

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
Dip. TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di Laurea Magistrale in  
Scienze Forestali e Ambientali

**CARATTERIZZAZIONE DEI COMBUSTIBILI FORESTALI DEI  
COLLI EUGANEI (PD) PER LA PREDIZIONE DEL  
COMPORTAMENTO DEL FUOCO**

**Relatore**

Prof. Tommaso Anfodillo

**Correlatore**

Dott. Rolando Rizzolo

**Laureando**

Emanuele Rossetto  
Matricola n. 1034128

ANNO ACCADEMICO 2014/2015



# **INDICE**

<b>SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>RIASSUNTO</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>7</b>
<b>2. OBIETTIVI</b> .....	<b>12</b>
<b>3. MATERIALI E METODI</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Area di studio</b> .....	<b>13</b>
3.1.1 Inquadramento .....	<b>13</b>
3.1.2 Orogenesi .....	<b>14</b>
3.1.3 Clima .....	<b>14</b>
3.1.4 Vegetazione .....	<b>16</b>
3.1.5 Incendi sui Colli Euganei .....	<b>19</b>
<b>3.2 Protocollo di campionamento</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 Selezione delle aree di campionamento .....	<b>23</b>
3.2.2 Campagna di campionamento .....	<b>24</b>
3.2.3 Metodologia di campionamento .....	<b>25</b>
3.2.4 Calcolo del carico di combustibile .....	<b>32</b>
3.2.5 Determinazione della profondità del letto di combustibile .....	<b>36</b>
3.2.6 Determinazione della copertura arborea .....	<b>37</b>
<b>3.3 Analisi della distribuzione dei dati</b> .....	<b>37</b>
<b>3.4 Determinazione delle classi di combustibile</b> .....	<b>38</b>
<b>3.5 Simulazioni in FARSITE</b> .....	<b>41</b>
3.5.1 Metodologia di valutazione delle classi di combustibile .....	<b>41</b>
3.5.2 Input di FARSITE .....	<b>42</b>
3.5.3 Output di FARSITE .....	<b>51</b>
3.5.4 Verifica delle classi di combustibile al variare delle condizioni ambientali .....	<b>54</b>
3.5.5 Analisi delle simulazioni di FARSITE .....	<b>54</b>
3.5.6 Casi di studio .....	<b>57</b>
<b>4. RISULTATI E DISCUSSIONE</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1 Analisi statistiche dei dati</b> .....	<b>60</b>
4.1.1 Parametri rilevati in campo .....	<b>60</b>
4.1.2 Statistiche descrittive .....	<b>63</b>
4.1.3 Analisi della distribuzione dei dati .....	<b>64</b>

4.1.4	Statistiche in base alla tipologia forestale e alla gestione selvicolturale .....	66
4.1.5	Statistiche in base alla classificazione Prometheus .....	68
<b>4.2</b>	<b>Analisi delle relazioni tra le variabili di soprassuolo e di combustibile .....</b>	<b>70</b>
<b>4.3</b>	<b>Sviluppo delle classi di combustibile .....</b>	<b>80</b>
4.3.1	Parametri di input del combustibile .....	80
4.3.2	Test di comportamento delle classi di combustibile .....	81
4.3.3	Analisi statistica delle differenze di comportamento delle classi individuate .....	87
4.3.4	Confronto con i modelli di combustibile standard .....	91
<b>4.4</b>	<b>Casi di studio .....</b>	<b>94</b>
4.4.1	Monte Grande 2003 .....	94
4.4.2	Monte Ventolone 2003 .....	100
4.4.3	Monte Grande 2011 .....	104
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>108</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>112</b>
<b>7.</b>	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>122</b>
	<b>ALLEGATO A: Scheda per la raccolta dei dati in campo .....</b>	<b>122</b>
	<b>ALLEGATO B: Schede di descrizione delle classi di combustibile Prometheus applicate all'area forestale dei Colli Euganei (PD) .....</b>	<b>126</b>

## SUMMARY

In order to determine the fire behavior in forest the knowledge and the availability of data about the fuels and their spatial distribution are essential. The forest fuels are commonly arranged into classes that describe their characteristics as regards to large areas.

This approach is particularly useful to fire propagation systems that provide a fundamental support in the evaluation of possible strategies of fire prediction and control.

This study, using an accurate sampling methodology (Brown *et al.*, 1982) and the analysis of data, aims to provide a characterization of fuels of those forest types in the Colli Euganei area (Province of Padua, North Eastern Italy) most often hit by wildfire. The data obtained have been classified into four classes according to the Prometheus fuel system (1999) based on structural and qualitative inputs.

Subsequently we assessed the capability of the identified fuels classes to estimate the potential fire behavior by virtue of a comparison between the propagation of the flame front in fires generated by simulation software FARSITE (Finney, 2004) and the one of the same fires really occurred in the Colli Euganei area. Finally the results obtained have been compared with those obtained from the application of standard fuel models developed in the United States (Anderson, 1982).

Though the analysis we showed the relevance of developing classes of fuel fit for describe the local forest characteristics in order to improve the fire behavior prediction: the fire spread modeling in the Colli Euganei area reported positive results.

