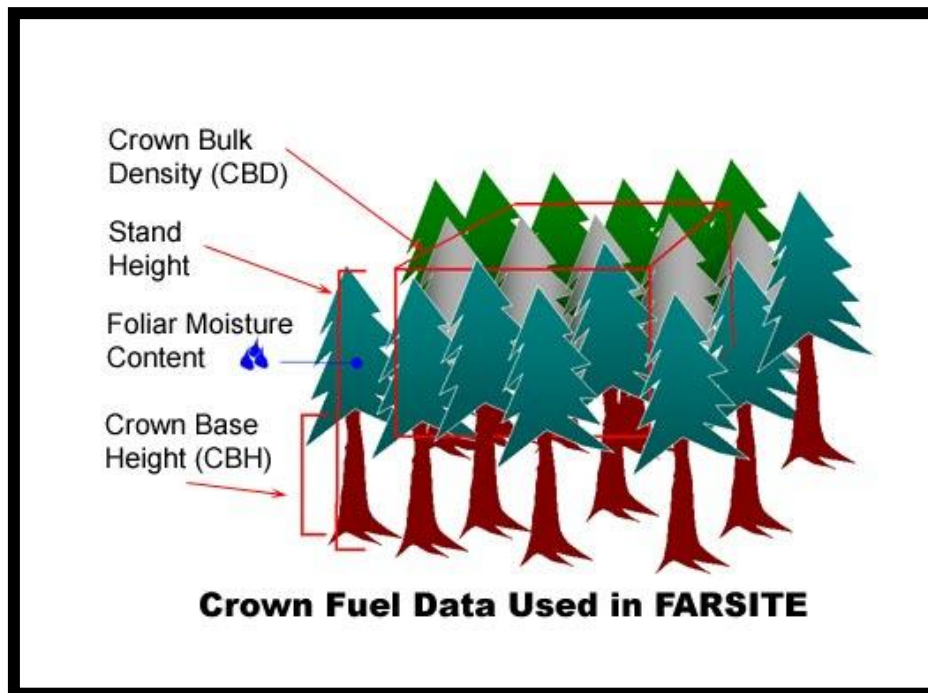


Figura 2.2: Elementi utilizzati per la determinazione del comportamento del fuoco di chioma (Finney 2004).

L' altezza delle chiome (*Stand Height*) è utilizzata nel modello sia per calcolare il carico di combustibile nella parte superiore degli alberi, sia per determinare il punto da cui partono i tizzoni ardenti e stimarne, quindi, la probabile distanza di ricaduta a terra. La pezzatura di tali tizzoni e il tempo impiegato per raggiungere tale distanza finale consentono al modello di predire se il tizzone al momento della sua caduta sarà ancora attivo e quindi in grado di originare focolai secondari (*spot*).

Per determinare la probabilità che un incendio possa propagarsi attivamente in chioma dopo aver compiuto il passaggio da fuoco superficiale, *FARSITE* utilizza il modello di Rothermel (1991). L'intensità del fronte fuoco radente viene confrontata con quella della soglia critica necessaria per il coinvolgimento nell' incendio del combustibile di chioma: se tale intensità raggiunge o supera la soglia critica, si manifestano diverse forme di incendio di chioma: attivo o passivo (Van Wagner 1997). Per determinare quale di queste due tipologie di incendio si possono sviluppare, si calcola la velocità di propagazione del fuoco lungo la direzione corrente

di diffusione (Rothermel 1991), modificata dalle porzioni di chioma già bruciata (Van Wagner 1993), e la si confronta con il valore di velocità critica “minima” richiesta per la propagazione di un effettivo incendio di chioma. Se questa soglia di velocità critica non è raggiunta o superata, si avrà un incendio di chioma passivo, cioè concentrato su un singolo albero. Altrimenti esso diventa un attivo incendio di chioma, che quindi si propaga di albero in albero. L’immagine riportata di seguito riassume il concetto appena esposto.

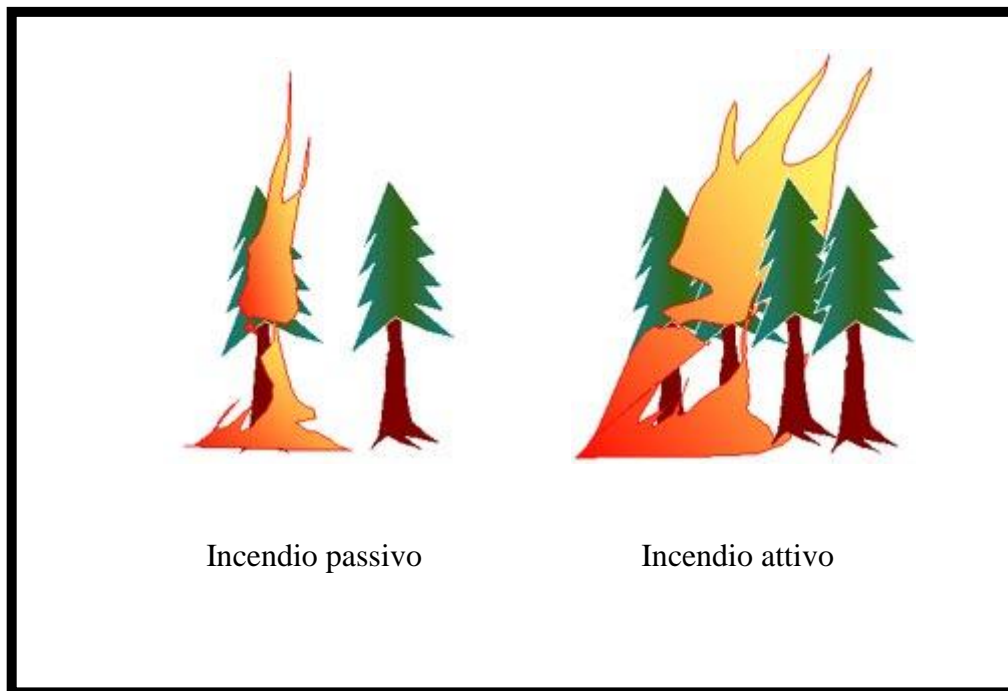


Figura 2.3: Tipologie di incendio di chioma (Finney 2004)

In *FARSITE* le differenze tra incendio attivo e passivo sono evidenziate a livello di calcoli nel modello del fuoco di chioma. In un incendio passivo la velocità di propagazione (ROS) rimane la stessa di quella che si ottiene con la propagazione di un incendio superficiale, ma aumentano l’intensità del fronte fuoco e la lunghezza delle fiamme, come risultato dell’ulteriore combustibile che, all’atto pratico, va ad aggiungersi alla combustione.

Con gli incendi attivi, invece, il ROS è molto più veloce ed intenso. L’ intensità e l’ ampiezza delle fiamme aumentano ulteriormente.



### 3.1.3 FENOMENO DELLO SPOTTING, MODELLO DI ALBINI ( 1979 )

Lo *spotting* è inteso come il fenomeno in cui i tizzoni ardenti staccatisi da alberi infuocati vengono alzati dai moti convettivi al di sopra delle chiome e trasportati anche dal vento, a distanza di centinaia di metri causando, in presenza di condizioni predisponenti, l'innesco di un nuovo incendio. Il modello di Albinì prevede che lo *spotting* si sviluppi in tre fasi. Nella prima fase è determinata la massima gittata che i rami in combustione, assunti avere forma cilindrica, possono raggiungere durante lo *spotting*. Si considerano diverse classi dimensionali di tali tizzoni perché ovviamente la loro grandezza condiziona il loro peso, e quindi la loro possibilità di essere trasportati dal vento o dalla forza "esplosiva" dell' incendio, ovvero dai moti convettivi originati dal calore prodotto dalle fiamme. I parametri caratterizzanti la combustione di un albero (altezza di fiamma e durata) sono determinati dalle dimensioni e dalla specie dello stesso (Albinì 1979). Nella seconda fase della modellazione dello *spotting* nel modello di Albinì, per tutti i tizzoni che si originano e si propagano da un albero che sta bruciando, vengono memorizzati la gittata, la posizione e la dimensione fino alla conclusione del *time step* (Figura 2.5) ovvero il tempo in cui vengono effettuati i calcoli nella simulazione e dove quindi tutti gli altri parametri orografici e atmosferici vengono considerati costanti. Il concetto verrà meglio descritto nel capitolo 3.

Ogni brace, dopo che lascia l'albero originario, ha inevitabilmente una discesa verso il terreno. Questo itinerario ha una particolare velocità determinata dal diametro della brace stessa e dal momento in cui ha cominciato la propria discesa. Inoltre, la quota della località, la velocità e la direzione del vento in quella determinata circostanza influenzano la gittata del tizzone; infatti si assume che esso segua la direzione del vento.

Non sempre le braci che si originano da un incendio di chioma sono in grado di propagarne un altro a distanza, infatti se il percorso che un tizzone deve compiere è maggiore della sua durata di combustione, esso semplicemente si spegnerà in aria (Albinì 1979).

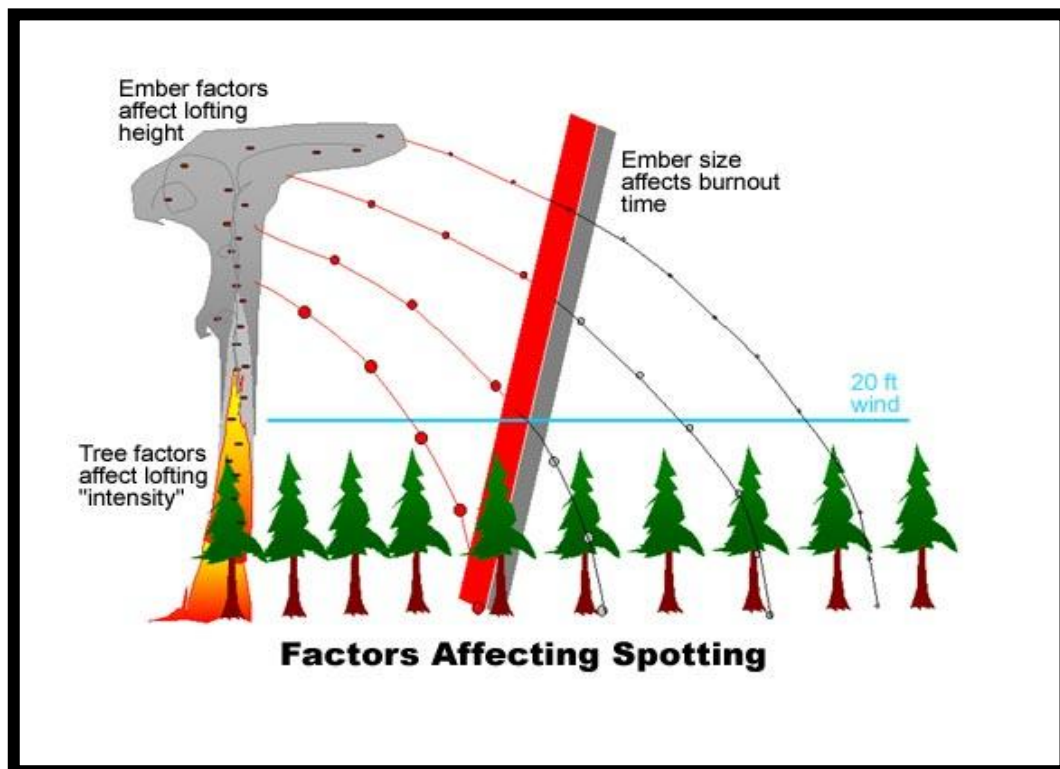


Figura 2.4: Il fenomeno dello *spotting*. (Finney 2004) In colore rosso i tizzoni ancora ardenti e quindi potenzialmente attivi, in grigio quelli già spenti.

Nell' ultima fase sono compresi i vari punti di innesco che si originano dai punti in cui i tizzoni ardenti sono venuti a contatto con del nuovo combustibile ed hanno trovato condizioni favorevoli per originare un nuovo incendio, più o meno grande a seconda delle situazioni. Sebbene *FARSITE* non abbia una funzione che permetta di veder sviluppare dei nuovi incendi tramite lo *spotting*, il *software* è, comunque, in grado di lavorare a livello della prima e seconda fase di Albini; con *FARSITE* quindi, anche se non si possono vedere i risultati derivati dalla propagazione di un incendio ardenti dal fenomeno dello *spotting*, si possono visualizzare i punti in cui si possono verificare dei potenziali inneschi tramite di esso (questi punti vengono rappresentati in colore bianco e sono facilmente visibile specie se è stato scelto di adottare colori scuri per rappresentare i vari modelli di combustibile).

## 4. APPLICAZIONE DI *FARSITE* IN VENETO

Nella parte finora sviluppata sono stati descritti i modelli di propagazione di un incendio boschivo utilizzati da *FARSITE* per i propri procedimenti di calcolo per elaborare i parametri necessari alla simulazione.

La sezione che segue illustra come *FARSITE* applica tali algoritmi per simulare la propagazione di un incendio, di quali dati necessita per fare questo e in quale formato e con quale successione questi vadano inseriti.

Nello specifico si è scelto di utilizzare *FARSITE* per riprodurre un incendio verificatosi in località Monte Ongarine - la Crocetta di Avesa, poco a Nord della città di Verona (Figura 3.6 e Figura 3.7).



Figura 3.5: Località Monte Ongarine - la Crocetta di Avesa, poco a Nord della città di Verona

Da notare, è la vicinanza dell'incendio alla città di Verona. Pur non potendo parlare d'incendio d'interfaccia, le fiamme sono state viste da molti residenti dei paesi di Avesa e Quinzano che allarmati hanno rivolto le loro segnalazioni alla Sala Operativa dei Vigili del Fuoco e ad il COR (Centro Operativo Regionale), preoccupati dal fatto che l'incendio potesse arrivare fino alle loro abitazioni (Foto 3.7).

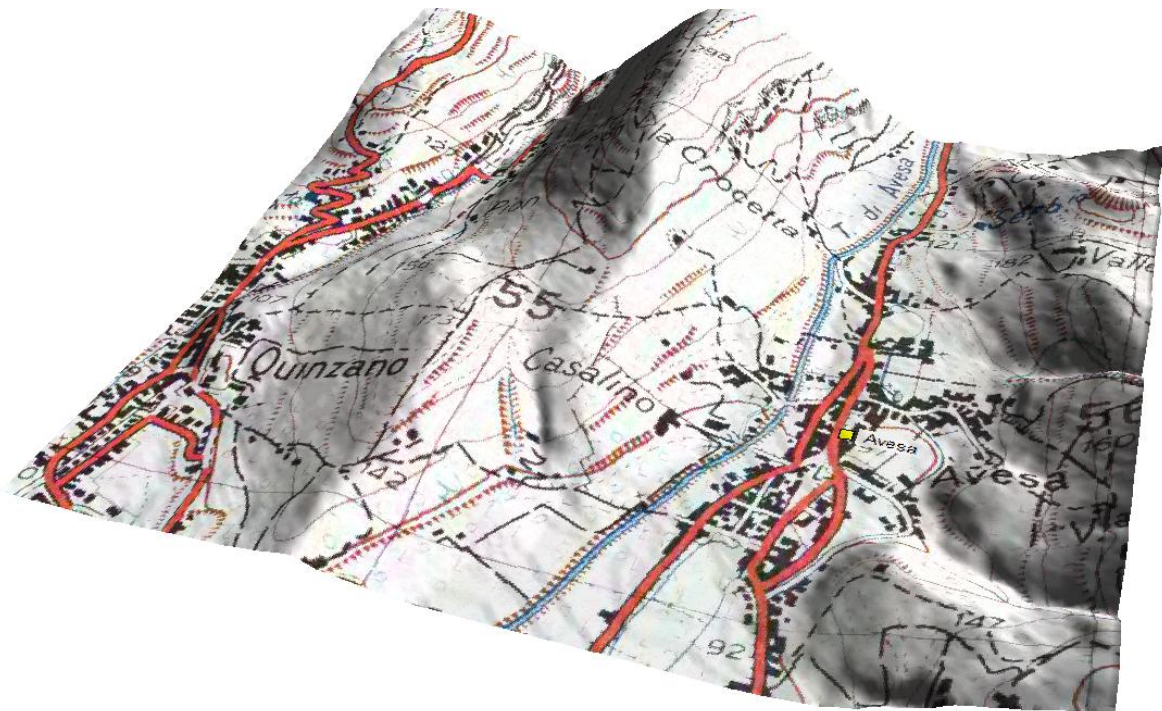


Figura 3.6 : Modello tridimensionale dell'area percorsa da incendio realizzato con il *software* GPS OziExplorer utilizzando il DEM 10x10.

I dati relativi all'incendio sono stati ricavati dalla scheda AIB redatta dal Servizio Forestale Regionale di Verona e compilata sul posto dagli operatori. Purtroppo detta scheda, viene compilata per finalità di indagine statistica e, pertanto, non contiene tutti i dati necessari ad una simulazione in *FARSITE*. Pertanto, è stato necessario integrare le informazioni intervistando personalmente il Direttore Operazioni di Spegnimento (DOS), alcuni Capisquadra del Servizio Forestale Regionale di Verona ed un Caposquadra del Corpo Nazionale Vigili del Fuoco.



Foto 3.7 : Foto d' archivio del Servizio Forestale Regionale di Verona (Lucchi). In basso a sinistra si nota l'oliveto da cui sono partite le fiamme. In rosso è evidenziato il fenomeno dello *spotting*.

La causa dell'incendio è stata attribuita a un fuoco avviato per l'abbruciamento del materiale di risulta proveniente dalla ripulitura di un oliveto (Foto 3.7)

L'incendio si è verificato il giorno 30 Settembre 2003. La segnalazione dell'incendio è arrivata alla Sala Operativa di Verona alle ore 10:15 della mattina e le operazioni di spegnimento si sono protratte fino alle ore 16:30 del giorno stesso. Il fenomeno ha interessato una superficie di 5,4 Ettari composti da formazioni di Ostrio-querceti a scotano, Oliveti e Arbusteti.

Uno degli obiettivi di questo lavoro è di confrontare il perimetro effettivo dell'incendio con quello riprodotto da *FARSITE*, per costatare l'effettiva attendibilità del *software*. Nel procedere con l'utilizzo del *software*, saranno illustrati gli *input* necessari per l'elaborazione dei calcoli sul comportamento dell'incendio, e i successivi risultati che si ottengono con *FARSITE*, per un'effettiva comprensione e interpretazione della simulazione.

Com'è evidenziato in Figura 3.8, le simulazioni in *FARSITE* richiedono una serie di passaggi che cominciano con l'inserimento degli *input* necessari, dopo un'adeguata preparazione dei dati, e che si concludono con l'interpretazione dei risultati della simulazione conclusa. Il

nucleo di tutto il procedimento della simulazione consiste nella creazione di un file *Landscape* che farà poi parte di un'ulteriore finestra di dialogo denominata *Project*. All'interno di questi due file sono inseriti dati orografici, di vegetazione e meteorologici. Le ultime informazioni di cui *FARSITE* necessita per procedere alla simulazione sono quelle riguardanti i parametri della simulazione, come il *time step*, e la durata della stessa. Dopo l'inserimento di questi *input*, si può procedere con l'interpretazione degli *output*, a simulazione conclusa.

Un'osservazione importante da fare è che talvolta, a simulazione conclusa, sembra che i risultati prodotti in *FARSITE* non rispecchino quelli attesi. Ad esempio può risultare che la velocità di propagazione (ROS) sia maggiore o minore rispetto a quella realmente verificatasi.

Queste difformità non sono date da imprecisioni del *software*, ma sono causate da errori presenti negli *input* che gli sono forniti. Le informazioni di cui *FARSITE* ha bisogno sono molte e con numerose variabili. E' quindi possibile che si verifichino degli errori in questa fase della simulazione. Qualora ciò avvenisse, è consigliabile utilizzare il processo di calibrazione, così com'è supportato dal *software* nel suo *tutorial*. Per questa simulazione non è stato necessario intervenire con la calibrazione, poiché i risultati si sono quasi subito dimostrati corretti e non c'è stato bisogno di intervenire a livello degli *input*.

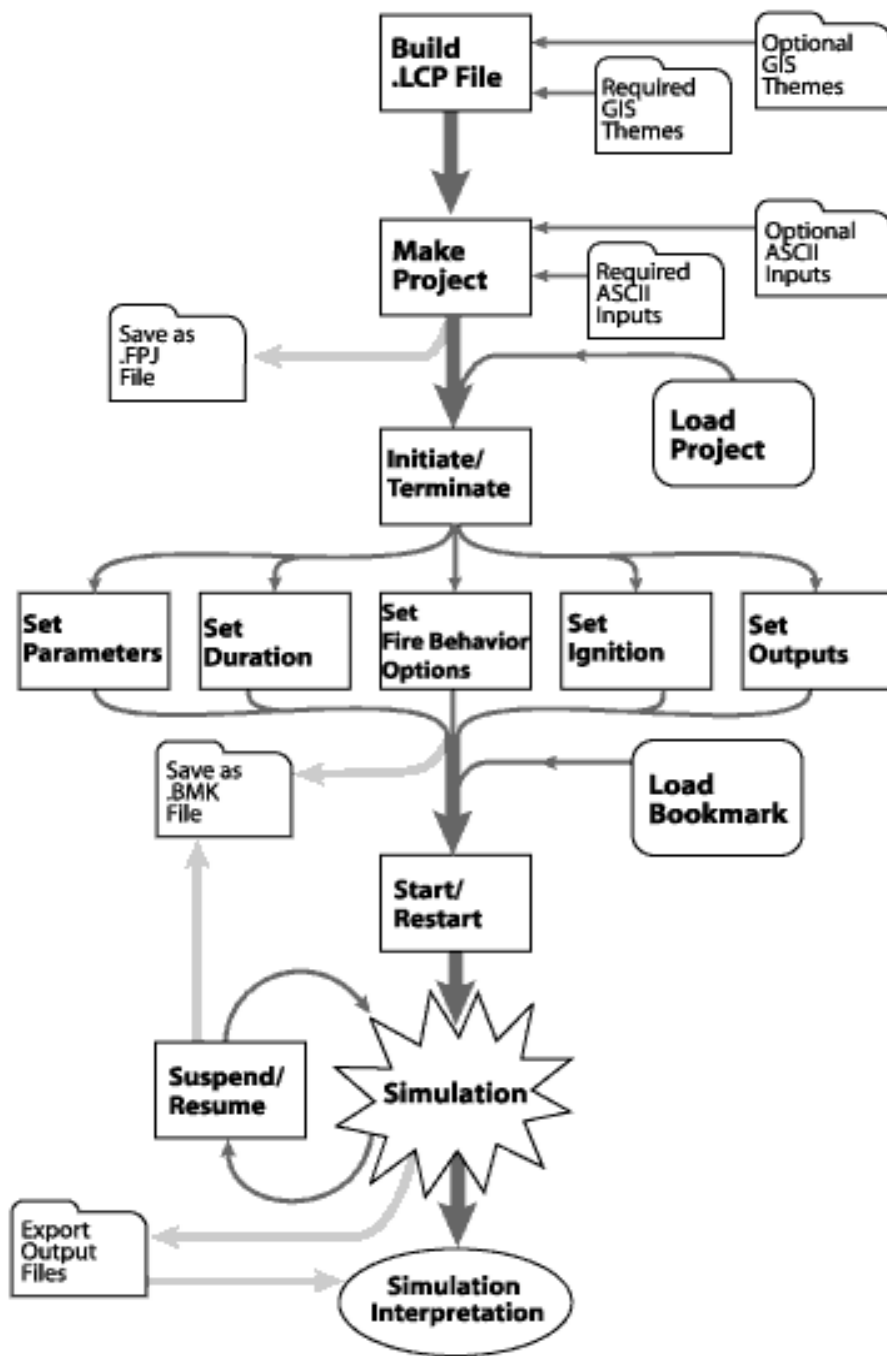


Figura 3.8. Schema generale di una simulazione in *FARSITE*

## 4.1 INSERIMENTO DEGLI *INPUT* IN *FARSITE*

*FARSITE* è in grado di fornire informazioni sul comportamento di un incendio che sono spazializzate rispetto ad una determinata porzione di paesaggio. Per consentire al *software* di procedere nel suo scopo, prima di tutto l'utente gli deve fornire i dati concernenti l'area geografica di riferimento chiaramente anch'essi spazializzati. Questi dati che *FARSITE* utilizza sono contenuti all'interno di un unico file denominato file *Landscape* con estensione .LCP.

Questi temi specifici orografici sono dati di tipo *raster* precedentemente ottenuti grazie a programmi GIS a partire dal DEM (modello digitale del terreno), per quanto concerne l'orografia terreno, e dalla Carta Forestale Regionale digitale, opportunamente integrata, per gli aspetti riguardanti i modelli di combustibile. In particolare nella realtà veneta, questi dati *raster* sono stati ottenuti grazie all'utilizzo dell'estensione *Spatial Analyst* del *software* ArcView GIS 3.3 (Esri).

### 4.1.1 GENERARE IL FILE LANDSCAPE

Il file *Landscape* (.LCP) (Figura 3.9) è un file richiesto per ogni simulazione in *FARSITE* e contiene informazioni di carattere orografico fornite dai temi *raster* importati da un *software* GIS. Ogni dato *raster* deve essere in formato *ASCII* e di estensione 10 m e ognuno di essi deve avere la medesima risoluzione spaziale e le stesse dimensioni in maniera da essere perfettamente sovrapponibile agli altri. Di seguito si riporta una descrizione di questi temi su cui *FARSITE* svilupperà la simulazione per l'incendio verificatosi sul Monte Ongarine:

- Quota (*elevation*) : la quota della zona interessata, espressa in metri sul livello del mare, è un dato che viene utilizzato per l'aggiustamento adiabatico della temperatura e dell'umidità a partire dalla quota alla quale questi parametri sono stati misurati;



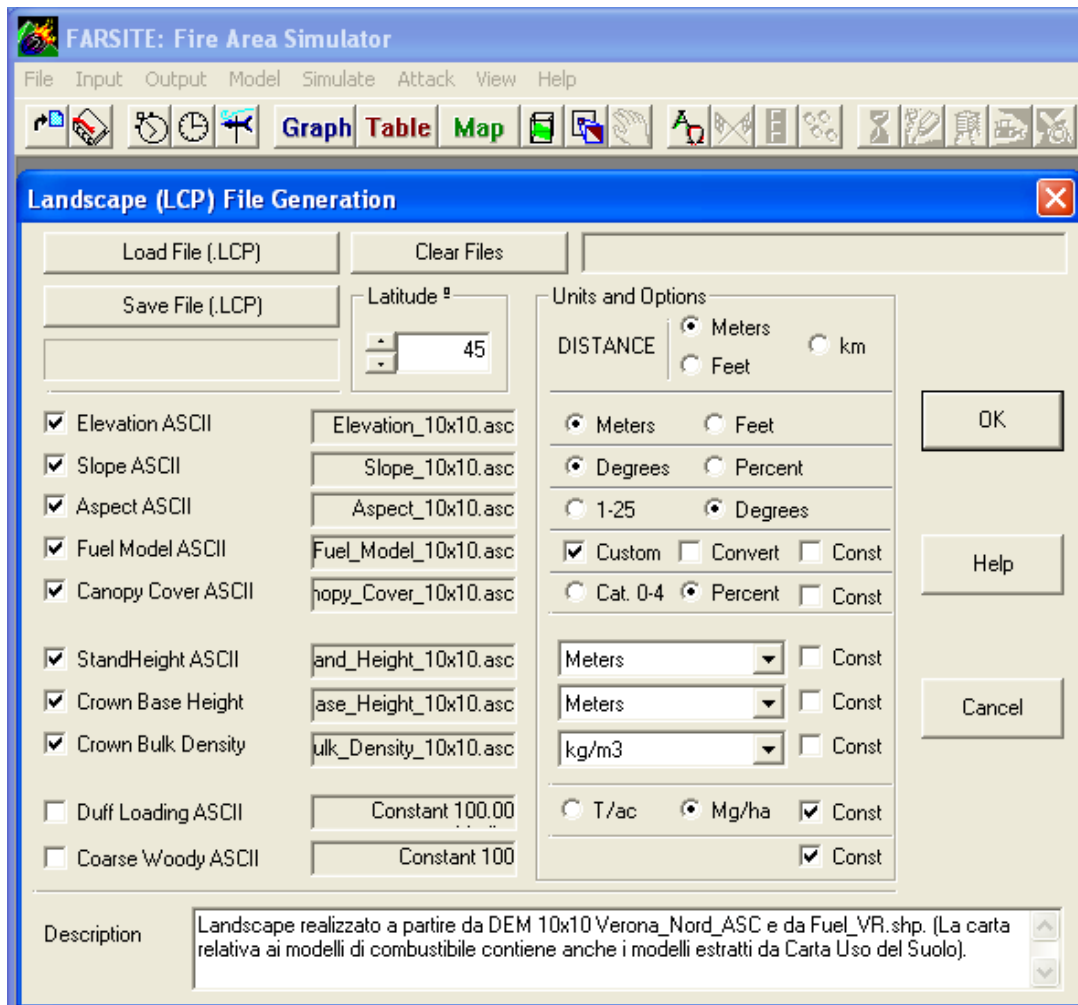


Figura 3.9: Modulo *Landscape File Generation* con tutti i dati raster inseriti per la creazione del file *Landscape* (.LCP).

- Pendenza (*slope*): la pendenza, espressa in gradi (come nell'esempio della nostra simulazione) o in percentuale, influisce considerevolmente sulla crescita di un incendio e soprattutto sulla sua forma. Inoltre, insieme all'esposizione, il dato pendenza viene utilizzato per determinare l'angolo della radiazione solare incidente e per proiettare la velocità di diffusione e la direzione superficiale, riferite ad un piano inclinato, a coordinate orizzontali) (Figura 3.10);

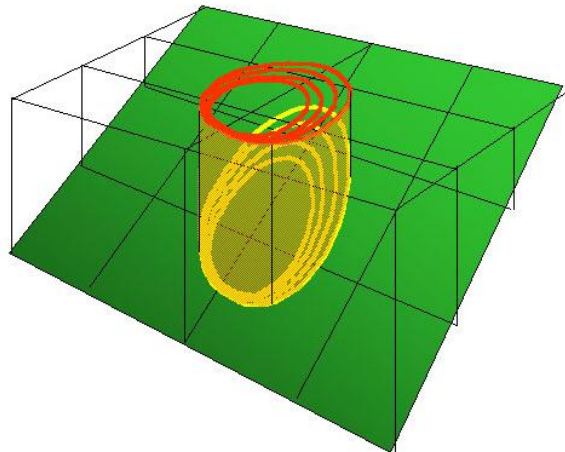


Figura 3.10: la velocità di diffusione e la direzione superficiale, riferite ad un piano inclinato, vengono proiettate a coordinate orizzontali.

- Esposizione (*aspect*): esprime, in gradi azimut, la direzione del versante rispetto al nord. È un dato di notevole importanza insieme alla pendenza;
- Modello di combustibile (*fuel model*): descrizione fisica del complesso superficiale di combustione atto a determinare il comportamento del fuoco superficiale. Lo scopo dei modelli di combustibile è quello di standardizzare in gruppi con caratteristiche simili e codificate i tanti tipi di popolamenti vegetali che si incontrano in natura. In altre parole un modello di combustibile serve a parametrizzare il combustibile da un punto di vista pirologico. *FARSITE*, come del resto gli altri modelli matematici predittivi, in base a detti parametri elaborerà le modalità di avanzamento del fuoco.;
- Copertura di chioma (*canopy cover*): dato, espresso in percentuale, utilizzato per determinare l'ombreggiamento medio sul combustibile di superficie. Informazione che influisce sulla determinazione dell'umidità del combustibile. Inoltre serve a determinare il fattore di riduzione che diminuisce la velocità del vento da una velocità

di riferimento del flusso d'entrata ad un livello che effettivamente influisce sul fuoco superficiale.

I dati relativi alla quota, la pendenza e l'esposizione sono stati elaborati dal DEM, maglia 10 m, ricavato dalla CTR scala 1:5000 della Regione del Veneto, mentre i modelli di combustibile e la copertura delle chiome sono stati ricavati dalla Carta Forestale del Veneto integrata grazie alla correlazione che il prof. Del Favero ha individuato tra le tipologie forestali della Regione del Veneto e i modelli di combustibile classificati negli anni '90 in provincia di Vicenza. (Del Favero *et al.* 2000).

Oltre a questi cinque temi orografici appena descritti, che sono essenziali per poter caricare il file *Landscape* (.LCP) e quindi senza i quali la simulazione non può avere luogo, ne esistono altri cinque considerati opzionali ma che permettono all'operatore di simulare in modo più accurato il comportamento dell'incendio. Questi dati sono:

- Altezza delle piante (*stand height*), espressa in metri. Influisce sul relativo posizionamento di un profilo logaritmico del vento. Insieme alla copertura di chioma, influenza: il fattore di riduzione del vento, la posizione di partenza dei tizzoni ardenti lanciati dagli alberi in fiamme durante il fenomeno dello *spotting*, e la traiettoria degli stessi lungo il profilo del vento;
- Altezza di inserzione delle chiome (*crown base height*), espressa anch'essa in metri. Descrive la distanza verticale tra la superficie del suolo e la base della chioma viva degli alberi che viene considerata combustibile. Questo dato viene utilizzato insieme a quello che descrive l'intensità del fuoco di superficie e con il valore di umidità fogliare, per determinare la soglia di intensità limite delle fiamme oltre la quale un incendio superficiale con buona probabilità passerà in chioma;
- Densità del volume di chioma (*crown bulk density*): determina la soglia che deve essere superata per assistere al passaggio da incendio di chioma passivo a incendio di chioma attivo. Dato espresso in  $\text{kg/m}^3$ .
- Carico di lettiera (*duff loading*): esprime la quantità di humus presente al suolo in  $\text{Mg/ha}$

- Combustibile 1000h (*coarse woody*): per combustibile 1000h si intende il combustibile morto a terra di grandi dimensioni, come tronchi schiantati, ceppaie sradicate e ramaglia di maggior diametro.

Questi ultimi due temi, il carico di humus e di combustibile 1000h, sono dati necessari per la simulazione della combustione post – frontale, ovvero per la combustione che si verifica dopo il passaggio dell' incendio e che quindi si trova dietro il fronte fuoco. La *Post-Frontal Combustion* è una funzionalità di *FARSITE* che permette di simulare il flusso di calore e le emissioni causate dalla combustione, così da poter calcolare la produzione di polveri e fumo e la produzione di calore nel suolo, per poterne poi valutare gli effetti. Purtroppo questa funzionalità non è ancora stata testata in Regione del Veneto in quanto mancano i dati di origine per poter procedere. Quindi nel file *Landscape* del Monte Ongarine, questi ultimi due temi sulla combustione post – frontale non sono presenti.

Tutti i dati fin'ora descritti vengono inseriti manualmente in *FARSITE* all' interno della finestra di dialogo *Landscape File Generation*, ottenendo come risultato un modulo così come appare in Figura 3.9.

Si noti che nella parte superiore della finestra di dialogo viene richiesto di specificare la latitudine in gradi (il dato latitudine verrà utilizzato da *FARSITE* per il calcolo della radiazione solare massima incidente) e di scegliere l'unità di misura.

Importante è osservare come i file ASCII Elevation, Slope, Aspect, cioè quelli necessari ai fini della definizione dell'orografia del territorio, siano indispensabili, mentre per quanto riguarda i restanti file si può optare per l'attribuzione di un valore costante per l'intero *Landscape* (Tabella 3.1).

<b>Temi file</b>	<b>Necessari</b>	<b>Unità di misura</b>
Quota (elevation)	si	m
Pendenza (slope)	si	percentuale o gradi
Esposizione (aspect)	si	gradi Azimut
Modello di combustibile (fuel model)	si	Nessuna
Copertura di chioma (canopy cover)	si	percentuale
Altezza degli alberi (tree height)	no	m
Altezza di inserzione di chioma (crown base height)	no	m
Densità del Volume di chioma (crown bulk density)	no	kg/m <sup>3</sup>
Carico di humus (duff loading)	no	Mg/ha
Carico combustibile 1000h (coarse woody)	no	nessuna

Tabella 3.1: Dati raster contenuti all' interno di un unico file *Landscape*

## 4.1.2 COSTRUIRE UN PROGETTO *FARSITE*

Assieme al file *Landscape* (.LCP) esistono numerosi altri file che devono essere creati e caricati in *FARSITE* per una simulazione.

Un progetto *FARSITE Project* (con estensione .FPJ) contiene tutti questi file *input* di cui si ha bisogno per effettuare una simulazione; quindi oltre ai file relativi all'orografia, specificati nel *Landscape*, il Progetto dovrà caratterizzare i combustibili e le condizioni meteorologiche dell'area oggetto di studio. Questi *input* sono disposti nell'interfaccia grafica del file *Project* (.FPJ) come si vede in Figura 3.11

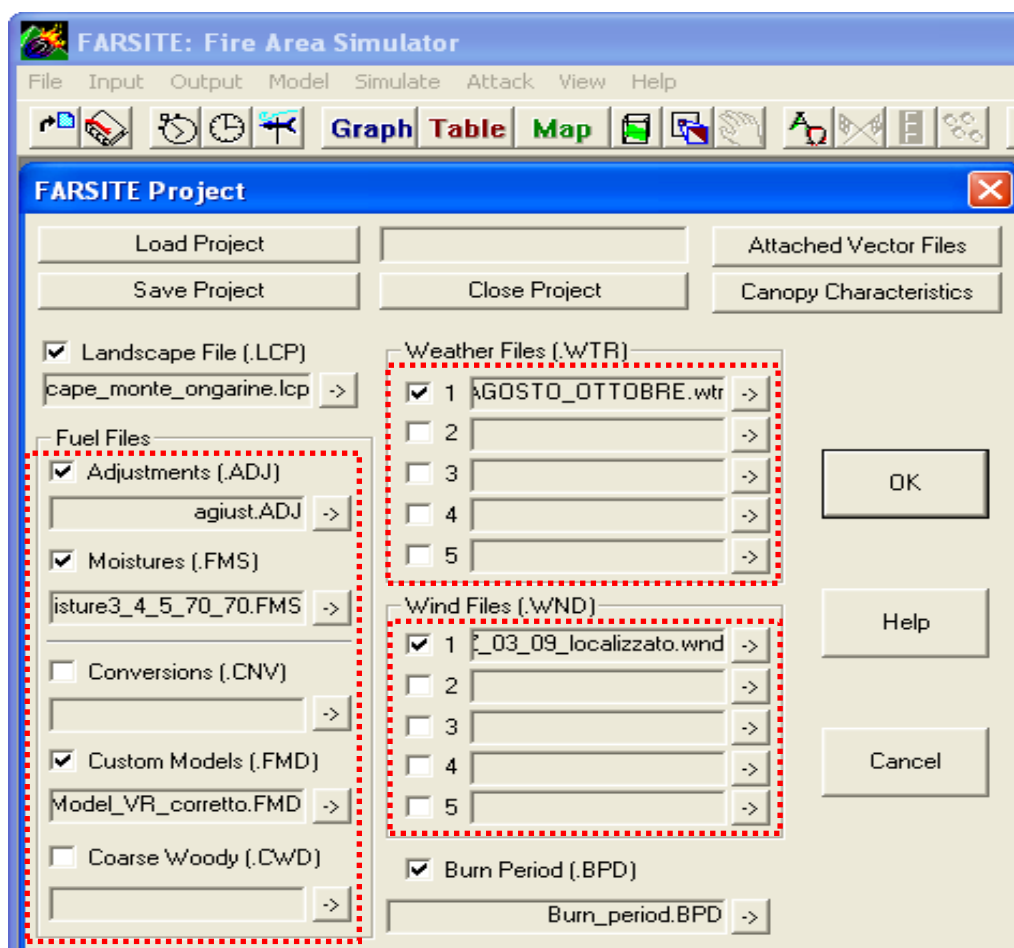


Figura 3.11: File *Project* (.FPJ) in *FARSITE* e i corrispettivi file che lo compongono, che si suddividono in *Fuel Files*, *Weather Files* e *Wind Files*.

Di seguito, si descrivono nello specifico questi temi che, insieme al file *Landscape* (.LCP) generato precedentemente, compongono un progetto in *FARSITE*.

I temi che formano il file *Project* (.FPJ) si suddividono in tre categorie principali: file del combustibile, file meteorologici e file sul vento.