## SOMMARIO

Nella determinazione del comportamento del fuoco in bosco risultano fondamentali la conoscenza e la disponibilità di dati sulle condizioni del combustibile e sulla sua distribuzione spaziale. I combustibili forestali vengono comunemente sintetizzati in classi omogenee che ne descrivono le caratteristiche su vaste aree. Questo tipo di approccio risulta particolarmente utile nell'impiego di sistemi di propagazione del fronte di fiamma, i quali forniscono un supporto essenziale nella valutazione di possibili strategie di previsione e controllo degli incendi.

Il presente studio, a partire da un'accurata metodologia di campionamento (Brown *et al.*, 1982) e dall'analisi dei dati raccolti in campo, vuole fornire una caratterizzazione dei combustibili relativi alle tipologie forestali maggiormente colpite da incendio nell'area dei Colli Euganei (in provincia di Padova), ovvero i castagneti, gli ostriro-querceti e gli orno-ostrieti. I dati ottenuti sono stati classificati in 4 classi di combustibile secondo il sistema Prometheus (1999) basato su informazioni strutturali e qualitative.

In seguito è stata valutata la capacità delle classi di combustibile individuate di stimare il potenziale comportamento del fuoco grazie al confronto della propagazione del fronte di fiamma in incendi realmente verificatesi nei Colli Euganei, con quella degli stessi incendi ricostruiti attraverso il software di simulazione FARSITE (Finney, 2004). Infine i risultati raggiunti sono stati confrontati con quelli ottenuti dall'applicazione dei modelli di combustibile standard sviluppati negli Stati Uniti (Anderson, 1982).

Attraverso le analisi è stata dimostrata l'importanza di realizzare classi di combustibile specifiche e adatte a descrivere le realtà forestali locali per migliorare la previsione del comportamento degli incendi: la modellazione della propagazione del fuoco nel territorio euganeo ha dato, infatti, risultati positivi.

## 1. INTRODUZIONE

In Italia, la varietà delle condizioni climatiche, geomorfologiche e pedologiche determina una elevata diversità fisionomica delle cenosi forestali, la quale, unitamente alle condizioni strutturali dei popolamenti ne influenza la predisposizione agli incendi, in termini di infiammabilità, quantità, dimensioni e distribuzione spaziale del combustibile vegetale (Bovio *et al.*, 2014).

Per la gestione degli incendi boschivi una conoscenza precisa dello stato del combustibile è perciò fondamentale, in quanto esso costituisce uno dei fattori principali del rischio di incendio (Chiuveco *et al.*, 2004), e l'unico su cui l'uomo sia in grado di intervenire in modo diretto in bosco (Keane *et al.*, 2001). Tuttavia le condizioni del combustibile sono normalmente difficili da descrivere (Arroyo *et al.*, 2008): il complesso dei combustibili è costituito da componenti di diversa tipologia e dimensione.

La quantità di materiale combustibile presente in una determinata area e la sua ripartizione nelle categorie di fitomassa e necromassa è funzione di una serie di variabili spazio - temporali che determinano la composizione vegetazionale del sito. Le variabili spaziali sono costituite dall'insieme dei parametri stazionali: latitudine, quota, esposizione, suolo. Quelle temporali sono invece costituite dalla somma dei parametri climatici nella loro periodicità giornaliera e stagionale, nonché dall'età, dalle attività inerenti alla gestione della vegetazione presente e dai disturbi di natura biotica ed abiotica.

La determinazione puntuale delle singole caratteristiche del combustibile in un dato ambito territoriale appare quindi improponibile (Bovio *et al.*, 2014). D'altra parte l'esigenza operativa di predire il comportamento del fuoco su vasta scala, con il supporto di strumenti decisionali, comporta la necessità di rappresentare questa complessità a livello cartografico (Rollins *et al.*, 2004). A tal fine, la descrizione delle specifiche proprietà rilevanti per la previsione del comportamento del fuoco in foresta si basa su schemi di classificazione capaci di esprimere le caratteristiche generalizzabili di un combustibile. Un approccio comunemente adottato è la classificazione delle coperture vegetali secondo classi e tipi di combustibile: la pluralità di situazioni riscontrabili in natura viene schematizzata in categorie o classi omogenee, per le quali viene fornita una serie di caratteristiche e valori di riferimento (Bovio *et al.*, 2014).

Le classi di combustibile sono un set di parametri che descrivono la vegetazione nei termini richiesti per la soluzione di modelli matematici di previsione del comportamento del fuoco in foresta (Lanorte *et al.*, 2010). Negli Stati Uniti il *Northern Forest Fire Laboratory* (NFFL) ha individuato tredici modelli di combustibili noti come *Standard Fire Behavior Fuel Models* (Albini, 1976; Anderson, 1982; Burgan *et Rothermel*, 1984) concepiti per descrivere, su vaste aree le

caratteristiche del combustibile di superficie secondo i parametri richiesti dal modello di propagazione di Rothermel (1972). I tredici modelli standard, ulteriormente integrati e sviluppati in quaranta (Scott *et* Burgan, 2005), sono suddivisi in quattro gruppi (praterie, cespugliati, lettiere di boschi, residui di utilizzazioni forestali) sulla base dello strato di combustibile principalmente responsabile della propagazione del fuoco (Tabella 1.1); la stessa classe di combustibile può presentarsi perciò in popolamenti forestali differenti per composizione specifica, forma di governo e trattamento (Bovio *et al.*, 2014).

Gruppo	Modello	Descrizione
Praterie	1	Pascoli e prati naturali o artificiali, costituiti da erbe fini, con tessuti senescenti o morti, di altezza inferiore ai 30-40 cm, che ricoprono completamente il suolo. Possono essere presenti sporadicamente arbusti molto bassi o piante arboree comunque occupanti meno di un terzo della superficie. Carico di combustibile: 1 a 2 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Praterie	2	Pascoli e prati naturali o artificiali, costituiti da erbe fini, con tessuti senescenti o morti, di altezza inferiore ai 30-40 cm, che ricoprono completamente il suolo. Specie legnose occupano da uno a due terzi della superficie, ma la propagazione del fuoco è sostenuta dallo stato erbaceo. Carico di combustibile: 5 a 10 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Praterie	3	Pascoli e prati naturali o artificiali, costituiti da erbe dense, con tessuti senescenti o morti, di altezza superiore al metro. È il modello tipico della savana e delle zone umide con clima temperato-caldo. I campi di cereali non mietuti sono rappresentativi del modello. Piante legnose disperse. Carico di combustibile: 4 a 6 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Cespugliati	4	Macchia o piantagione giovane molto densa, di altezza pari o superiore ai due metri. I rami morti presenti all'interno contribuiscono in maniera significativa ad aumentare l'intensità delle fiamme. La propagazione del fuoco avviene tra le chiome. Carico di combustibile: 25 a 35 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Cespugliati	5	Macchia densa e verde, di altezza inferiore al metro; la propagazione del fuoco è sostenuta principalmente dalla lettiera e dallo strato erbaceo presenti. Carico di combustibile: 5 a 8 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Cespugliati	6	Simile al modello 5 ma costituito da specie più infiammabili oppure con resti di utilizzazione e piante di maggiore dimensione. Il fuoco è sostenuto dallo strato arbustivo ma richiede venti moderati o forti. Una ampia gamma di situazioni di macchia bassa è rappresentabile con questo modello. Carico di combustibile: 10 a 15 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Cespugliati	7	Macchia costituita da specie molto infiammabili che costituiscono il piano inferiore arbustivo di boschi di conifere, di altezza variabile tra 0,5 e 2 m di altezza. Carico di combustibile: 10 a 15 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Lettiere di boschi	8	Bosco denso, privo di sottobosco arbustivo. Propagazione del fuoco sostenuta dalla lettiera compatta, costituita da aghi o foglie di ridotte dimensioni. I boschi densi di pino silvestre o di faggio sono esempi rappresentativi. Carico di combustibile: 10 a 12 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Lettiere di boschi	9	Bosco denso, privo di sottobosco arbustivo ma con lettiera meno compatta del modello 8, costituita da conifere ad aghi lunghi e rigidi o da latifoglie a foglia grande. Sono esempi rappresentativi i boschi di pino marittimo e di castagno, talune querce a foglia espansa. Carico di combustibile: 7 a 9 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Lettiere di boschi	10	Bosco con grandi quantità di biomassa a terra (rami, alberi schiantati) accumulata a seguito di eventi quali forti venti, attacchi parassitari, ecc. Carico di combustibile: 30 a 35 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Residui leggeri di utilizzazioni forestali	11	Bosco rado o fortemente diradato. Residui dispersi di spalcature o diradamenti, frammenti ai ricacci delle piante erbacee. Carico di combustibile: 25 a 30 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Residui medi di utilizzazioni forestali	12	I residui prevalgono sugli alberi in piedi ricoprendo tutto il suolo in conseguenza di potature intense o diradamenti. Carico di combustibile: 50 a 80 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)
Residui pesanti di utilizzazioni forestali	13	Grande accumulo di residui di grosse dimensioni che ricoprono completamente il suolo. Carico di combustibile: 120 t ha <sup>-1</sup> (materiale secco)



**Tabella 1.1** – *Descrizione dei 13 modelli standard di combustibile (da Anderson, 1982 e Véléz, 1990, modificata).*

Il sistema NFFL, che descrive le forme fisionomico - strutturali di vegetazione presenti negli Stati Uniti, è stato adottato in tutto il mondo, sia con i parametri originari che con variazioni locali, come standard da impiegare nella pianificazione e prevenzione AIB (antincendio boschivo). Tuttavia, in ambienti differenti dal territorio di origine, non è sempre possibile l'applicazione dei modelli di combustibile come input per la previsione del fuoco (Bovio *et al.*, 2007); in questi casi sono necessarie delle correzioni realizzate attraverso nuove misurazioni che permettano una descrizione affidabile delle caratteristiche del luogo in cui si vuole fare la previsione (Bovio *et Ascoli*, 2013).

Diverso è l'approccio di classificazione dei tipi di combustibile (*fuel types*), che prevede una descrizione morfologica e strutturale, unitamente ad una valutazione qualitativa dei combustibili forestali definiti come "associazioni identificabili di elementi combustibili di determinata specie, forma, dimensione, stratificazione e continuità" (Pyne *et al.*, 1996). In ambito europeo, una classificazione dei combustibili basata su tipi è stata sviluppata attraverso una serie di progetti finanziati dall'Unione Europea (INFLAME, 1998; PROMETHEUS, 1999; SPREAD, 2002). L'obiettivo principale di questa classificazione era quello di migliorare le conoscenze finalizzate alla valutazione e alla stima degli effetti del fuoco sugli ecosistemi forestali europei e quindi utilizzabili come supporto all'organizzazione delle attività di prevenzione. I tipi di combustibile sono considerati modelli semplificati di descrizione dello strato combustibile che favorisce la propagazione del fuoco. Essi vengono utilizzati per applicazioni a scala territoriale e con fini prevalentemente pianificatori; risultano idonei alla valutazione del rischio di incendio e contribuiscono alla definizione del pericolo di incendio.