Per quanto riguarda i file del combustibile si distinguono:

1. *Adjustment* file (file adeguamento) con estensione .ADJ: file che riporta dei fattori di correzione che talvolta bisogna apportare alla velocità di propagazione dell' incendio (*ROS*) simulato in *FARSITE* in quanto a volte quella che il *software* fornisce può risultare sovrastimata o sottostimata rispetto a quella che si avrebbe in un contesto reale. Questa correzione che si applica può essere  $< 1$  o  $> 1$  : se si vuole diminuire la velocità simulata, il fattore da applicare sarà  $< 1$ , in caso contrario  $> 1$ . Nell'ipotesi non vi sia necessità di applicare fattori di correzione, il file .ADJ presenta al suo interno valori uguali a 1 per tutti i modelli di combustibile considerati. Per la simulazione sul Monte Ongarine, il fattore di correzione è stato considerato uguale a 1 (Figura 3.12).
2. *Moisture* file (file umidità iniziale del combustibile) con estensione .ADJ: questo file contiene dei valori che indicano l' umidità iniziale del combustibile per ogni modello. Il file sull'umidità iniziale del combustibile fornisce valori di umidità per quanto riguarda il combustibile 1h, 10h, 100h e il combustibile formato da componente viva erbacea e componente viva legnosa . In Figura 3.13 si riportano i valori considerati per la simulazione Monte Ongarine.
3. *Conversion* file (file conversione) con estensione .CNV: file di conversione che serve per assegnare un modello di combustibile ad un determinato record. Questo file è necessario per poter creare una corrispondenza biunivoca tra il modello di combustibile nel tema GIS del file *Landscape* .LCP ed i parametri standardizzati del combustibile che vengono memorizzati nei record del file *Custom models* (.FMD) o ai modelli standard. E' una sorta di interfaccia tra il file spaziale *Fuel\_model.ASCII* del *Landscape* ed il *Custom\_models.FMD* del Progetto

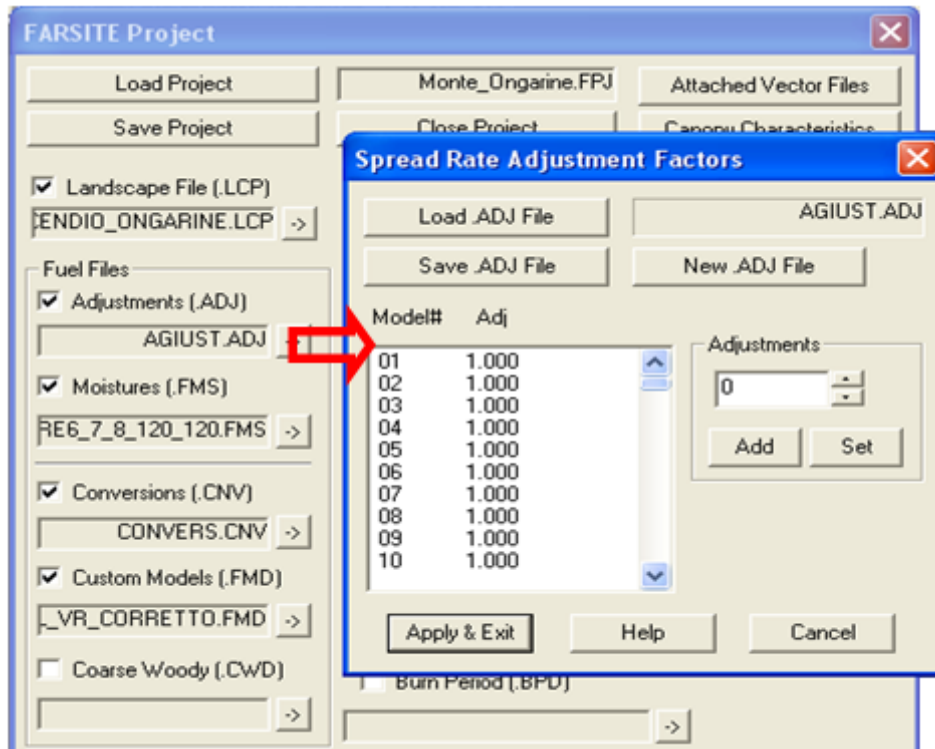


Figura 3.12: *Adjustment* file per la simulazione Monte Ongarine

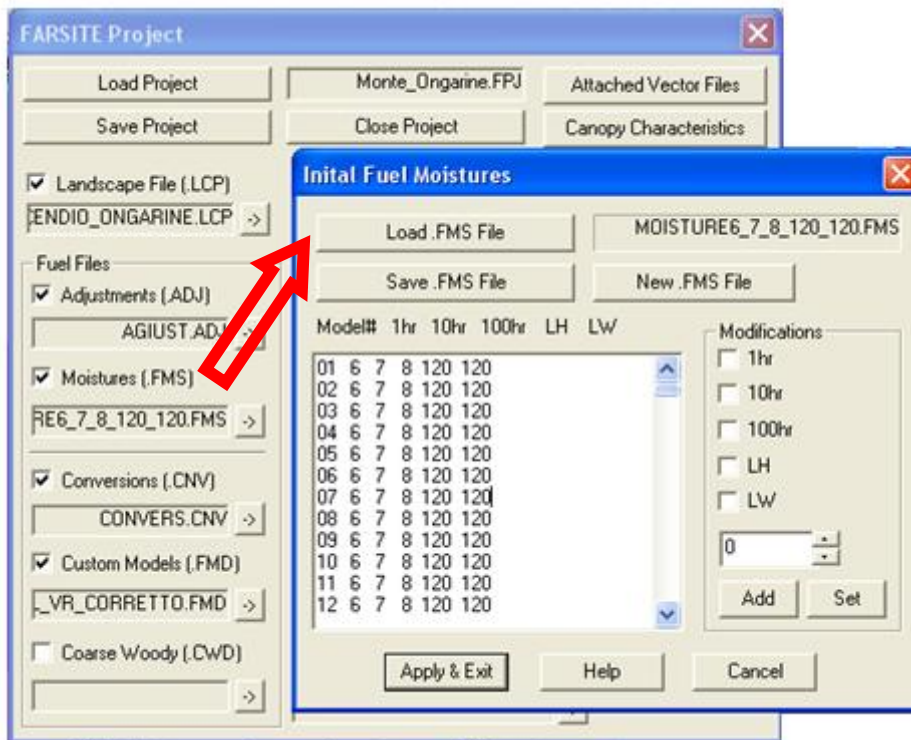


Figura 3.13: Umidità iniziale del combustibile per la simulazione Monte Ongarine



4. *Custom models* file (file modelli del combustibile personalizzati) con estensione .FMD: in questo file è possibile inserire manualmente dei modelli di combustibile personalizzati (Figura 3.14). *FARSITE* in questa sezione permette di intervenire direttamente dando la possibilità all'operatore di ricreare le condizioni di combustibile così come si troverebbero in natura. Nel file *Landscape* .LCP sono state inserite informazioni che collegano un numero ad un particolare modello di combustibile che si trova in una determinata cella di 100 m<sup>2</sup> di area. Con il file *Custom models* (.FMD) è quindi possibile attribuire un significato pirologico a questi modelli, in quanto i record del file, uno per ciascun modello, specificano i valori che esprimono, nell'ordine:

- Il carico dei combustibili morti 1 ora, 10 ore, 100 ore espresso in Mg/ha. Questa suddivisione dei combustibili in tre classi è relazionata al tempo di latenza o ritardo (*timelag*) ovvero al tempo necessario al combustibile legnoso per raggiungere il 63% della dell' umidità di equilibrio con le condizioni ambientali (Leone *et al.* 2009). Ovviamente il tempo di latenza è strettamente correlato alla dimensione del combustibile morto, per cui i combustibili che impiegano solo un'ora a recuperare il 63% di questa differenza hanno dimensioni piccole con diametri inferiori ai 6 mm . Questa tipologia di combustibile, detta anche *flash fuel* brucia velocemente e ha basso potenziale calorico. Nella categoria 10h sono compresi tutti quei combustibili che impiegano 10 ore a recuperare l'umidità perduta rispetto a quella di equilibrio, e sono di dimensioni medie con diametri compresi tra i 6 mm e i 25 mm. L' ultima categoria 100h racchiude i combustibili di diametro maggiore a 25 mm e rappresentano la maggior parte dei combustibili importanti per il propagarsi dell'incendio;
- Il carico dei combustibili vivi erbacei e legnosi, espresso in Mg/ha;
- Se il modello di combustibile è statico o dinamico. Quando si ha un modello di combustibile statico, solo la componente vegetazionale secca partecipa alla combustione. Se il modello di combustibile è invece dinamico, si considera partecipare alla combustione anche una certa componente di materia vegetale viva che varia in base alla sua umidità. In fase di predisposizione nella creazione dei modelli, viene stabilito per ognuno di essi se è statico o dinamico;
- Il rapporto Superficie / Volume dei combustibili 1h, del combustibile vivo erbaceo e di quello vivo legnoso , espresso in m<sup>-1</sup>;

- Lo spessore del letto di combustibile, espresso in cm;
- L'umidità di estinzione in percentuale del combustibile, ovvero il limite superiore dell'umidità del combustibile oltre il quale il fuoco non si propaga più uniformemente;
- Il potenziale calorico rilasciato dal combustibile morto e da quello vivo, espresso in kJ/kg

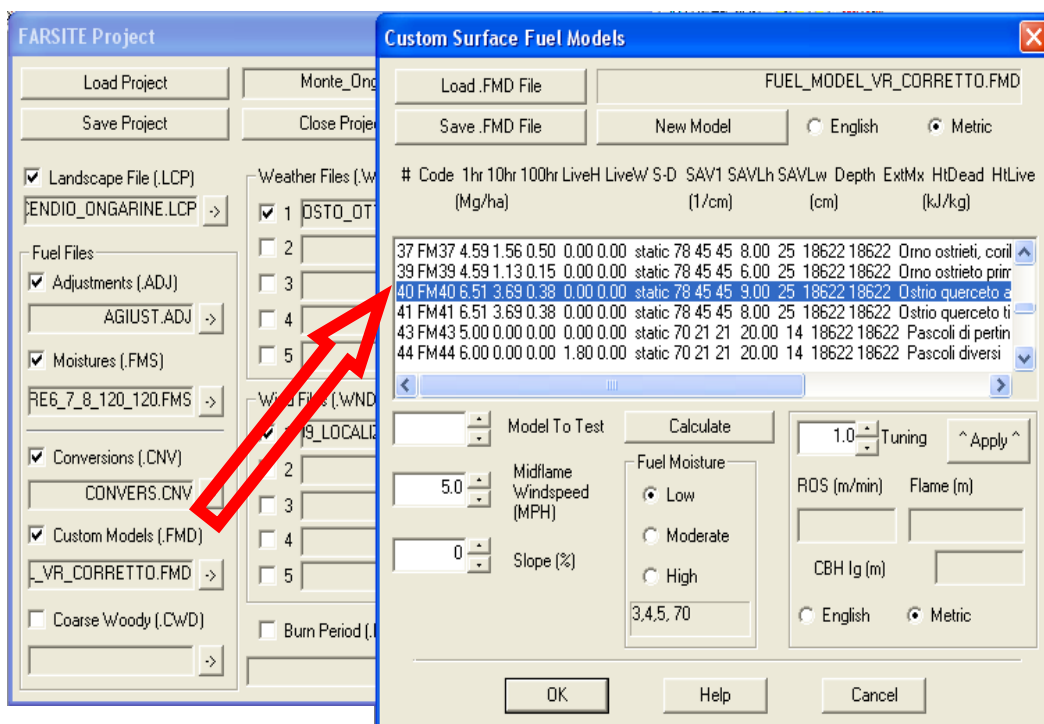


Figura 3.14: Modelli di combustibile personalizzati per l'incendio di Monte Ongarine all'interno del file *Custom models* (.FMD).

#	codice	Comb. morti			Comb. Vmi		Statico / dinamico	Rapporto SV			Spessore Depth	U di estinzione E-xMx %	Potenziale calorico		
		1 hr Mg/ha	10 hr Mg/ha	100 hr Mg/ha	Erbacei LliveH Mg/ha	Legnosi LliveW Mg/ha		S/D	SAV1 1/cm	SAM.h 1/cm			SAM.W 1/cm	HDDead kJ/kg	
14	FM14	1,0,4	2,39	0,33	0	0	S	86	49	49	5	30	18622	18622	Albiceti
16	FM16	3,64	1,51	0	0	1,05	S	57	49	15	10	25	18622	18622	Aceri frassineti
18	FM18	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	10	10	10	25	18622	18622	Arbusteto costiero
20	FM20	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	10	25	18622	18622	Betuleto
21	FM21	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	10	25	18622	18622	Boschi ripariali
22	FM22	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	10	25	18622	18622	Castagneti mesici e con frassino
23	FM23	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	10	25	18622	18622	Castagneti dei suoli acidi magnafici
24	FM24	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	10	25	18622	18622	Castagneto xerico
26	FM26	8,23	1,16	0	0	0	S	86	49	49	4	30	18622	18622	Faggata altimontana tipica
27	FM27	0,92	6,05	20,95	0	0	S	86	49	49	27	20	18622	18622	Formazione antropogena di pino nero
29	FM29	8,23	1,16	0	0	0	S	86	49	49	4	30	18622	18622	Faggate montane tipica, esomesatica e mesalpica
30	FM30	8,23	1,16	0	0	0	S	86	49	49	4	30	18622	18622	Faggate primitive di rupe e in falda detritica
31	FM31	8,23	1,16	0	0	0	S	86	49	49	4	30	18622	18622	Faggata submontana dei suoli acidi
32	FM32	8,23	1,16	0	0	0	S	86	49	49	4	30	18622	18622	Faggata submontana dei suoli mesici
33	FM33	8,23	1,16	0	0	0	S	86	46	49	4	30	18622	18622	Faggate submontana tipica e con ostria
34	FM34	3,94	0,55	0	0	2,74	S	57	49	15	5	25	18622	18622	Lariceti e Larici_cembretti_con_Abete_rosso
36	FM36	5,4	0,6	0	0	12,85	S	57	49	15	30	25	18622	18622	Mughete
37	FM37	4,59	1,56	0,5	0	0	S	82	49	49	8	25	18622	18622	Ormo ostrieti, conieto
39	FM39	4,59	1,13	0,15	0	0	S	82	49	49	6	25	18622	18622	Ormo ostrieto primitivo di rupe
40	FM40	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	9	25	18622	18622	Ostrio quereto a scotano
41	FM41	6,51	3,69	0,38	0	0	S	82	49	49	8	25	18622	18622	Ostrio quereto tipico
43	FM43	5	0	0	0	0	S	74	25	25	20	14	18622	18622	Pascoli di pertinenza di Maiga
44	FM44	6	0	0	1,8	0	S	74	25	25	20	14	18622	18622	Pascoli diversi
46	FM46	7,21	1,36	0	1,8	0	S	65	49	49	4	30	18622	18622	Pecceate
48	FM48	3,64	1,51	0	0	1,05	S	57	49	15	9	25	18622	18622	Quercu carpinati e Capinati
58	FM58	4,59	1,56	0,5	0	0	S	82	49	49	8	25	18622	18622	Ormo-ostrieto con leccio
59	FM59	3,63	1,5	0	0	1,05	S	82	49	49	3,35	25	18622	18622	Robiniati
60	FM60	4,5	1,5	0,5	0	0	S	86	49	49	4,8	25	18622	18622	Impianto di latifoglie
66	FM66	5	0	0	0	0	S	80	20	10	20	15	18622	18622	Sup copertura erbac. gram. non sogg. a rotazione
68	FM68	5	0	0	0	0	S	80	20	10	20	15	18622	18622	Superfici a prato permanente
71	FM71	1,5	0	0	3	0	S	80	20	10	15	20	18622	18622	Frutteti e vigneti
72	FM72	1	0	0	3	0	S	80	20	10	15	20	18622	18622	Oliveti
75	FM75	0,3	0	0	1	0	S	80	20	10	15	20	18622	18622	Sistemi colturali e particellari complessi
78	FM78	1,5	0	0	3	0	S	80	20	10	15	20	18622	18622	Bosco di Latifoglie
88	FM88	15	50	75	0	0	S	49	49	49	100	25	20000	20000	Discarica
205	FM205	4	0	0	0	0	S	80	20	10	20	15	18622	18622	Area vegetazione rada
206	FM206	3	0	0	1	0	S	80	20	10	20	15	18622	18622	Area verdi urbane

Tabella 3.2: Modelli di combustibile utilizzati per la simulazione Monte Ongarine con i dati richiesti dal file *Custom models* (.FMD)

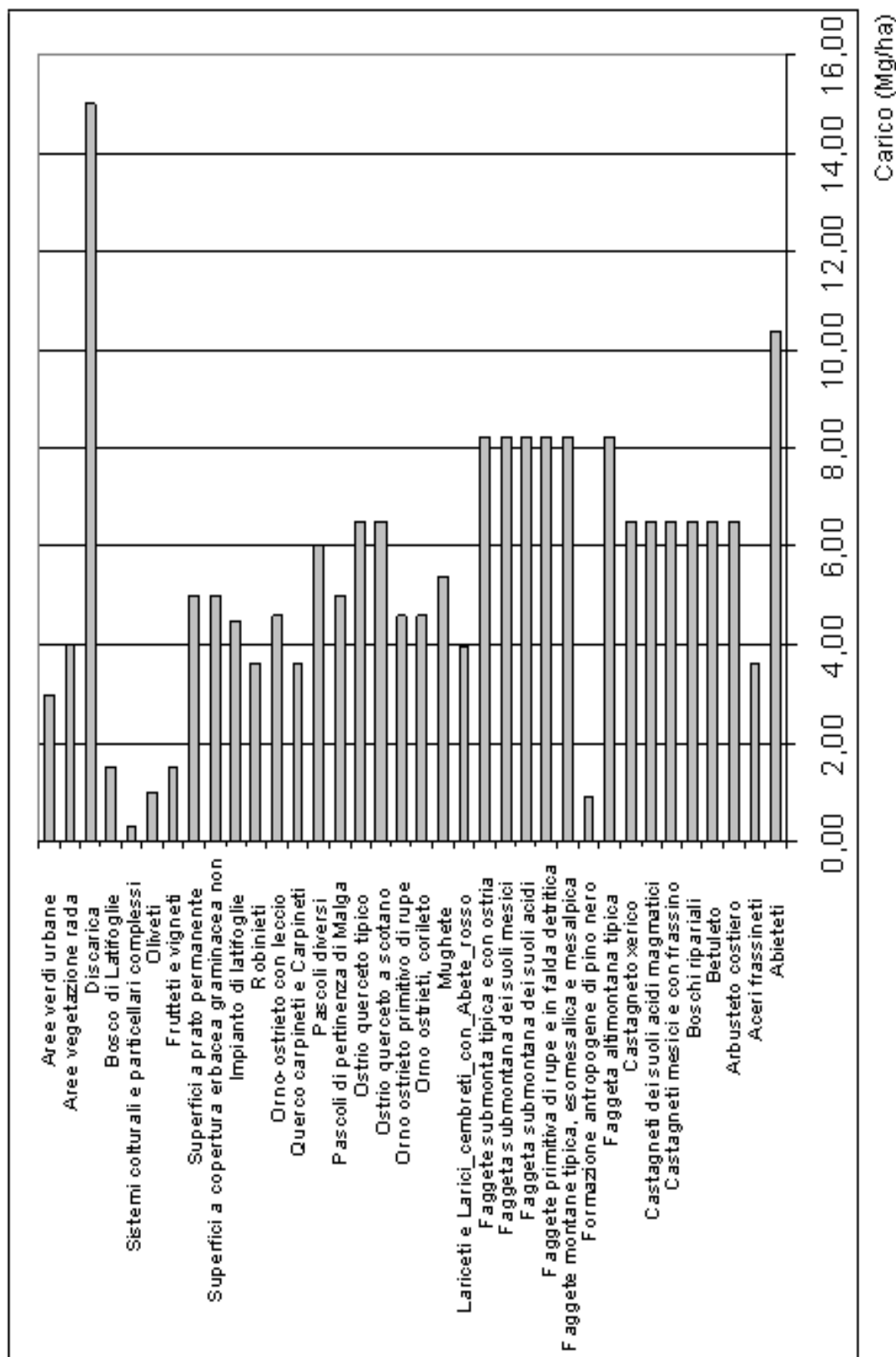


Tabella 3.3: Confronto del carico di combustibili morti 1h in base ai diversi modelli.