Oggi è ampiamente riconosciuto che questi sistemi solidi di classificazione dei combustibili sono strumenti essenziali per la cartografia dei combustibili, la stima del pericolo, la valutazione su opzioni e procedimenti nel trattamento dei combustibili e il monitoraggio degli effetti del fuoco (Sandberg *et al.*, 2001). In particolare, le mappe delle tipologie di combustibile rappresentano tematismi di input indispensabili per la simulazione del comportamento del fronte di fiamma in un determinato ambito territoriale.

Nella gestione degli incendi boschivi si sono diffuse una serie di tecnologie ed applicazioni software per l'integrazione e il trattamento di differenti tipi di informazioni (territoriali, meteorologiche ed anche vegetazionali) finalizzate a fornire dati di sintesi da utilizzare per la gestione operativa dell'emergenza. Tali applicazioni, comunemente definite sistemi di supporto alle decisioni (Arca *et al.*, 2009), possono intervenire nelle fasi di: determinazione del rischio potenziale di incendio, prevenzione del comportamento e velocità di propagazione, determinazione delle risorse umane e dei mezzi necessari per lo spegnimento. L'aspetto del comportamento e della

propagazione dell'incendio è uno dei punti più critici della struttura decisionale, poiché l'incendio è un evento che ha caratteristiche evolutive e dinamiche altamente variabili nel tempo e nello spazio, specialmente in presenza di coperture vegetali eterogenee. Per queste ragioni, all'interno di un sistema di supporto alle decisioni, è prioritario lo sviluppo e la validazione di un modello per la previsione a breve termine della propagazione degli incendi (Arca *et al.*, 2009). Tra questi modelli di simulazione, FARSITE (Fire Area Simulator, Finney, 2004) è uno tra i più diffusi: si tratta di un software, sviluppato negli Stati Uniti, che si basa sul modello semiempirico di Rothermel (1972), nella forma implementata nel sistema BEHAVE (Andrews, 1986). Il simulatore è in grado di fornire dettagliate analisi del comportamento e dell'evoluzione dell'incendio nel tempo e nello spazio (velocità di propagazione, intensità lineare del fronte di fiamma, area coperta dall'incendio, etc.), in funzione delle interazioni tra vegetazione, topografia e condizioni meteorologiche. Lo sviluppo spaziale del fuoco viene simulato come onde ellittiche che si espandono su una superficie piana, mediante l'applicazione del principio di Huygens, nella forma implementata da Richards (1990). L'impiego di FARSITE in aree diverse da quelle in cui il simulatore è stato originariamente messo a punto, richiede però una calibrazione locale affinché si possano ottenere risultati attendibili (Salis, 2008). Quanto affermato è in particolar modo valido per gli ecosistemi forestali presenti in Italia, in cui la comunità vegetale è caratterizzata da un'elevata eterogeneità e complessità specifica e strutturale, determinata dall'interazione fra clima e fattori antropici: un "disordine territoriale" (Cesti, 2005) che si traduce in una successione di tipi vegetazionali anche molto diversi fra loro nell'arco di uno spazio molto ristretto (sia nella tipologia sia nel carico di combustibile). Questi problemi non sono indifferenti e risultano uno dei principali limiti applicativi dei modelli di combustibile in varie realtà italiane.

Per la calibrazione di FARSITE è necessario dunque, porre molta attenzione alla scelta dei più appropriati modelli standard oppure sviluppare dei modelli di combustibile specifici per le condizioni vegetazionali locali (Salis, 2008). Tuttavia, nel nostro paese la stima del combustibile e la definizione di modelli di combustibile sono argomenti non ancora affrontati nella loro interezza. Data la scarsità di studi dedicati all'analisi sistematica delle caratteristiche della vegetazione relative al comportamento del fuoco, spesso si utilizzano dati e classi di combustibile sviluppati in altre nazioni. Inoltre la maggior parte di queste ricerche è stata compiuta in ambiente mediterraneo (Bacciu, 2009; Duce *et al.*, 2011; Arca *et al.*, 2007), mentre la conoscenza dei combustibili nelle zone montuose alpine, prealpine e appenniniche (Marchetti, 1994; Carlini *et al.*, 2001; Goatin, 2011) risulta ancora poco approfondita. Ad esempio, in Veneto per la mancanza di informazioni dettagliate riguardanti la quantità e la distribuzione del combustibile a livello regionale, non è stato sinora possibile applicare i modelli di propagazione a fine gestionale.

Il presente lavoro di tesi si inserisce nel panorama così delineato con lo scopo di dare un contributo allo studio dei combustibili in Veneto, nello specifico, quelli presenti nei sistemi collinari della regione avanalpica.

Fra gli obiettivi primari, si pone l'accento sullo sviluppo di modelli di combustibile (in questa sede definiti classi) per le aree forestali maggiormente colpite da incendio nei Colli Euganei.

L'attività di ricerca ha previsto l'utilizzo di una accurata metodologia di campionamento (Brown *et al.*, 1982) e l'analisi dei dati di combustibile, con conseguente classificazione delle principali tipologie riscontrate nella fase di rilievo. Infine i valori così ottenuti sono stati verificati attraverso FARSITE, utilizzandoli come input nella simulazione di incendi realmente avvenuti.

## **2. OBIETTIVI**

Questo lavoro, a partire dall'analisi di dati raccolti in campo, si propone di fornire una serie di parametri descrittivi dei combustibili relativi alle tipologie forestali maggiormente colpite da incendio nell'area dei Colli Euganei, ovvero i castagneti, gli ostriro-querzeti e gli orno-ostrieti.

Gli obiettivi specifici dello studio sono:

- 1) Caratterizzazione dei complessi di combustibile e analisi delle relazioni fra il carico misurato e le proprietà strutturali del soprassuolo.
- 2) Sviluppare una serie di classi di combustibile per la zona euganea secondo una classificazione di tipo strutturale e qualitativo.
- 3) Verifica della capacità delle classi di combustibile individuate di stimare il potenziale comportamento del fuoco in base al confronto della propagazione del fronte di fiamma in incendi realmente verificatesi nei Colli Euganei, con quella degli stessi incendi ricostruiti attraverso il software di simulazione FARSITE (Finney, 2004).

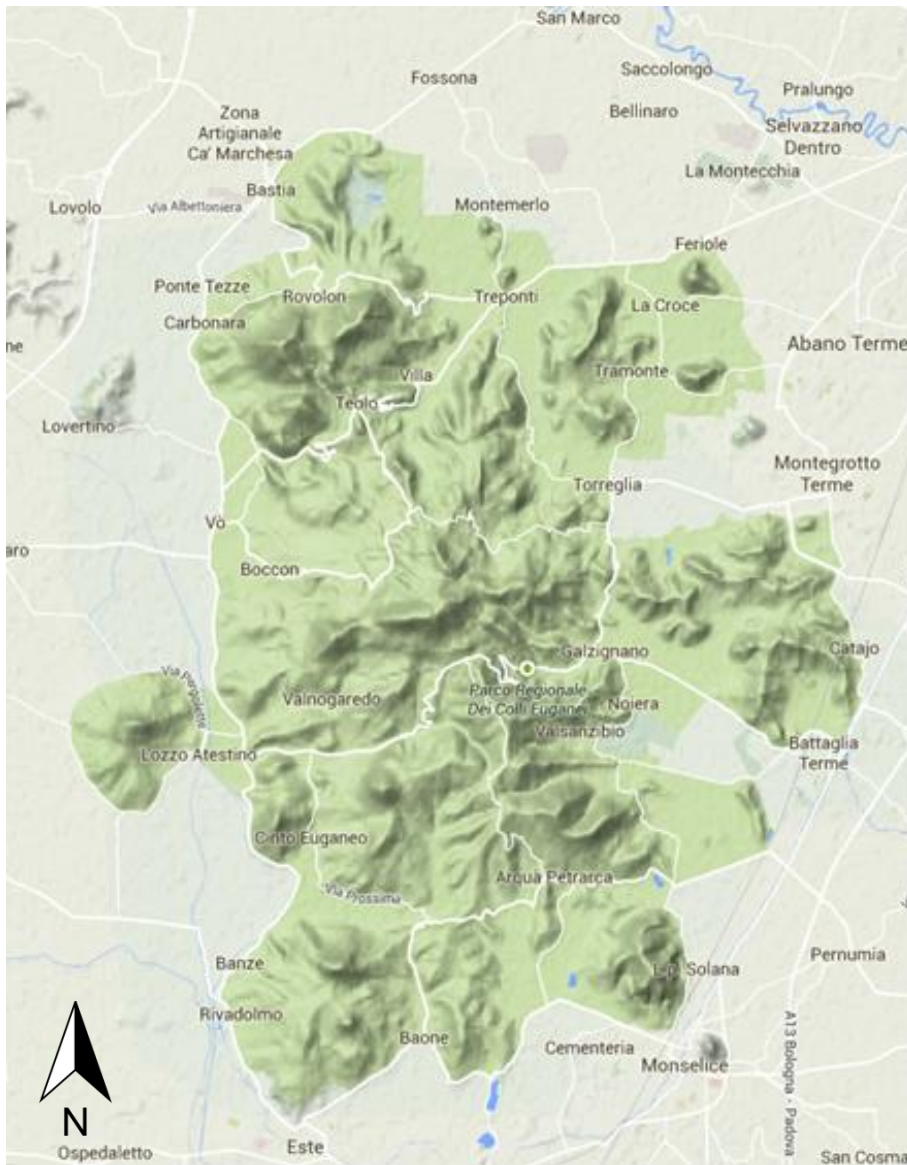
### **3. MATERIALI E METODI**

#### **3.1 Area di studio**

##### ***3.1.1 Inquadramento***

I Colli Euganei, formati da oltre 100 elevazioni tra maggiori e minori, sorgono isolati nella Pianura Padana a circa dieci chilometri a sud-ovest di Padova. Il sistema collinare, che si estende su una superficie totale di 21.815 ettari, possiede una forma sostanzialmente ellittica con l'asse maggiore orientato in direzione nord-sud e lungo una ventina di chilometri (Figura 3.1).

L'elevazione del complesso risulta relativamente modesta con altitudine dei colli principali oscillante tra 300 e 500 m s.l.m.; il rilievo più elevato è il Monte Venda (603 m).