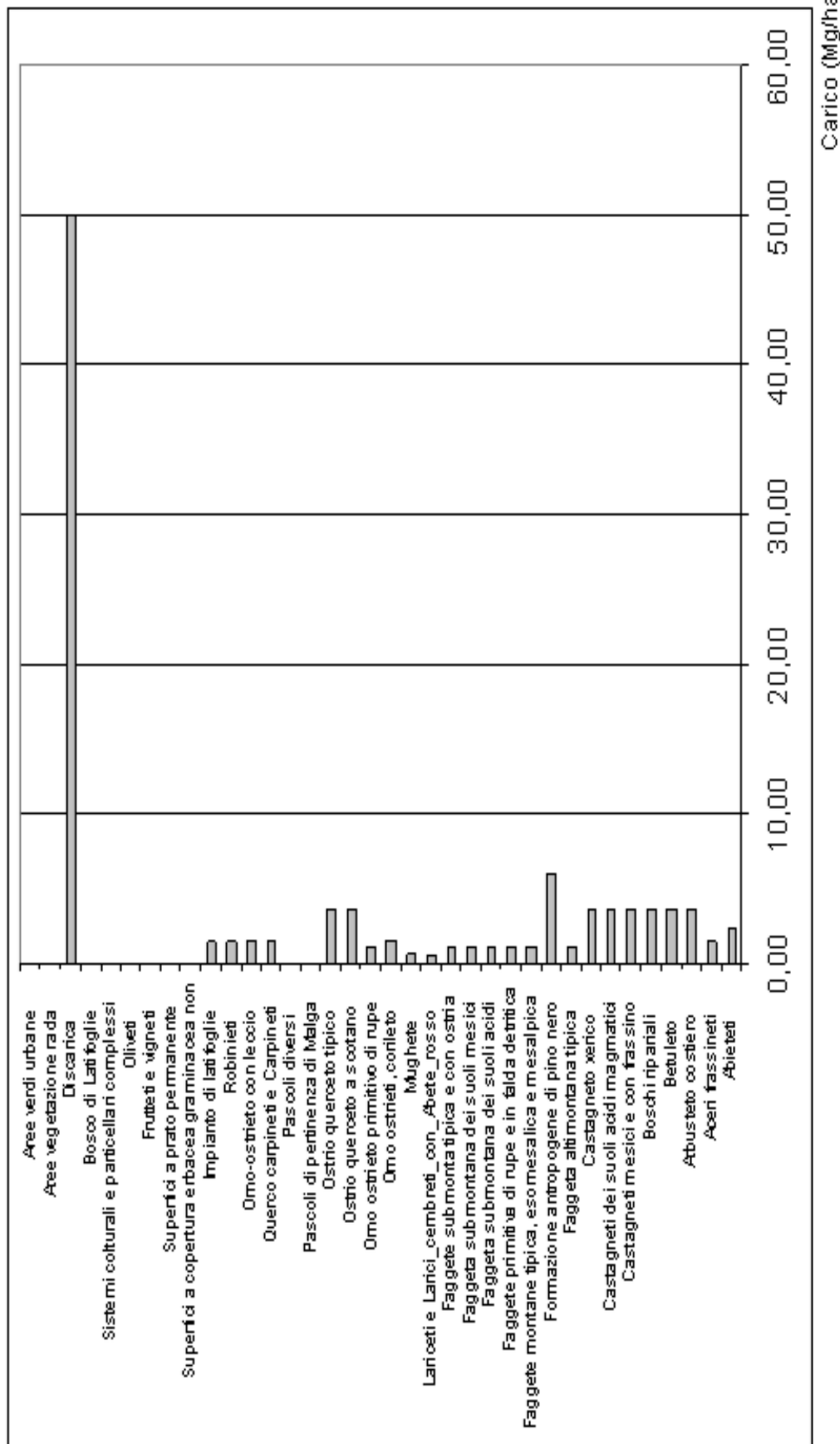


Tabella 3.4: Confronto del carico di combustibili morti 10h in base ai diversi modelli.



5. *Coarse woody* file (file combustibili 1000h) con estensione .CWD: questo file è un tema opzionale all'interno del progetto *FARSITE* e contiene i dati che descrivono ogni profilo dei combustibili 1000h che si trovano nel tema *Coarse woody* nel file *Landscape* (.LCP). dato che non si dispone dei dati d'origine, per la simulazione sul Monte Ongarine questo record non è stato utilizzato.:

Fin'ora sono stati descritti i file riguardanti i dati del combustibile. Importanti per la creazione del progetto in *FARSITE* sono anche i file meteorologici e del vento. I dati sono stati forniti dalle stazioni meteo del centro ARPA del Veneto.

1. *Weather* file (file sul meteo) con estensione .WTR: Il file *Weather* (.WTR) contiene osservazioni giornaliere della temperatura, dell'umidità e delle precipitazioni dell'area oggetto di studio. Questi dati rappresentano l'andamento nel tempo delle condizioni meteorologiche. Sarebbe possibile inserire cinque record con cinque flussi atmosferici differenti. Per la simulazione sul Monte Ongarine si è scelto di utilizzarne solo uno in quanto fa riferimento ad un'unica stazione meteorologica ARPAV. I dati che si trovano all'interno dei file *Weather* (.WTR) riguardano il giorno e il mese dei rilevamenti, i mm di pioggia caduti nelle ultime ventiquattro ore, l'ora in cui è stata registrata la temperatura minima e quella che ha rilevato quella massima, la corrispondente temperatura minima e massima espressa in gradi Celsius, i due valori di umidità espressi in percentuale corrispondenti alla temperatura minima e massima rilevati durante il giorno, e in ultimo la quota espressa in metri sul livello del mare (Figura 3.15). I dati meteorologici vengono utilizzati da *FARSITE* per modellare le variazioni di umidità del combustibile morto che si verificano a causa delle differenti situazioni orografiche e di ombreggiatura .

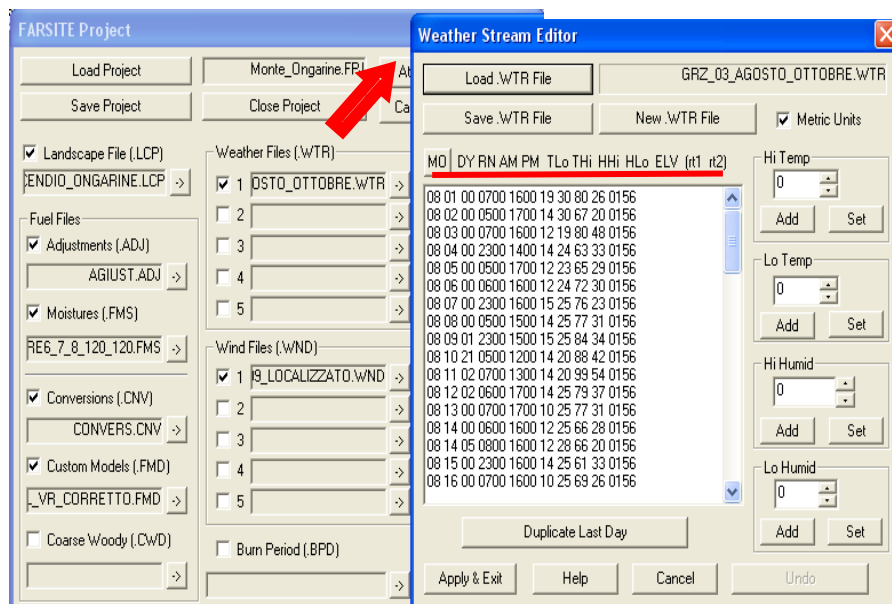


Figura 3.15: I dati meteo utilizzati per la simulazione Monte Ongarine

2. *Wind* file (file velocità e intensità del vento) con estensione .WND: Il file *Wind* (.WND) riporta un flusso di dati che descrivono la direzione e la velocità del vento in una determinata area. Come per file *Weather*, è possibile inserire fino a cinque record di file (.WND) ma come per i primi, avendo utilizzato un'unica stazione meteo ARPAV, nella simulazione il flusso di dati è stato limitato ad un unico file.

Da sottolineare, per quanto riguarda i file (.WND), è che *FARSITE* nonostante consenta di tener conto della variabilità del vento variabile nel tempo, lo considera costante nella spazio, ovvero non tiene in considerazione gli effetti che l'orografia di un territorio e della vegetazione può avere sulla direzione e intensità del vento. La spazializzazione del vento è, eventualmente possibile se si utilizzano altri *software*. Il file *Wind* (.WND) è strutturato nel seguente modo: in un file ASCII sono inseriti il giorno, il mese e l'ora del rilevamento, poi successivamente la velocità (km/h) e la direzione (gradi in senso orario da nord) del vento, e in ultimo la copertura nuvolosa espressa in percentuale da 0 per cielo completamente sereno a 100 per cielo completamente coperto (Figura 3.16). ARPAV non rileva il dato concernente la copertura nuvolosa ma soltanto quello relativo alla radiazione solare. Per ovviare al problema si è pertanto provveduto ad individuare i valori di radiazione massima registrata. Allo scopo sono stati considerati tutti i dati forniti da ARPAV relativi a serie storiche di 20 anni (per tutte le Stazioni e 10 anni per la stazione di Bosco Chiesanuova). Rapportando il valore di radiazione registrata a quello di radiazione massima storica relativa a quel giorno e a quell'ora è stato calcolato, in maniera indiretta (Cesti comunicazione personale) il grado di copertura nuvolosa. Con riferimento all'incendio



oggetto di simulazione, le fotografie in cui si vedono porzioni di cielo confermano l'attendibilità del metodo. (Bacchini (b), comunicazione personale).

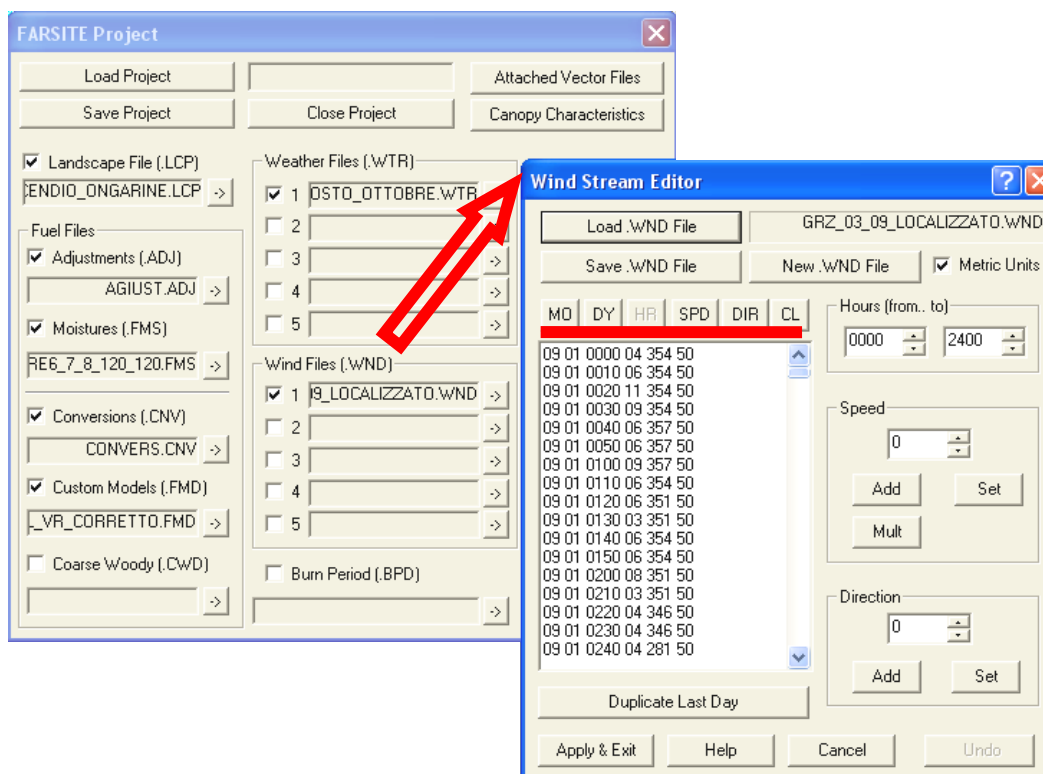


Figura 3.16: I dati del vento utilizzati per la simulazione Monte Ongarino

Per concludere la creazione di un file *Project* (.FPJ), oltre alle informazioni meteo, del vento e del combustibile vi è la possibilità di aggiungere un ultimo tema opzionale, quello del periodo di attivo della combustione: il file *Burn period*, con estensione (.BPD) (Figura 3.17). Questo file opzionale indica la data e l'ora che indicano l'arco temporale in cui si vogliono far durare i calcoli per la simulazione di un determinato incendio ed è utilizzato per fermare la simulazione durante i periodi che vengono considerati inattivi per gli incendi, come durante periodi molto freddi o durante notti molto umide. Il tutto può aiutare a correggere la tendenza di *FARSITE* a sovrastimare la velocità di sviluppo di un incendio quando le condizioni ambientali in realtà fermerebbero il propagarsi del fuoco. Sebbene il contenuto di umidità nel combustibile secco aumenti di notte o durante periodi nebbiosi sia nella realtà che in *FARSITE*, i modelli sul comportamento di un incendio non sono così sensibili a queste moderate condizioni per predire uno sviluppo delle fiamme pari a zero.

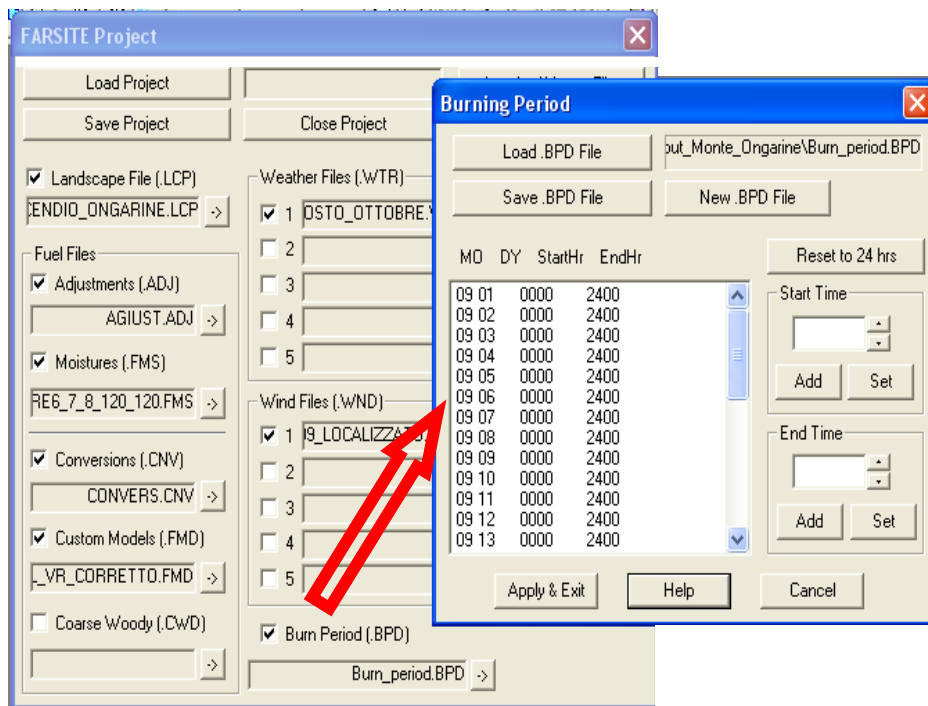


Figura 3.17: file *Burn period* (.BPD) per la simulazione Monte Ongarine

### 4.1.3 STABILIRE I PARAMETRI DELLA SIMULAZIONE

In *FARSITE* è importante conoscere i limiti della simulazione, bisogna quindi programmare la tolleranza che si vuole avere per gli errori che si verificano nel tempo e nello spazio sui calcoli del comportamento del fuoco, ovvero decidere in anticipo quanto frequentemente nel tempo e quanto lontano nello spazio si vuole che il *software* effettui i calcoli sul comportamento dell'incendio. La sezione di *FARSITE* dedicata ai parametri del modello controlla la risoluzione spaziale e temporale della simulazione (Figura 3.18).

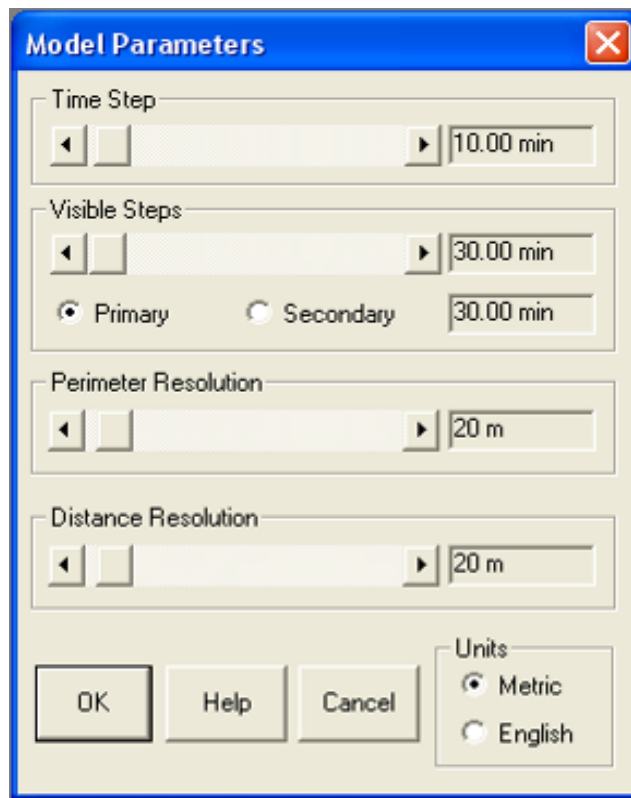


Figura 3.18: Parametri della simulazione scelti per Monte Ongarine

Non esistono a priori dei parametri corretti, in quanto essi si adattano ogni volta allo scopo della simulazione. Compito dell'operatore è di impostarli correttamente in base alle proprie necessità. Nello specifico, questi parametri sono:

- *Time step*: arco temporale massimo relativamente al quale si possono considerare costanti le variabili meteorologiche, del vento e orografiche, durante i calcoli per la simulazione. La posizione del fronte fuoco può essere così ricalcolata e proiettata a quella successive, affinché si possano stabilire i nuovi confini dell'incendio. Il *time step* può essere considerato come un controllo, che *FARSITE* attua sui propri calcoli, sulla distanza di propagazione garantendo che questa sia, per ogni punto dell'incendio, inferiore alla distanza massima tra un *time step* e quello successivo (Figura 3.20). Questo serve perché altrimenti i calcoli sulla propagazione dell'incendio utilizzerebbero automaticamente una scala grossolana di informazioni del paesaggio muovendosi troppo velocemente e ad esempio informazioni importanti relative al territorio come la presenza di un fiume o variazioni a livello del combustibile potrebbero essere ignorate.

Utilizzare *time step* troppo lunghi potrebbe portare a non leggere in maniera adeguata la variabilità spaziale e temporale mentre se si usano *time step* troppo brevi vi è il rischio di mettere in difficoltà il processore, facendogli fare dei calcoli troppo approfonditi. Per gli incendi che si sono verificati in Provincia di Verona si è riscontrato che è consigliabile utilizzare *time step* di 10 minuti, dato che è anche la scansione temporale con cui le stazioni meteorologiche ARPAV rilevano i dati meteorologici e del vento.

- *Visible step*: multiplo del *time step* e che quindi non può essere più breve dello stesso. E' la rappresentazione grafica sotto forma di linea chiusa del *time step* in cui il fronte fuoco viene disegnato al suo interno. Per la simulazione del Monte Ongarine si è scelto di impostare il parametro sui 30 minuti (Figura 3.18). A detta linea possono venire assegnate diverse variabili che descrivono il perimetro del fuoco, in base a colorazioni diverse, come: l' intensità del fronte fuoco, la velocità di propagazione, la lunghezza delle fiamme, il calore liberato per unità di area e l' intensità di reazione (Figura 3.19).

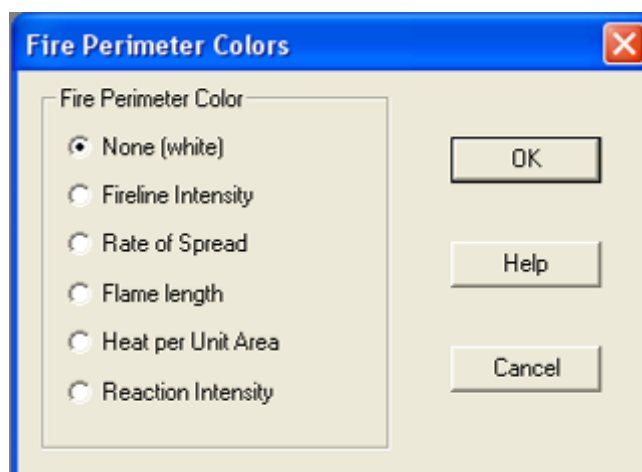


Figura 3.19: Variabili che descrivono il perimetro di un incendio in simulazione

*FARSITE*

- *Perimeter resolution*: La risoluzione del perimetro determina la massima distanza che intercorre tra i punti utilizzati per definire il perimetro dell'incendio (Figura 3.20). Fornisce una risoluzione del fronte fuoco in direzione tangenziale al perimetro in ogni suo punto. Come il perimetro si espande, devono essere inseriti nuovi punti tra i già esistenti vertici per mantenere la definizione voluta del fronte fuoco. Per il lavoro qui riportato si è scelto un valore di 20 metri (Figura 3.18).

- *Distance resolution* : la risoluzione della distanza è la distanza di propagazione massima di un incendio proiettata da un qualsiasi punto del perimetro (Figura 3.20). E' la risoluzione in direzione radiale di ogni punto e definisce la distanza massima che un fuoco può raggiungere durante il suo spostamento durante uno *time step* senza richiedere nuove informazioni dal paesaggio. Per la realtà Veneta, conviene impostare il parametro con valore pari a 20 metri (Figura 3.18). Questo valore non può essere maggiore di quello della risoluzione del perimetro.

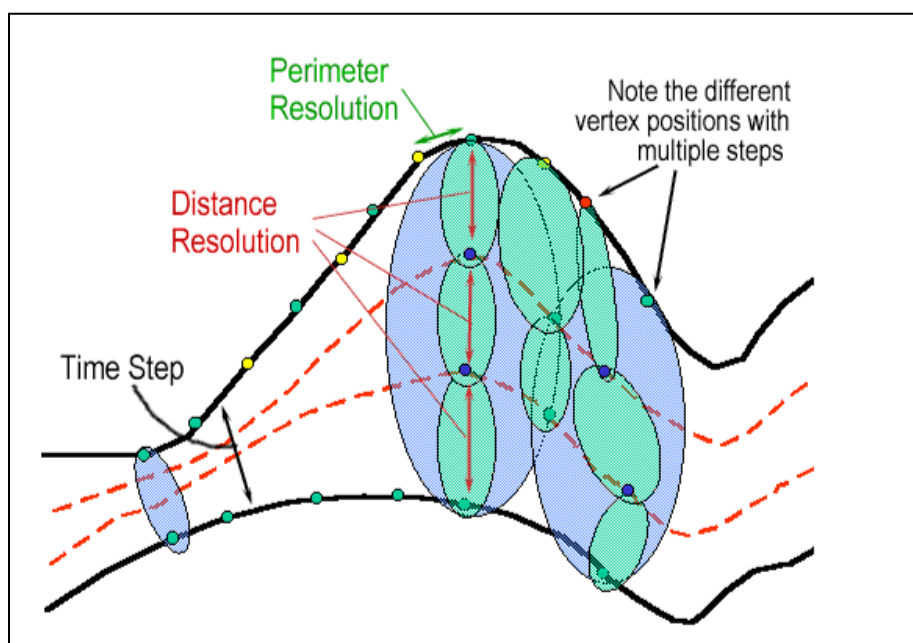


Figura 3.20: Rappresentazione grafica del *time step*, *perimeter resolution* e *distance Resolution*.

#### 4.1.4 INDICARE LA DURATA DELLA SIMULAZIONE

La durata della simulazione stabilisce il tempo di inizio e quello di conclusione per i calcoli dell'incendio e dell'umidità del combustibile. Il periodo di condizionamento utilizza i dati meteorologici che sono stati nel file *Project* (.FPJ) per calcolare come è variata l'umidità iniziale del combustibile ed aggiornarla al momento della simulazione per effetto dei record contenuti nei file .WTR e .WND, operazione che viene effettuata prima della determinazione del perimetro dell'incendio. Le sezioni *Starting* e *Ending*, invece, sono dedicate all'inserimento del giorno in cui si è propagato l'incendio con rispettiva ora di inizio fuoco, molto spesso semplicemente stimata sulla base delle dimensioni raggiunte dall'incendio al momento della segnalazione. In Figura 3.21 sono riportate le date e le ore in cui l'incendio sul Monte Ongarine ha avuto luogo. Nell'ipotesi l'ora di inizio fuoco non sia determinabile con approssimazione accettabile si può inserire l'ora in cui chi è arrivato sul posto è stato in grado di appuntare sul Quaderno di Campagna il perimetro, georeferenziato dell'incendio. Quindi si inserirà detto perimetro in alternativa al punto di innesco.

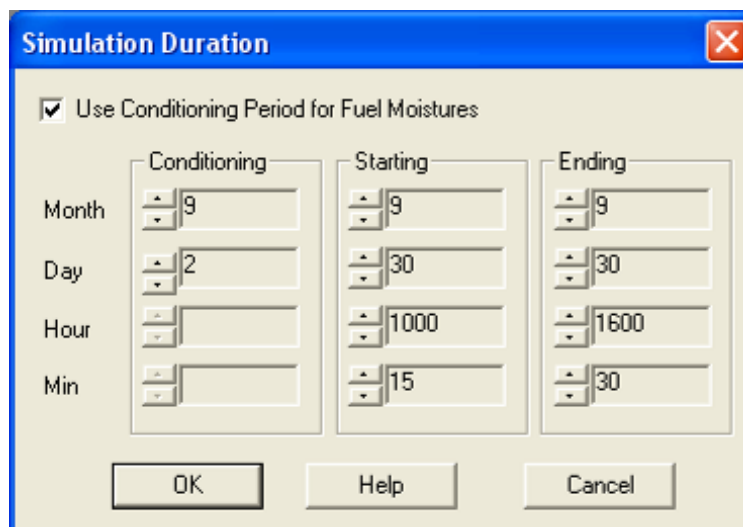


Figura 3.21: La durata della simulazione per l'incendio di Monte Ongarine

#### 4.1.5 REALIZZAZIONE DELLA SIMULAZIONE E INTERPRETAZIONE DEGLI *OUTPUT*

Fin'ora sono stati descritti gli *input* che *FARSITE* utilizza per poter procedere con la simulazione del comportamento dell' incendio di Monte Ongarine. Di seguito verrà illustrato come si procede nella effettuazione della simulazione.

Dopo che sono stati creati il file *Landscape* (.LCP) e il file *Project* (.FPJ), e dopo che sono stati stabiliti i parametri e la durata della simulazione, si può procedere con la visualizzazione della schermata con i modelli di combustibile, grazie all' utilizzo della funzione : Simulate > Initiate / Terminate (Figura 3.22). Se si clicca con il mouse sulla zona limitrofa il perimetro dell'incendio si visualizzerà la finestra di dialogo indicante le caratteristiche orografiche e del combustibile dell' area (Figura 3.23). Il perimetro effettivo dell' incendio del Monte Ongarine è stato caricato all'interno del *Landscape* per poter permettere un effettivo confronto tra l'incendio reale e quello simulato con *FARSITE*.

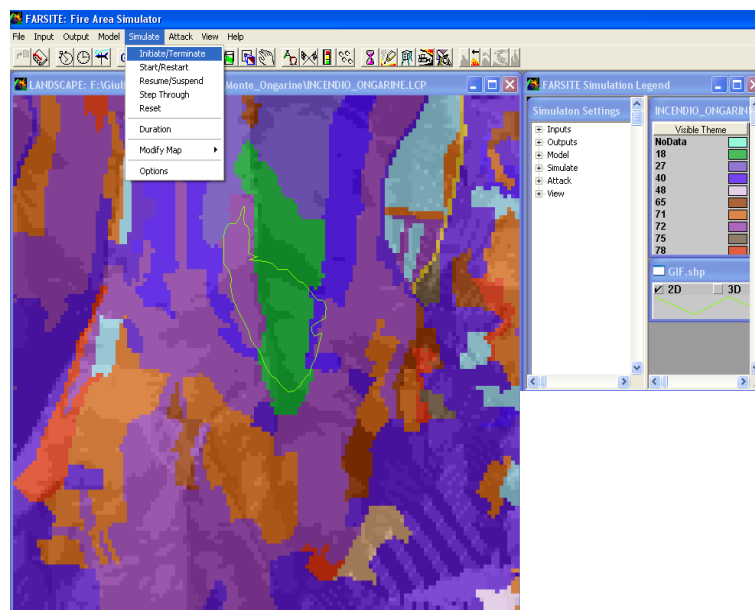


Figura 3.22: Visualizzazione del *Landscape* con i modelli del combustibile e il perimetro dell' incendio di Monte Ongarine.

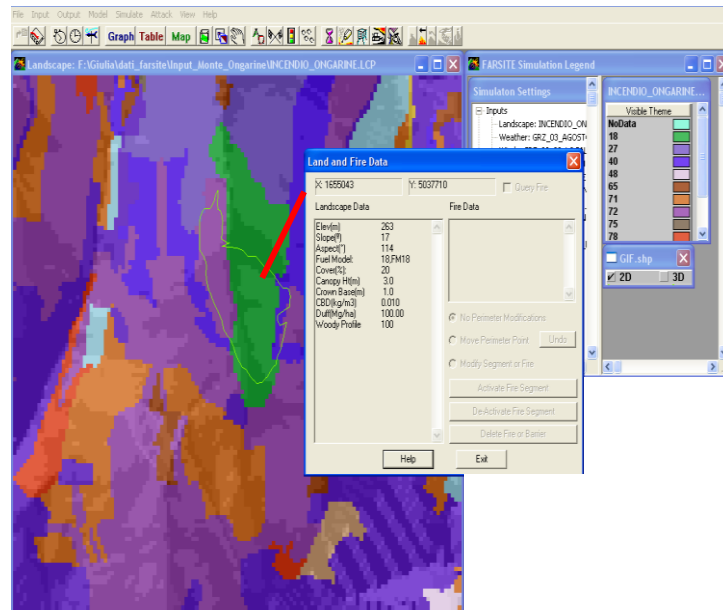


Figura 3.23: Visualizzazione della finestra di dialogo riportante le informazioni orografiche e del combustibile del *Landscape* di Monte Ongarine.

Tramite la funzione Simulate > Modify Map > Import Ignition File (Figura 3.24) è possibile importare sul *Landscape* il punto di innesco da cui si è originato l'incendio. Il punto di innesco che si stabilisce in simulazione è molto importante che sia il più preciso possibile in quanto spostamenti di anche soli pochi metri rischiano di condizionare in modo significativo l'efficacia della simulazione (Camia, comunicazione personale).

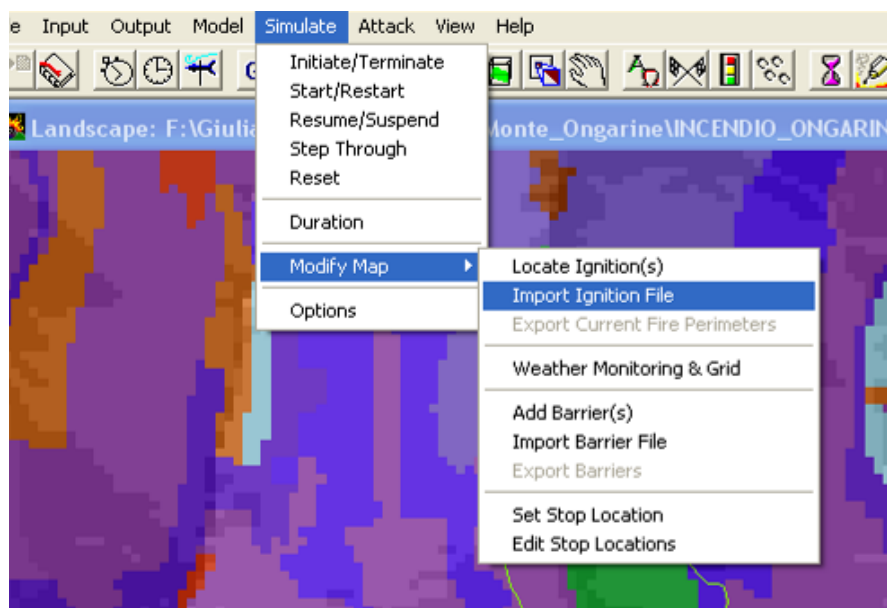


Figura 3.24: Comandi in *FARSITE* per l'inserimento del punto di innesco



Tramite la stessa funzione è possibile, anche, importare file di barriere che potrebbero condizionare la propagazione dell'incendio. Nel caso dell' incendio sul Monte Ongarine, a sud-est dello stesso si trovava un muretto a secco (Figura 3.25) che ne ha impedito la propagazione in quella direzione.

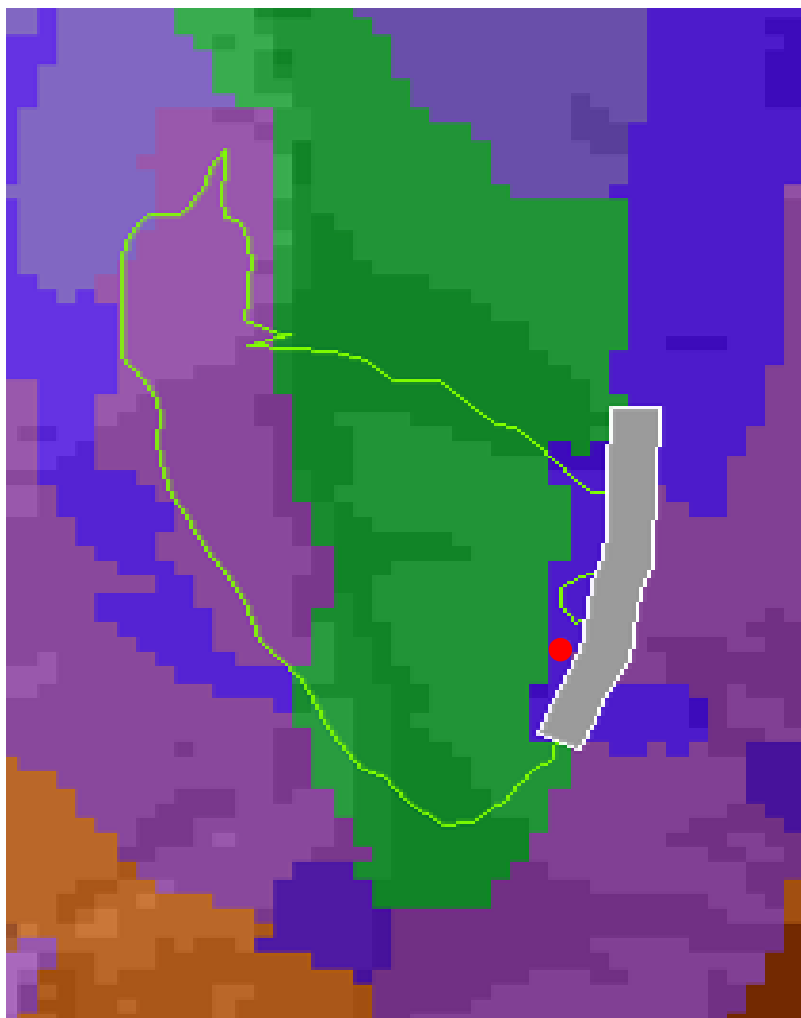


Figura 3.25: Importazione nel *Landscape* del file del punto di innesco e del muretto a secco.

L' ultima cosa da fare prima di avviare la simulazione è decidere come si desidera che il perimetro dell' incendio venga visualizzato. Tramite la funzione *Output > Fire Perimeter Colors* è possibile stabilire la modalità di visualizzazione delle linee del fronte fuoco durante la simulazione (Figura 3.26). E' infatti possibile visualizzare semplicemente un insieme di linee di colore bianco oppure polilinee colorate rappresentanti, grazie a differenti cromatismi, l'intensità del fronte fuoco, la velocità di propagazione, la lunghezza delle fiamme, la quantità di calore rilasciato per unità di area ( $\text{kW/m}^2$ ) e l'intensità di reazione del fuoco ( $\text{kW/m}$ ).

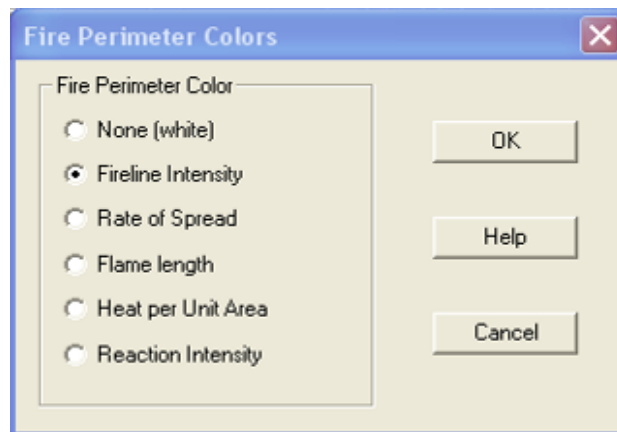




Figura 3.26: Impostazione dei colori del perimetro dell' incendio

La simulazione può avere inizio grazie al comando *Step Through*  che da avvio al calcolo dell' umidità del combustibile (Figura 3.27) e delinea il perimetro dell'incendio che comincia a svilupparsi (Figura 3.28). Per questa dimostrazione si è scelto di procedere tramite questa funzionalità del *software*, perché permettere di visualizzare la propagazione dell' incendio *step by step*. In realtà, è possibile avviare la simulazione anche attraverso il comando *Start/Restart*  che mostra direttamente l'incendio a simulazione conclusa.

*FARSITE* indica anche l'ora corrente (*Current time*) della simulazione, che in questo caso corrisponde all'ora di inizio dell'incendio avendolo appena fatto partire, e il tempo trascorso (*Elapsed time*) dal momento dell' innesco, che ora visualizziamo come uguale a zero.

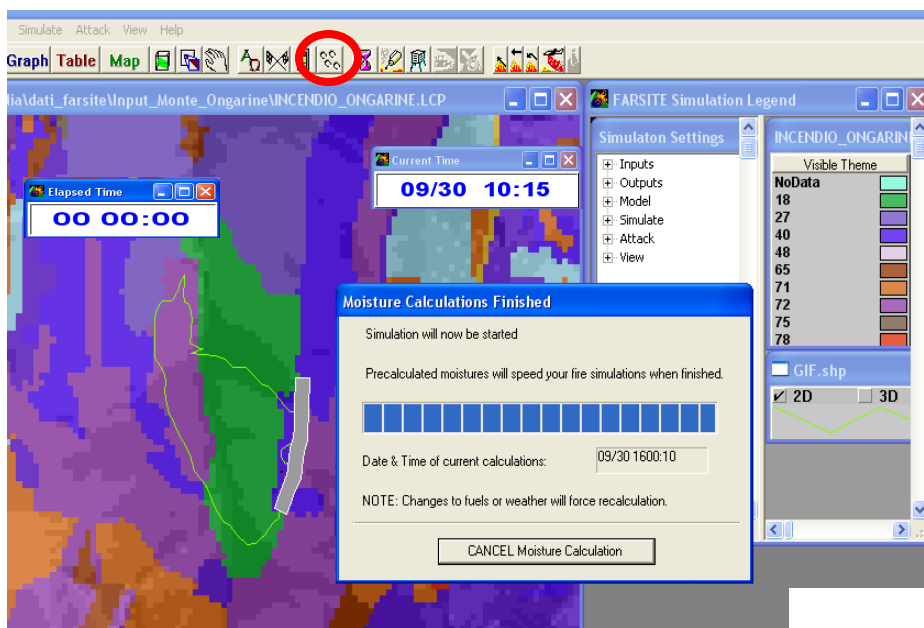


Figura 3.27: Dal comando *Step Through* si da avvio alla simulazione. Sono visualizzati il *Current time* e l' *Elapsed time*.

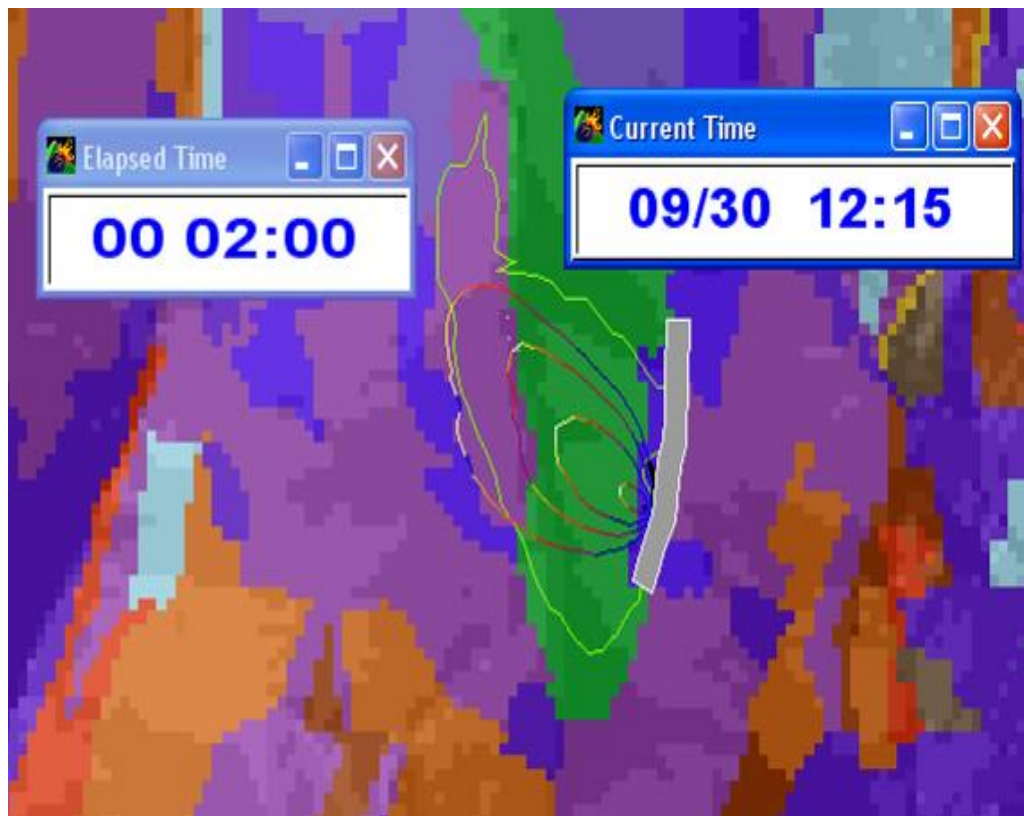


Figura 3.28: Evoluzione dell'incendio a due ore dal suo innesco. *FARSITE* sposta la testa dell'incendio verso la pendenza del versante.