**Figura 3.1** – Colli Euganei, scala 1:180.000 (fonte: Google Maps).

### 3.1.2 Orogenesi

La variegata conformazione odierna dei Colli Euganei è il risultato di differenti fenomeni sedimentari e vulcanici sottomarini. L'evoluzione geologico - stratigrafica non sarebbe stata dissimile da quella degli altri settori delle Prealpi venete se quest'area non fosse stata interessata, per gran parte del Paleogene, da imponenti eruzioni vulcaniche a chimismo molto differenziato (Veneto Agricoltura, 2001). Tra l'Eocene superiore (45 milioni di anni fa) e l'Oligocene inferiore (35 milioni di anni fa) due distinti cicli vulcanici portarono alla formazione di corpi rocciosi intrusivi ed effusivi con tenori di silice molto variabili, da francamente basici ad acidi. Nel corso dei secoli l'azione erosiva degli agenti esogeni ha modellato le forme coniche e i dolci crinali calcarei contribuendo a modificare la morfologia del paesaggio euganeo.

Da ciò deriva la grande varietà litologica che contraddistingue i Colli Euganei, e che li differenzia profondamente dagli altri sistemi montuoso - collinari contigui.

### 3.1.3 *Clima*

Il clima del comprensorio euganeo non si discosta molto da quello della pianura circostante. In generale presenta condizioni termiche quasi mediterranee, con inverni miti ed estati calde ed asciutte.

Sui Colli Euganei le temperature medie mensili non superano i 24-25°C e raramente toccano 0°C. La termometria a livello locale è influenzata dall'esposizione dei versanti più che dall'altitudine e risente in modo particolare dell'influenza della bora e della vicinanza del mare: la prima nel periodo invernale può rendere il clima rigido e soggetto a forti sbalzi, soprattutto nei versanti esposti a nord-est, invece la vicinanza del mare Adriatico, distante circa 40 km, contribuisce ad un'azione termoregolatrice in grado di mitigare le escursioni stagionali tra notte e giorno.

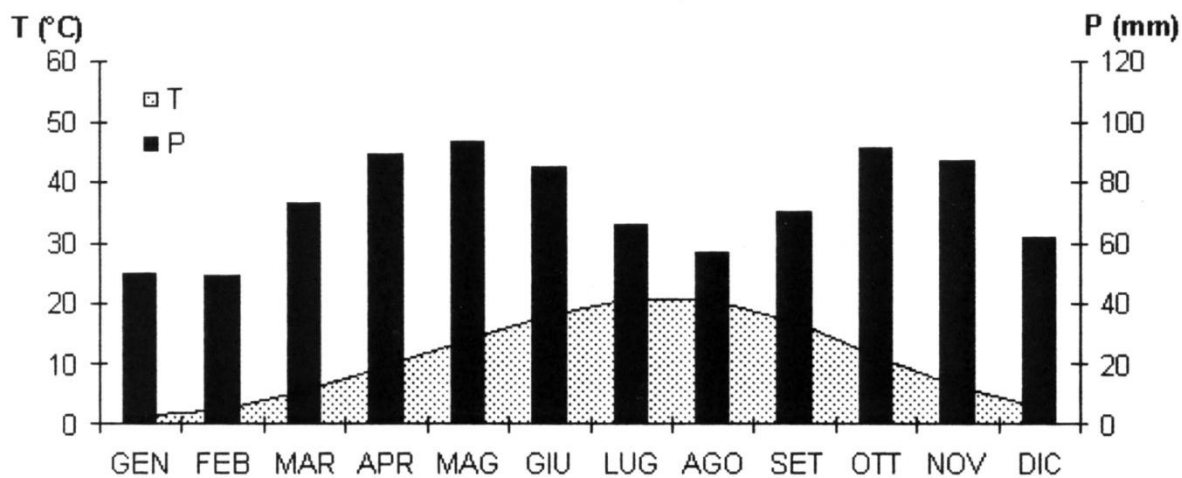
Nelle giornate limpide e nelle prime ore del mattino è frequente il fenomeno dell'inversione termica, per cui le zone collinari godono di una temperatura superiore rispetto alla pianura.

Basandosi sulle registrazioni effettuate in passato dalle stazioni del Monte Venda (Figura 3.2) e di Battaglia Terme (Figura 3.3), si può dedurre che la piovosità media annua sia compresa tra 700 e 900 mm, mentre quella media mensile varia tra 40 e 90 mm (Veneto Agricoltura, 2001). La distribuzione delle piogge nel corso dell'anno presenta due punte massime, in primavera e in autunno e due minime in inverno e in estate, determinando un regime equinoziale; esistono degli influssi mediterranei sul regime idrico, dimostrati dai minimi estivi e da fenomeni di siccità estiva a ricorrenza ciclica.