L'immagine riportata in Figura 3.28 mostra come l'incendio si è evoluto, trascorse due ore dal suo innesco. La forte intensità del fronte fiamma è evidenziata dal colore giallo nel perimetro dell'incendio e che ovviamente interessa la testa dello stesso. Le zone perimetrali contrassegnate dal colore blu sono le zone in cui il fronte fiamma è molto debole o in fase di spegnimento. Dall'immagine inoltre si capisce come l'incendio nel propagarsi a nord ovest segua la pendenza orografica della collina Monte Ongarine. Una forte pendenza, favorisce il preriscaldamento del combustibile vegetale che si trova nella parte più a monte ed aumenta, conseguentemente, l'intensità di diffusione di un incendio (Bacchini (a), comunicazione personale); guardando le immagini si può affermare che *FARSITE* segue fedelmente questo principio, facendo spostare la testa dell'incendio verso la pendenza del versante.

Alle ore 16:30 del 9 Settembre 2003, dopo sei ore circa di sviluppo, l'incendio di Monte Ongarine è stato estinto. Sono stati utilizzati diversi mezzi con personale da terra e anche risorse aeree a disposizione dell' AIB di Verona: un elicottero AS350 B3 del Servizio AIB della Regione Veneto (Figura 3.29), un elicottero Erickson Air Crane S64 Helitanker (Figura 3.30) ed un Canadair inviati dal COAU (Centro Aereo Unificato Permanente) (Figura 3.31).



Figura 3.29 : L'elicottero AS350 B3 del Servizio AIB della Regione del Veneto che si approvvigionava di estinguente da una vasca mobile durante l'incendio di Monte Ongarine (Foto SFR).



Figura 3.30: Elicottero Erickson Air Crane S64 Helitanker durante le operazioni di spegnimento dell'incendio sul Monte Ongarine (Foto SFR).



Figura 3.31: Canadair inviato dal COAU (Centro Aereo Unificato Permanente) durante l'incendio di Monte Ongarine (Foto SFR).

L'immagine riportata in Figura 3.32 mostra come si sarebbe sviluppato l'incendio fino alle ore 16.:30 se le squadre antincendio non fossero intervenute sul fenomeno, o anche se fossero intervenute poche ore dopo rispetto a quelle effettive.

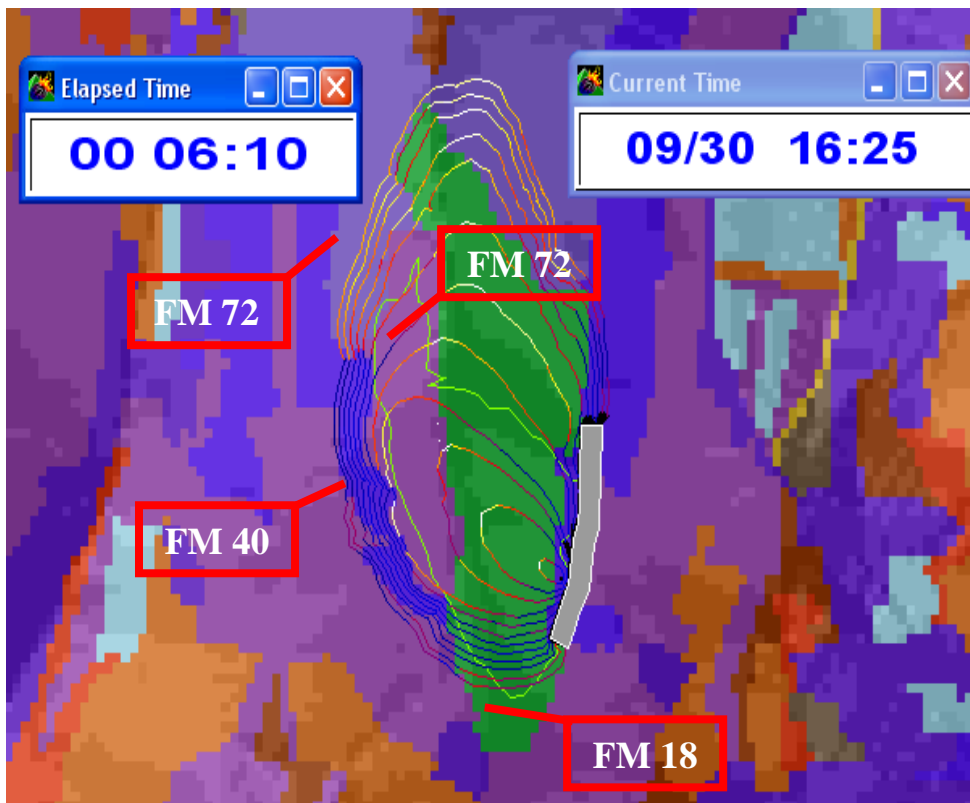



Figura 3.32: Conclusione della simulazione del 30 Settembre 2003 delle ore 16:25. Sono riportati i diversi modelli di combustibile.

Tramite il comando *View > Change View Port > Fire* è possibile visualizzare solo la porzione di *Landscape* interessata dall'incendio. Cliccando con il comando *Fire Data Query*  sul fronte fuoco è possibile ricevere informazioni da *FARSITE* sul fronte fiamma (Figura 3.33).

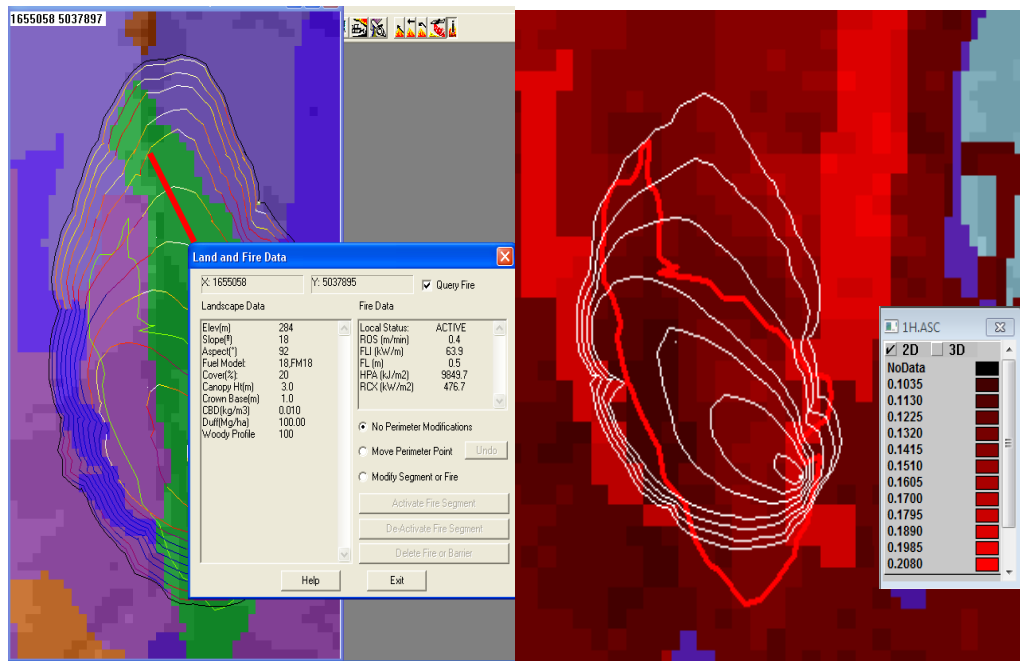


Figura 3.33: Porzione di *Landscape* interessata dall'incendio e informazioni relative al fronte fiamma (A). Porzione del *Landscape* con evidenziata l'umidità del combustibile 1h (B).

Dall'immagine 3.32 si osserva che l'incendio ha seguito l'orografia del territorio rallentando però la sua velocità in tre punti: ad ovest lungo il lato sinistro dell'incendio, a nord e a sud dello stesso. A tal proposito si state fatte le seguenti considerazioni:

- Il modello di combustibile evidenziato in colore blu (versante Ovest dell'incendio) corrisponde ad un Ostrio – querceto a scotano (FM40) (Figura 3.33A). Si può osservare che ad ovest l'incendio ha diminuito la propria velocità di propagazione; il tutto è evidenziato dal fatto che la distanza percorsa nel tempo è inferiore, le polilinee sono ravvicinate tra loro e hanno virato il cromatismo dal giallo – rosso al blu. Ciò è spiegabile dal fatto che in quest' area l'umidità del combustibile 1h è del 21%, mentre l'umidità del combustibile 1h dell'adiacente oliveto (FM72) era del 10%, meno della metà. Quest'aumento di umidità nel combustibile morto ha fatto sì che il fronte fiamma rallentasse la sua velocità. Inoltre, a livello orografico, in questa parte l'incendio a dovuto procedere in discesa, ed ovviamente anche questo ha influito a rallentarne la propagazione. *FARSITE* in uno dei suoi *output*, permette la visualizzazione dell' umidità del combustibile 1h (Figura 3.33B).

- La diminuzione della velocità a nord si suppone sia dovuta al fatto che, cambiando modello di combustibile, vari anche il carico di materiale organico vegetale morto 1h. L'incendio si è qui spostato da un Arbusteto (dove il carico di combustibili 1h è generalmente 6,51 Mg/ha) ad una Formazione antropogena di Pino Nero (che presenta invece un valore pari allo 0,92 Mg/ha) (Tabella 3.3). Trovando quindi meno combustibile 1h, il fronte fiamma ha diminuito il suo ROS.
- A sud, l'incendio ha rallentato la sua corsa perché, se si osserva Figura 3.34 dove sono riportati i vettori vento e pendenza, si nota che tali vettori hanno direzione contraria (almeno per quanto riguarda il vettore vento) a quella dell'incendio in questa porzione di paesaggio. Inevitabilmente esso ha quindi rallentato.

L'incendio Monte Ongarine è stato abbastanza intenso da provocare qualche sporadico fenomeno di *spotting* (Figura 3.7). Verso le 11 di mattina del giorno interessato, hanno cominciato a svilupparsi delle fiamme anche all'esterno del perimetro principale dell'incendio. Questo comportamento è stato riportato anche in *FARSITE*. Come si vede nella prima immagine di Figura 3.34, *FARSITE* alle 10:45 del *Current Time*, tramite dei punti bianchi segnala la presenza dello *spotting*.

Fin'ora è stato osservato come l'incendio avrebbe potuto, secondo *FARSITE*, evolversi se non ci fosse stato intervento da parte delle squadre antincendio.

*FARSITE* ha all'interno delle sue funzionalità, la possibilità di inserire e simulare l'attacco da terra da parte di mezzi carrozzabili e di operatori e l'attacco aereo tramite i mezzi di soccorso come il Canadair o l' Erickson Air Crane S64.

Un campo ancora in esplorazione e che necessita di adeguate attenzioni è la possibilità di simulazione di interventi di spegnimento da terra, in quanto i dati finora a disposizione sono pochi e spesso con lacune inspiegabili, quindi inutilizzabili in *FARSITE*. Sono necessari specifici rilievi sulla produttività delle squadre da terra in diverse condizioni operative, ovvero in base al tipo di attrezzatura, al tipo di combustibile che gli operatori trovano in campo e alle condizioni orografiche.



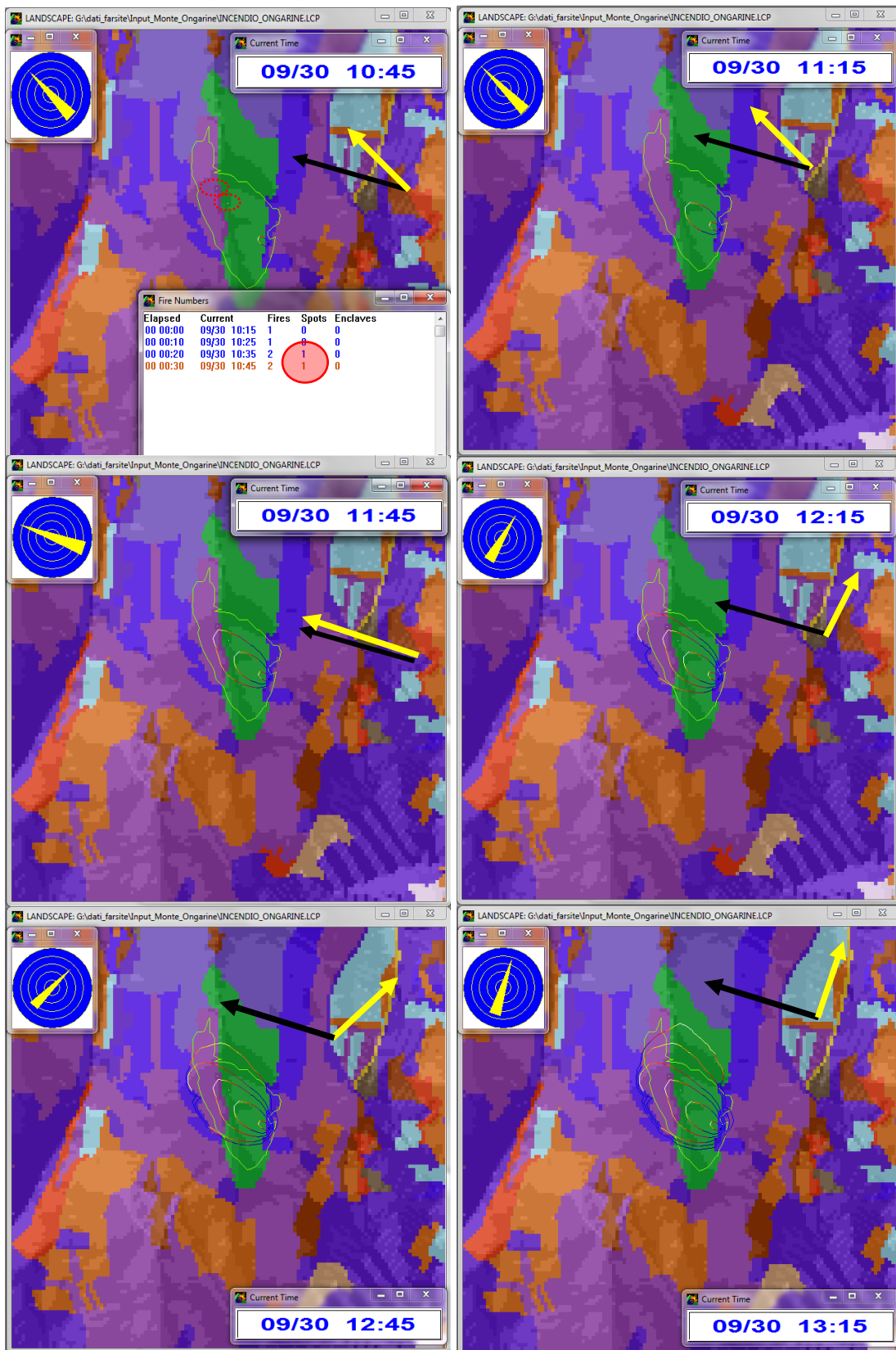


Figura 3.34: Simulazione Monte Ongarine in varie fasi dello sviluppo dell'incendio. E' indicato in rosso, nella prima immagine, il fenomeno dello *spotting*. Sono inoltre riportati i vettore vento (giallo) e pendenza (nero).

Inoltre ora come ora, sembra che *FARSITE* simuli lo spegnimento da terra utilizzando attrezzature che non sono in uso né in Veneto né in Italia. Riuscire ad applicare questa funzionalità potrebbe essere oggetto di ulteriori studi.

In ogni caso, l'impossibilità di simulare un attacco da terra con gli operatori, in questo caso non ha influenzato l'attendibilità della simulazione, in quanto l'intervento che è stato svolto sul reale incendio non si è rivelato assolutamente efficace, essendo il fenomeno di dimensioni troppo grandi. Inoltre, a causa della variazione della direzione del vento, quello che era un fianco dell'incendio si è trasformato in testa avanzante. La significativa produzione di fumo e l'emanazione termica hanno comportato quindi un abbandono quasi immediato della zona dove gli operatori si trovavano ad intervenire.

Relativamente ai mezzi aerei, *FARSITE* chiede di inserire i vari modelli di aeromobile con le informazioni riguardanti i rispettivi gradi di *coverage level* ovvero i livelli di copertura che questi mezzi sono in grado di raggiungere con i lanci di acqua o ritardante.

Durante lo studio di questa applicazione in *FARSITE* si è notata una similitudine tra la finestra di dialogo per l'inserimento nel *software* dei mezzi aerei e un comando presente all'interno della cabina del mezzo aereo Erickson Air Crane S64. In realtà è stato constatato che anche altri aeromobili sono dotati di sistemi computerizzati molto simili. *FARSITE* richiede che vengano definiti i *coverage levels* per l'utilizzo in simulazione. Lo stesso procedimento è attuato dal pilota del mezzo aereo, dovendo scegliere dai comandi dell' S64 il tipo di livello più adatto. (Figura 3.35).

Poste queste considerazioni, è stato chiesto al Comandante Giulio Fini del Centro Aereo Unificato Permanente COAU di fornire ai Servizi Forestali Regionali i vari *coverage level* dei mezzi aerei italiani a disposizione della flotta COAU.

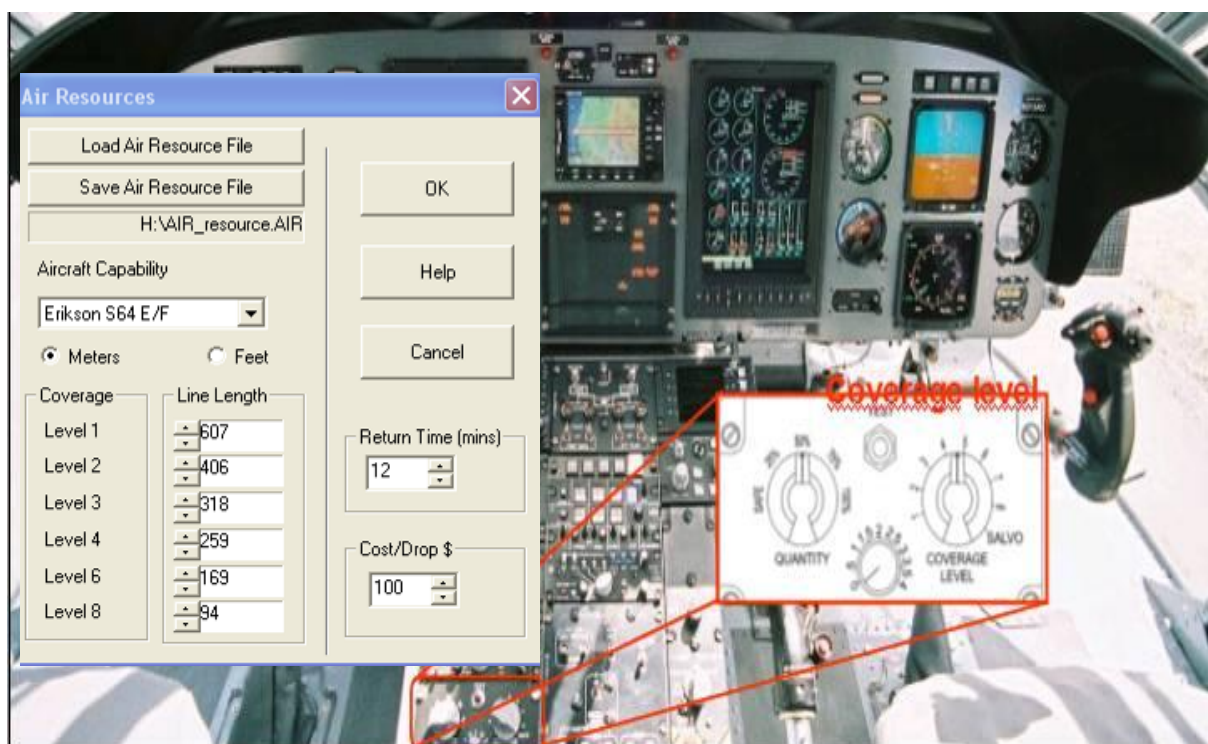


Figura 3.35: L'interno della cabina del mezzo Erickson Air Crane S64 e finestra di dialogo di *FARSITE*

I dati descrivono la quantità d'acqua per unità di superficie riferita alle differenti strisciate. (Figura 3.36). Ovviamente tali parametri variano in base al tipo di mezzo e si riferiscono a velocità e quota standard per ognuno di essi, per esempio per il Canadair, che è l'aeromobile maggiormente utilizzato, sono: 100 piedi di quota e 100 nodi di velocità

I dati, una volta pervenuti, sono stati inseriti all'interno di *FARSITE* in formato ASCII, per la simulazione dell'attacco aereo sull'incendio di Monte Ongarino: per ogni mezzo è stato scelto un particolare livello di copertura, che corrisponde ad una certa quantità di acqua o ritardante rilasciato durante l'azione di spegnimento (Figura 3.37).