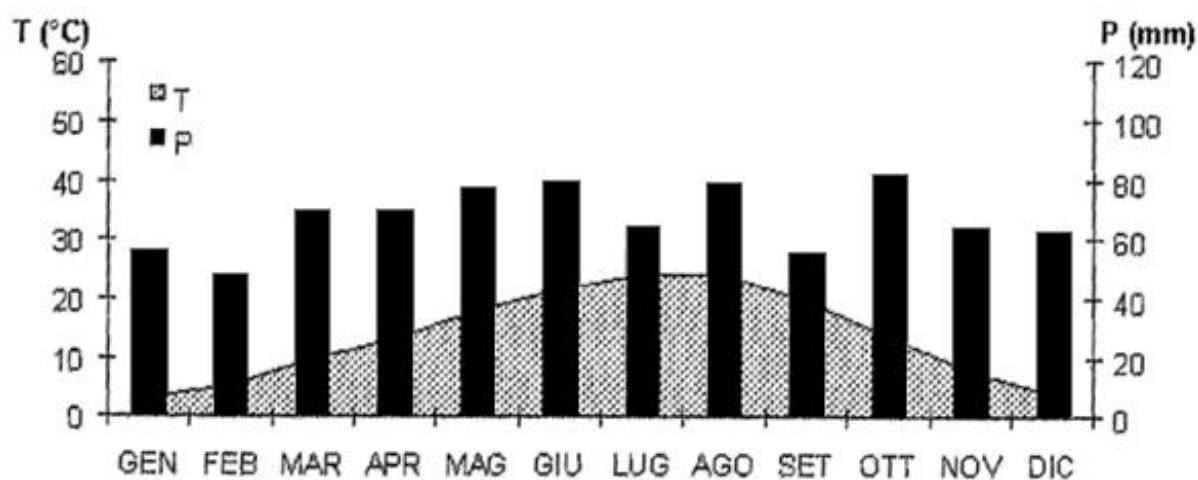
In media si rilevano da 4 a 7 giorni nevosi all'anno, concentrati per lo più nel mese di gennaio. L'umidità relativa è variabile tra la pianura e la collina, dove i valori sono notevolmente inferiori; la formazione di rugiada e brina è legata alla quota e all'esposizione e si verifica con maggiore frequenza nel periodo tra novembre e aprile. I venti prevalenti provengono da NNE, NE e N con velocità e frequenze basse.

Sulla base delle analisi vegetazionali e dallo studio dei parametri climatici da parte di Susmel e Famiglietti (1968), il clima degli Euganei corrisponde al *Castanetum* di Pavari, distinto in due orizzonti climatici principali: il sub-mediterraneo e il sub-montano, costituiti a loro volta da due sottotipi ciascuno. Il sub-mediterraneo presenta transizione dal clima mediterraneo al sub-mediterraneo, ed il sub-montano transizione dal sub-montano al montano (Astolfi *et* Colombara, 1990). La complessità orografica del territorio permette inoltre l'esistenza di numerosi microclimi

cui corrisponde, anche grazie alle vicende legate alle glaciazioni, un'elevatissima varietà vegetazionale.



**Figura 3.2** – Diagramma termo-pluviometrico di Bagnouls e Gaussens relativo alla stazione di Monte Venda nel quarantennio 1923-1962 (tratta da Veneto Agricoltura, 2001).



**Figura 3.3** – Diagramma termo-pluviometrico di Bagnouls e Gaussens relativo alla stazione di Battaglia Terme, per i dati pluviometrici, e Este, per quelli termometrici nel ventennio 1973-1992 (tratta da Veneto Agricoltura, 2001).

### 3.1.4 Vegetazione

La vegetazione dei Colli Euganei si presenta abbondante e diversificata grazie alla varietà dei suoli, alle vicende glaciali e post-glaciali ed alla forma conica dei rilievi che permette l'esistenza di contrapposte situazioni microtermiche e termofile, a brevissima distanza (Mazzetti, 1992). Il paesaggio forestale presente attualmente nell'area euganea è stato inoltre fortemente condizionato dall'azione antropica, che si è manifestata con utilizzazioni secolari, coltivazioni a ceduo (specialmente di castagno), nonché con l'acquisizione dei terreni con caratteristiche maggiormente idonee agli scopi dell'agricoltura.