Figura 3.36: I dati dei coverage levels pervenuti dal COAU e utilizzati in FARSITE.

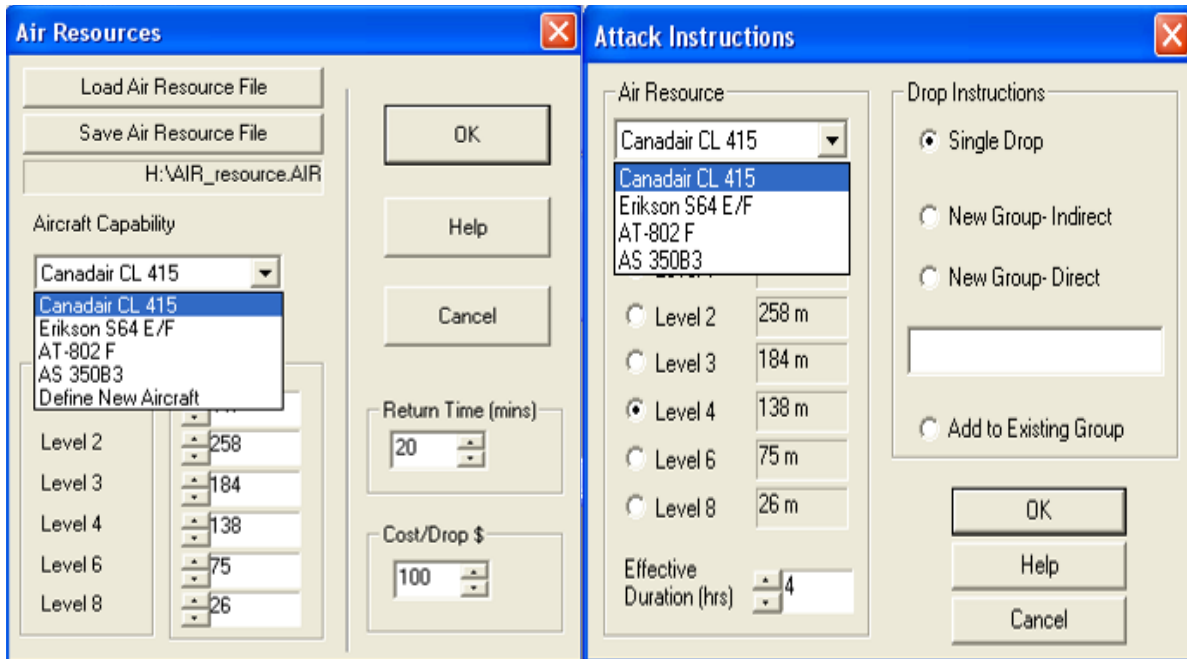
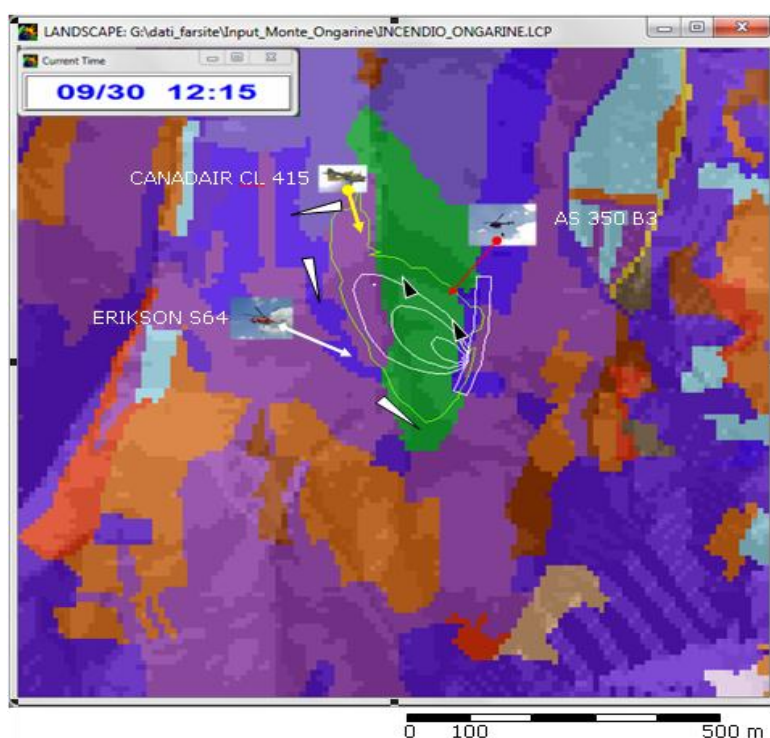


Figura 3.37: I dati del COAU inseriti in FARSITE

*FARSITE* chiede anche un di inserire un “tempo di ritorno” e il costo di ogni lancio. Sono state inserite anche queste informazioni differenti per ogni mezzo.

L’elicottero regionale AS 350 B3 ha iniziato ad operare alle 12:00. La frequenza delle rotazioni, ovvero la frequenza dei lanci considerato il tempo di ritorno del mezzo da ogni rifornimento di acqua, è stato 1 ogni 2 minuti.

Il Canadair ha operato per 72 minuti dalle 12:15 circa alle 13:27 e l’Erikson ha operato 85 minuti, dalle 12:30 alle 13:55. In figura 3.38 si mostra come sono stati simulati gli interventi.



In Figura 3.38: Simulazione intervento aereo in *FARSITE*

Dopo una iniziale simulazione dell’intervento dei mezzi aerei, il nuovo perimetro calcolato da *FARSITE* è risultato essere di dimensioni inferiori a quello verificatosi (Figura 3.38) e rilevato con GPS.

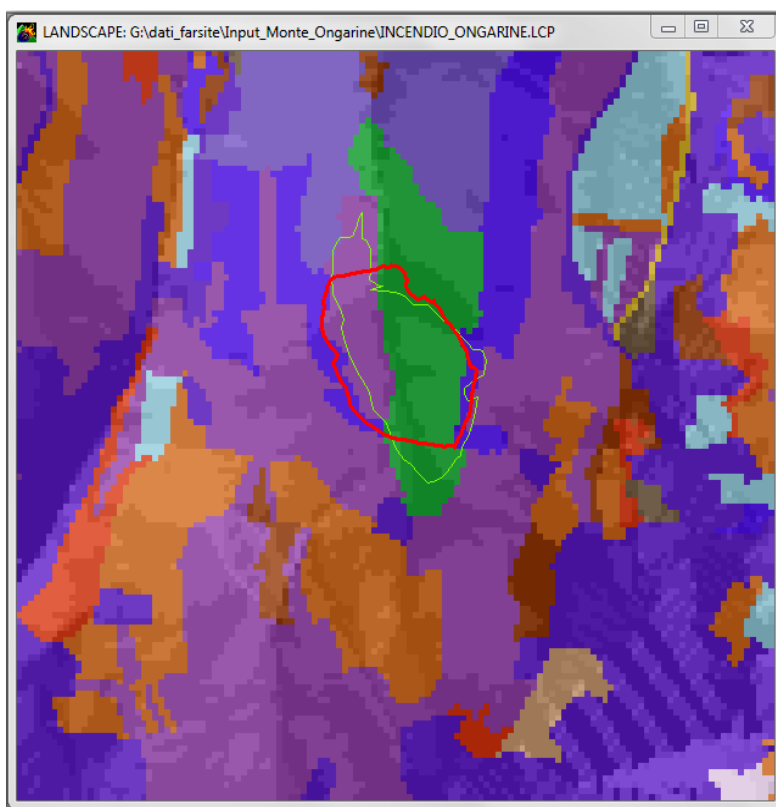


Figura 3.39: Il perimetro rosso indica il perimetro dell'incendio stimato da *FARSITE*

Per giustificare una tale forma, sono state fatte diverse ipotesi:

- *FARSITE* chiede accuratezza nell'inserimento dei dati per quanto riguarda i valori di efficienza dell'estinguente (*effective duration*) che i mezzi aerei utilizza. Si è ipotizzato che il valore inserito (4 ore, si veda Figura 3.37) fosse troppo alto rispetto a quello reale, e che quindi *FARSITE* avesse simulato un intervento più efficiente di quanto in realtà compiuto. Se tale ragionamento fosse stato corretto, ad inserire valori più bassi di efficienza il perimetro avrebbe dovuto ampliarsi. Ciò non si è verificato nelle successive simulazioni e quindi l'ipotesi è stata scartata.
- *FARSITE* è in grado di dire se lo *spotting* si verifica oppure no, ma non è in grado ne di localizzarlo con precisione ne di svilupparlo lungo il paesaggio. Quindi si è ipotizzato che il *software* facesse una sottostima del reale perimetro dell'incendio. Quindi, si è aggiunto un punto di innesco laddove lo *spotting* si era verificato, quindi a nord – est (Figura 3.34) per mettere in grado *FARSITE* di aggiungere un nuovo fronte fiamma. Se il problema fosse stato in questo fattore di sottostima, allora, pur intervenendo con i mezzi aerei, il perimetro dell'incendio avrebbe dovuto aumentare a nord. Nuovamente il fatto

non si è verificato. Nonostante *FARSITE* abbia considerato i nuovi punti di innesco e quindi nuovi focolai che sono andati ad incrementare l'intensità del fronte fiamma, l'intervento dei mezzi aerei ha in ogni caso fermato tale avanzamento al di sotto del perimetro reale. Quindi è stata scartata anche l'ipotesi che *FARSITE* avesse simulato male il perimetro perché non risentiva dello *spotting*.

- Quindi, si è deciso di considerare il fatto che i mezzi aerei potrebbero aver avuto una errata disposizione lungo il paesaggio durante la simulazione, facendoli intervenire in un' area in realtà, rispettivamente, più bassa per la zona a nord e più alta per la zona a sud. Procedendo con la simulazione e variando le zone di intervento del Canadair e dell'Erikson S64 (Figura 3.38) collocandoli più accuratamente lungo il profilo del fronte fuoco, si è ottenuto che, a nord, i confini dell' incendio simulato in *FARSITE* fossero molto più simili all'incendio avvenuto in natura (Figura 3.40).
- Per quanto riguarda la zona a sud dell'incendio, si è ipotizzato che la Carta d'Uso del Suolo che *FARSITE* ha utilizzato per la simulazione non fosse aggiornata per quanto riguarda quell'area. Si è supposto che la Carta non rilevasse una quantità effettiva di combustibile 1h, sottostimandone la reale presenza. Si è quindi deciso di cambiare il modello di combustibile solo in quella zona, attribuendogli una copertura vegetale facilmente infiammabile. Nella successiva simulazione, quell' area in *FARSITE* è stata bruciata, riallineando i confini con quelli effettivamente rilevati con GPS.

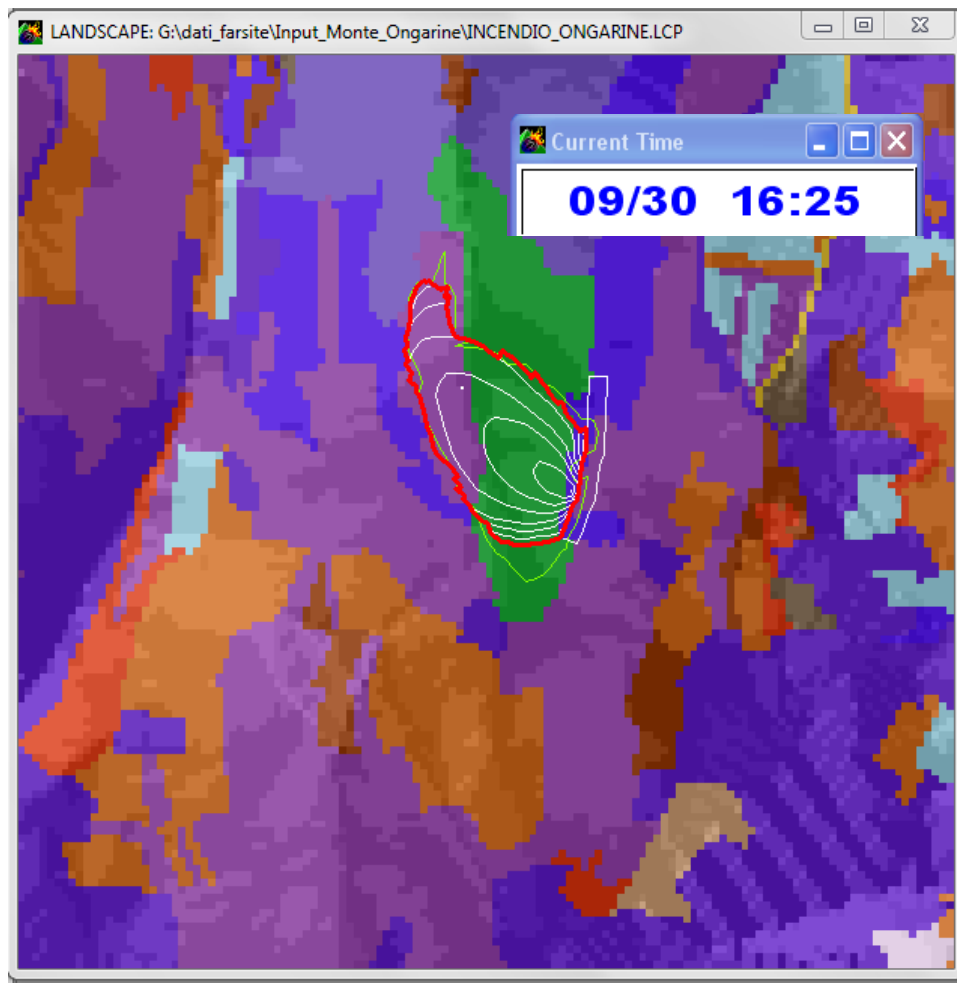


Figura 3.40: Perimetro stimato da *FARSITE* (rosso), dopo un'accurata disposizione dei mezzi aerei, alle ore 16:30 del 9 settembre 2003.

L'ultima funzionalità tra gli *output* di *FARSITE* che è stata esplorata per lo studio dell'incendio di Monte Ongarine, è quella che permette di esportare dal *software* il poligono delineato dai confini dell'incendio in formato *SHAPE* file.

Questo *SHAPE* file può essere caricato su altri *software* GIS ad uso dei Servizi Forestali. Per questa simulazione i *SHAPE* file di tutti i fronti fiamma simulati da *FARSITE* nell'arco delle ore sono stati esportati su un *software* di uso comune in Regione del Veneto, OziExplorer GPS (Figura 3.41). L'utilità di vedere l'area dell'incendio su un *software* GIS come OziExplorer sta nel fatto che a tale poligoni si possono sottoporre le carte tecniche ad uso della Regione (Figura 3.41). In secondo luogo, da OziExplorer, si possono esportare ulteriormente i confini dell'incendio in GoogleEarth, permettendone quindi un'ulteriore visualizzazione in tre dimensioni (Figura 7.42 e Figura 7.43).



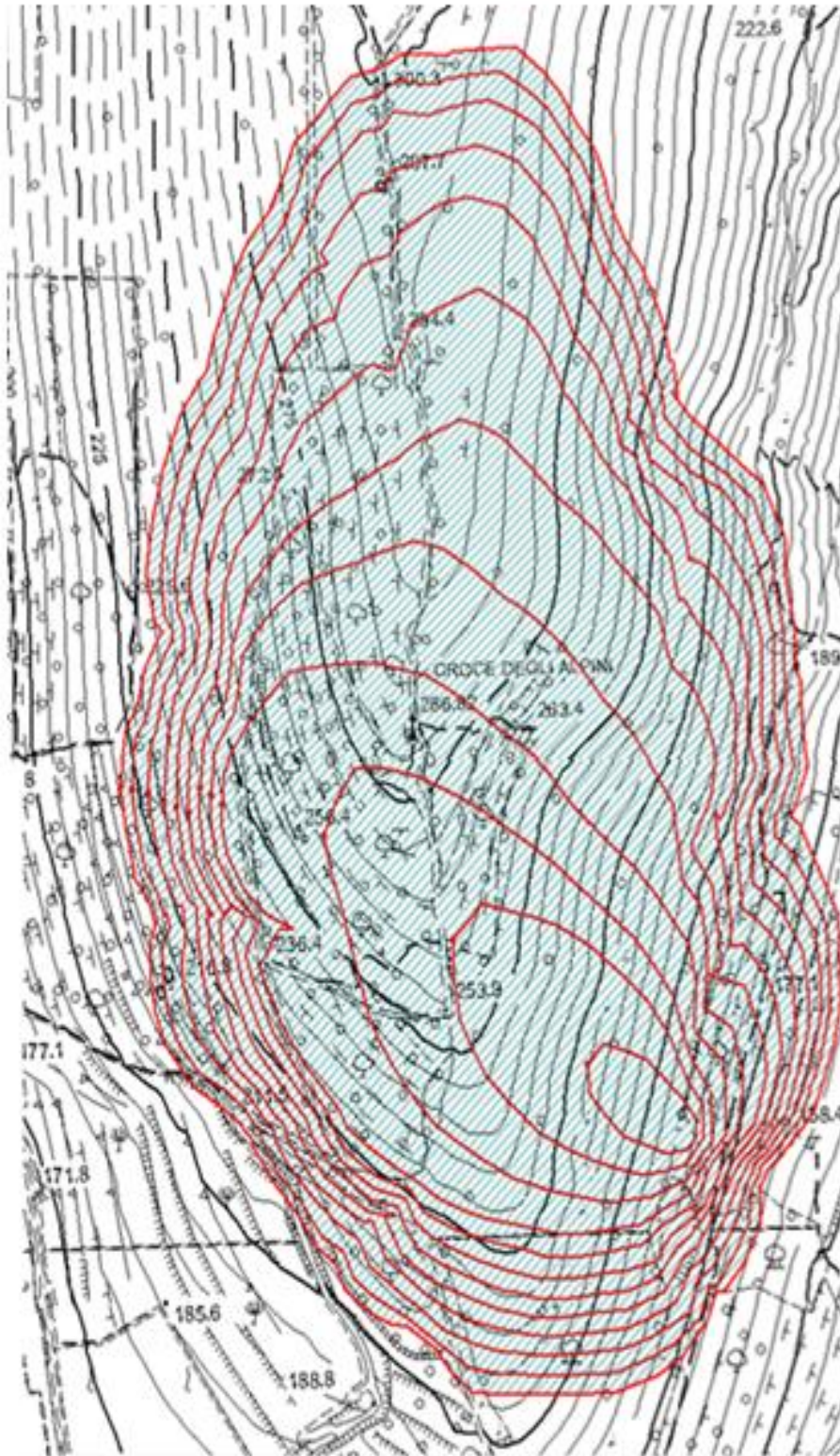


Figura 3.41: *SHAPE file* della forma dell'incendio esportato su OziExplorer GPS

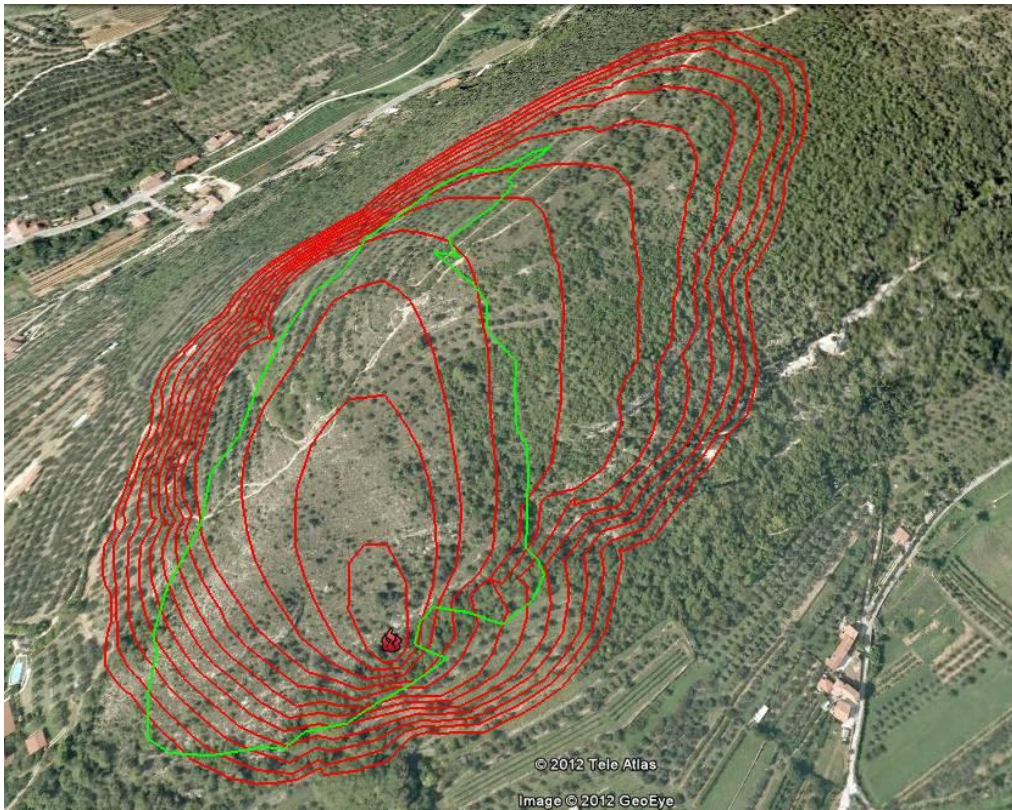


Figura 3.42: L'incendio di Monte Ongarine visualizzato in GoogleEarth. In verde segnato il perimetro reale, i rosso il perimetro dell'incendio se non fossero intervenuti i mezzi antincendio.

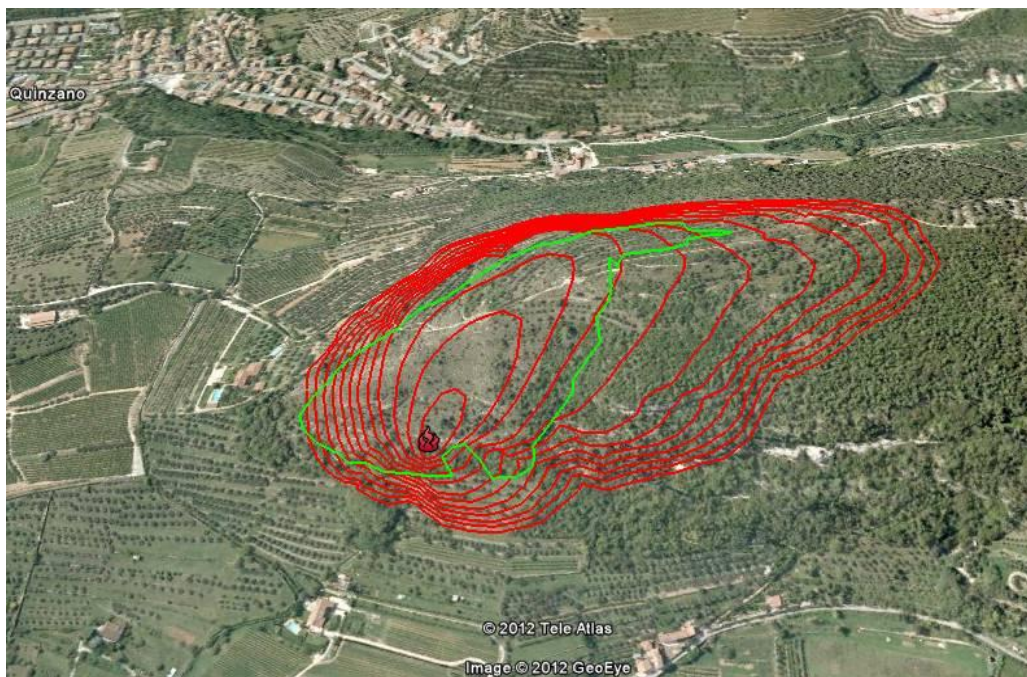


Figura 3.43: L'incendio di Monte Ongarine visualizzato in GoogleEarth. In questa immagine si osserva particolarmente bene come il fronte fuoco abbia seguito la pendenza del monte acquisendo velocità

## 5. DISCUSSIONE

L'obiettivo dello studio svolto fin'ora è stato quello di analizzare il *software FARSITE* tramite il confronto del perimetro di un incendio ottenuto in simulazione con il perimetro effettivo di un incendio avvenuto a Verona nel 2003. Il *software* ha riportato in modo sufficientemente corretto come l'incendio si è propagato al Monte Ongarine.

Eseguita la simulazione si è passati alla interpretazione dei risultati ottenuti al fine di poter esprimere un giudizio sul livello qualitativo raggiunto dagli *output* del *software*.

É doveroso ricordare che la Scheda Incendio che viene utilizzata dai Servizi Forestali e Ambientali e compilata dagli operatori regionali contiene solo in parte i dati utili ad una verifica oggettiva. Oltre ad essere scarsa di contenuti, tale scheda molte volte non viene compilata completamente. Per poter procedere e per poter validare gli *output* forniti da *FARSITE* è stato quindi necessario avvalersi anche della documentazione fotografica trasferita nell'archivio del Servizio Forestale Regionale di Verona. Inoltre, sono state considerate fondamentale le testimonianze riportate dal Direttore Operazione Spegnimento, da due capisquadra del Servizio Forestale e da un caposquadra dei Vigili del Fuoco, che il 30 Settembre 2003 hanno operato al fine di estinguere l'incendio di Monte Ongarine.

Nei suoi *output*, *FARSITE* fornisce diversi parametri. In questo lavoro ne sono stati considerati due: la velocità di propagazione delle fiamme (il *ROS*) e la lunghezza delle fiamme (*Flame Lenght*) (Figura 4.44). Conoscendo l'ora e le coordinate di dove gli operatori AIB hanno cominciato con l'azione di spegnimento, è stato chiesto ai capisquadra di esprimere un giudizio in merito alla estensione raggiunta dall'incendio nel settore dove hanno iniziato ad operare. Questa verifica ha dato risultati più che soddisfacenti e ne è la prova il fatto che le dimensioni simulate sono compatibili con quelle rilevate con strumentazione GPS e non è stato necessario intervenire con coefficienti di adeguamento della velocità dell'incendio simulato. Ciò sta a significare che *FARSITE* ha simulato una velocità di propagazione nel tempo simile a quella che si è verificata.

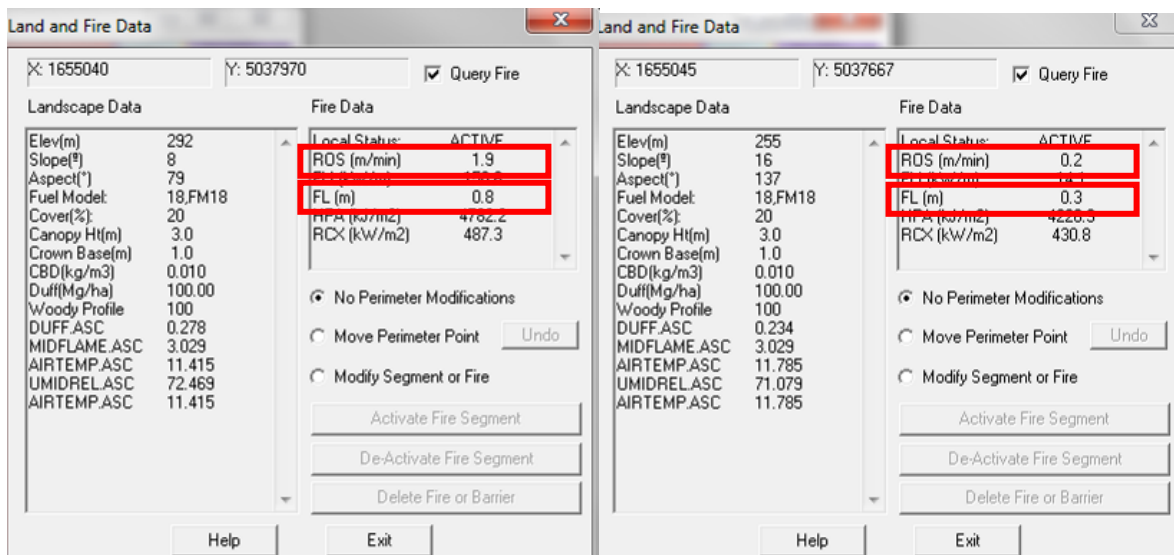


Figura 4.44: La velocità di sviluppo e la lunghezza delle fiamme stimate da *FARSITE* in diversi momenti dell'incendio, rispettivamente verso le 11 di mattina e verso le ore 15:30.

Per quanto concerne l'altezza delle fiamme, invece, chi si è trovato ad intervenire sull' incendio ha dichiarato di aver lavorato in più punti su fiamme di lunghezza ben più superiore rispetto a quella ottenuta in simulazione con *FARSITE*, che non supera i 50 – 80 cm. Per comprendere la ragione di questa discrepanza sono state analizzate le fotografie a disposizione ed è stato possibile accertare che effettivamente in alcuni punti dell' incendio sono state superate le lunghezze stimate da *FARSITE*. Il motivo è da ricercarsi nel fatto che quando ciò si è verificato, ovvero quando le fiamme hanno superato il mezzo metro, era da attribuirsi alla presenza di alcuni ginepri che sono stati quindi interessati dal fenomeno *torching*. Tali manifestazioni sporadiche come il, *torching*, non sono contemplati da *FARSITE* nei calcoli sul comportamento dell'incendio, in quanto effettivamente non influenzano la forma dello stesso. Un'altra prova, a supporto del fatto che le fiamme hanno avuto una lunghezza simile a quella stimata da *FARSITE*, è la testimonianza degli operatori che sono giunti in Loc. Monte Ongarine a operazioni concluse per attuare una perimetrazione dell'incendio e che hanno rilevato le altezze di scottatura sulle piante, riportando valori compatibili con quelli simulati.

Quello che *FARSITE* è stato in grado di prevedere e simulare è stato il manifestarsi dello *spotting* già durante la prima mezz'ora di incendio, esattamente come è avvenuto in ambiente naturale. Si può dunque affermare che i modelli di combustibile hanno consentito a *FARSITE* di produrre una simulazione coerente con quanto effettivamente verificatosi, eccetto che per la zona a sud dell'incendio. Tale problema però è da attribuire non al *software*, ma alla Carta d' Uso del Suolo non aggiornata.

In conclusione, dopo aver valutato come *FARSITE* ha lavorato, il giudizio in merito alle applicabilità e potenzialità di tale *software* non possono che essere positive. Il *software* è intuitivo e semplice da utilizzare. I tempi necessari per svolgere una simulazione sono sostanzialmente più che accettabili. Il processo potrebbe richiedere più tempo nel qual caso si desidera prendere in considerazione una porzione di territorio decisamente più ampia di quella appena considerata, oppure se si decidessero di analizzare periodi di condizionamento dell'umidità del combustibile eccessivamente lunghi. In ogni caso entrambe le ipotesi sono evidentemente evitabili. Quello che di laborioso richiede *FARSITE* è la preparazione dei dati. Per il loro inserimento, invece, sono sufficienti dai 5 ai 10 minuti al massimo.

Per quanto concerne il *Landscape* che *FARSITE* ha utilizzato nella simulazione Monte Ongarine, ne è stato prodotto uno per l'intera provincia di Verona con maglia DEM 10x10. Per le ragioni precedentemente evidenziate ne è sconsigliato l'uso integrale e si suggerisce di ricorrere al *tool* di *FARSITE* : *Input > Landscape Utilities > Extract Portion of Lcp File* che consente di estrarre la porzione territorio interessata semplicemente specificando longitudine e latitudine minime e massime dell'area. In tal modo si velocizza molto la simulazione ed è oltretutto possibile lavorare su maggiore scala risolutiva.

Per quanto riguarda i dati meteo, a prescindere dalla loro spazializzazione con WindNinja che al momento risulta piuttosto lunga e laboriosa, si evidenzia che anche il semplice inserimento dei dati non è rapido. Sono stati realizzati due strumenti per facilitare il processo: rispettivamente *wtr.estrain* e *wnd.estrain*. La procedura è comunque ugualmente lunga e non sicura da possibili errori. Un tale lavoro può trovare giustificazione solo in sede di validazione dei modelli e non certo per simulazioni di incendi *ex ante*. In quest'ultima ipotesi potrebbe risultare particolarmente utile la possibilità offerta da *FARSITE* di ricorrere a scenari meteorologici standardizzati e memorizzati in file facilmente utilizzabili. Infatti si tratterebbe di disporli al momento necessario in *FARSITE* semplicemente in base alle condizioni meteo del periodo. Le condizioni meteo secondo questi scenari possono variare da basse a moderate ad alte fino ad estreme. Si ipotizza che potrebbe essere utilizzato il valore dell'Indice di Pericolo Canadese (FWI) per rappresentare il criterio di scelta, atteso comunque che i record memorizzati si riferiscano a condizioni meteo che in un certo periodo dell'anno ed in una particolare zona, quindi con riferimento ad una specifica stazione meteo, hanno fatto registrare determinati valori di temperatura massima con relativa umidità minima, temperatura minima con relativa umidità massima, direzione e velocità del vento, copertura nuvolosa ecc..

Relativamente ai mezzi aerei si ritiene che *FARSITE* è in grado di simulare in modo accurato l'intervento aereo ma richiede delle informazioni precise non solo sull'inserimento dei mezzi aerei, ma anche per quanto riguarda la rotta che essi devono seguire durante le operazioni di

spegnimento. Se le direttrici di lancio non vengono definite con sufficiente precisione, vi possono essere problemi nella corrispondenza tra simulazione e realtà. Si considera opportuno avere precisione almeno nell'ordine di grandezza della risoluzione adottata per tutta la simulazione, in questo caso 10 m.

Per la realtà veneta, infine, è consigliabile apportare sostanziali modifiche alla attuale Scheda Incendio obsoleta nell'impostazione e poco se non per nulla adatta ad essere utilizzata per l'implementazione di *FARSITE*.

## 6. CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che per quanto riguarda la velocità di propagazione e la lunghezza delle fiamme, *FARSITE* ha simulato, in modo più che attendibile, quello che si è verificato sul Monte Ongarine. Prova ne sono le testimonianze, i rilevamenti GPS del perimetro dell' incendio e l'altezza di scottatura delle piante.

Anche se il *software* è in grado di prevedere lo *spotting*, qualora il fenomeno si verifichi, è necessario inserire manualmente ulteriori punti di innesco per simulare in modo più attendibile il comportamento di un incendio.

*FARSITE* riesce a simulare anche gli interventi aerei e grazie ai dati forniti, è stato possibile intervenire in simulazione. Importante è sapere con esattezza la rotta seguita da tali aeromobili. Al riguardo sarebbero utili che tali rotte fossero fornite direttamente dal COAU, oppure che venissero riportate con precisione sulla Scheda Incendi una volta giunti sull' incendio.

Per quanto riguarda i mezzi da terra, in Italia non siamo ancora in grado di fornire *FARSITE* delle informazioni di cui ha bisogno. L'argomento potrebbe essere oggetto di ulteriori studi.

Nel complesso, la simulazione dell'incendio di Monte Ongarine ha dato dei buoni risultati. Non per questo *FARSITE* si può considerare validato e pronto all' utilizzo con *Decision Support System* in Regione del Veneto. Questo studio si pone come pioniere di ulteriori approfondimenti che sono ancora necessari per poter applicare il *software* nella realtà veneta.

## BIBLIOGRAFIA

ALBINI, F.A. 1979. *Spot fire distance from burning trees - a predictive model*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-56

ANDERSON D.H, CATCHPOLE E.A., DEMESTRE N.J. e PARKES T. 1982. *Modelling the spread of grass fires*. J. Austral. Math. Soc. (Ser. B.) 23:451-466.

BACCHINI M. (a), 2011. Comunicazione Personale

BACCHINI M. (b), 2011. Comunicazione Personale

BOVIO G., CECCATO R. e MARZANO R. 2007. *Aspetti pirologici delle coperture forestali*. [www.ricercaforestale.it](http://www.ricercaforestale.it)

CAMIA A., 2012. Comunicazione Personale

CESTI G., 2011. Comunicazione Personale

D'AMBROSIO D., DI GREGORIO S., SPATARO W., E. TRUNFIO G.A. 2006. *A Model for the Simulation of Forest Fire Dynamics Using Cellular Automata*. In A. Voinov, A. Jakeman, A. Rizzoli (Eds.), *Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting: " Summit on Environmental Modelling and Software"* . International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, July 2006.

DEL FAVERO R. E ALTRI, 2000 – *Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Regione del Veneto, Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana, Mestre-Venezia, 335 pp.

*FARSITE – FIRE AREA SIMULATOR*. 2004. Rocky Mountain Research Station USDA Forest Service, MT.

FINNEY M.A. 1995. *Fire growth modelling in the Sierra Nevada of California*. Symp. On Fire in Wilderness and Park Management. Missoula Mt.



FINNEY M.A. *FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation*. Ver. 2004. Rocky Mountain Research Station USDA Forest Service, MT

FINNEY M.A. *FARSITE Technical References*. Ver 2004. Rocky Mountain Research Station USDA Forest Service, MT.

FRENCH, I.A. 1992. *Visualisation techniques for the computer simulation of bushfires in two dimensions*. M.S.Thesis University of New South Wales, Australian Defence Force Academy, 140p.

GREEN, D.G. 1983. *Shapes of simulated fires in discrete fuels*. Ecological Modelling Volume 20, Issue 1. Pag: 21-32.

KOURTZ, P. e O'REAGAN W.G. 1971. *A Model a Small Forest Fire . . . to Simulate Burned and Burning Areas for Use in a Detection Model*. Forest Science, Volume 17, Number 2, 1 June 1971 , pp. 163-169 (7).

LEONE V., BOVIO G., CESTI G., LOVREGLIO R. 2009. *Il Direttore delle Operazioni di Spegnimento degli Incendi boschivi: Manuale Tecnico*. Corpo Forestale dello Stato. Università della basilicata. 53-85

MARTELL, D.L. (2007). *Forest Fire Management: current practices and new challenges for operational researchers*. In A. Weintraub, Romero C., R. Trond Bjørndal, R. Epstein, & J.Miranda (Eds.), *Handbook of Operations Research in Natural Resources* (pp. 489-509). Springer Science + Business Media, New York, NY.

MORVAN D., MÉRADJI S., ACCARY G. 2008. *Wildfire behaviour study in a Mediterranean pine stand using a physical based model*. Combustion Science and Technology, 180(2): 230 – 248.

PAPADOPOULOS G.D. E FOTINI-NIOVI P., 2011. *A Comparative Review on Wildfire Simulators*. IEEE SYSTEMS JOURNAL. (Volume: 5 [Issue:2](#)) 233 – 243.

PASTOR E., ZÁRATE L., PLANAS E., ARNALDOS J. 2003. *Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior*. Progress in energy and combustion science (29). 139-153.

RICHARDS, G.D. 1990. *An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution*. Int. J. Numer. Meth. Eng. 30: 1163-1179.

ROTHERMEL, R.C. 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115

ROTHERMEL, R.C. 1991. *Predicting behaviour and size of crown fires in the northern Rocky Mountains*. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-438

SILVA J.S., REGO F.C., FERNANDES P. E RIGOLOTT E. 2010. [Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European Project Fire Paradox, 3 – 6. Porvoo, Finland. Ed: European Forest Institute.](#)

VAN WAGNER, C.E. 1993. *Prediction of crown fire behaviour in two stands of jack pine*. Can. J. For. Res. 23:442-449.

VAN WAGNER, C.E. 1977. *Conditions for the start and spread of crownfire*. Can. J. For. Res. 7:23-24.

YVES BIROT (ED.), 2009. *Living with Wildfires: What Science Can Tell Us*. EFI Discussion Paper 15. European Forest Institute, 2009. 82 p.