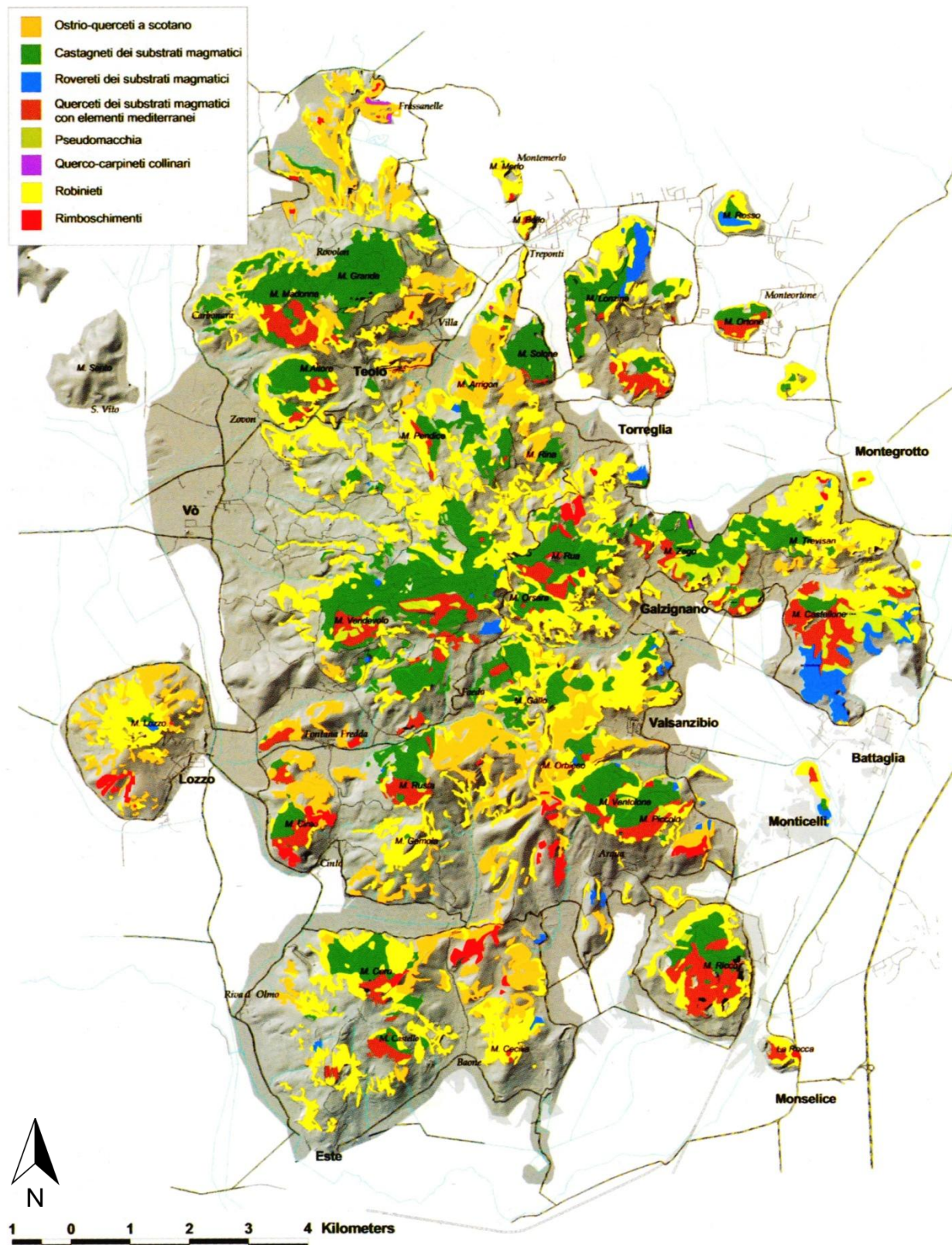
Secondo il sistema delle tipologie forestali proposto da Del Favero (2000) per la Regione Veneto, le unità tipologiche individuate nei Colli Euganei sono:

- Ostrio-querceto a scotano: var. con roverella; var. con Terebinto;
- Castagneto dei substrati magmatici: var. con faggio; var. con carpino bianco;
- Querceto dei substrati magmatici: var. con faggio; var. con carpino bianco;
- Rovereto dei substrati magmatici: var. dei suoli xerici;
- Querceto dei substrati magmatici con elementi mediterranei;
- Pseudomacchia;
- Querco-carpineto collinare;
- Orno-ostrieto con leccio s.l.;
- Robinieto misto;
- Robinieto puro;
- Rimboschimento.

Le superfici occupate da ciascun'unità sono riportate in Tabella 3.1, mentre in Figura 3.4 è rappresentata la distribuzione spaziale delle diverse unità nel territorio.

<b>Tipi forestali</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Ostrio-querceto a scotano	825,07	15,60
Castagneti dei substrati magmatici	1583,45	29,93
Rovereto dei substrati magmatici	142,83	2,70
Querceto dei substrati magmatici con elementi mediterranei	507,20	9,59
Pseudomacchia	113,24	2,14
Querco-carpineto collinare	5,20	0,10
Orno-ostrieto con leccio	6,90	0,13
Robinieto misto	696,90	13,17
Robinieto puro	1309,13	24,75
Rimboschimento	100,29	1,90
<b>Superficie boscata</b>	<b>5290,21</b>	<b>100</b>

**Tabella 3.1** – *Tipi forestali presenti nei Colli Euganei, superficie e relativa percentuale rispetto alla superficie boscata complessiva (tratta da Del Favero, 2001).*



*Figura 3.4 – Carta dei tipi forestali presenti nel territorio dei Colli Euganei (tratta da Del Favero, 2001.)*

Il castagneto dei substrati magmatici costituisce la formazione forestale più frequente dell'intero comprensorio dei Colli Euganei, in particolare nei versanti esposti a nord. La sua distribuzione rientra nell'orizzonte climatico submontano, pur non mancando sui luoghi silicei dell'orizzonte sub mediterraneo, qualora il terreno non sia troppo arido (Mazzetti, 1992). Si tratta di un consorzio a netta prevalenza di castagno accompagnato, mai per più del 50% della composizione, dalla rovere, dal carpino bianco, dal ciavardello, dall'orniello, dal sorbo montano e dal tiglio (Del Favero, 2001). In generale, i suoli sono profondi e freschi, riconducibili ai cambisol, anche se le condizioni edafiche possono cambiare in relazione alla micromorfologia dei versanti. Talvolta il castagneto è presente anche nei versanti esposti a sud, assumendo però una fisionomia differente (altezza e diametro inferiori) e arricchendosi con specie più termofile, quali la roverella, l'orniello e gli elementi mediterranei (corbezzolo ed erica). L'origine di tali popolamenti è solo in parte naturale in quanto, in passato, il castagno costituiva un'importante risorsa per le popolazioni locali, sia per quanto riguarda l'approvvigionamento alimentare sia per quanto concerne la disponibilità di legna da ardere, per paleria e da opera. Questa specie era preferita alle altre colture perché dava, a brevi cicli, prodotti diversi, di facile conservazione sempre richiesti sul mercato. Il castagneto occupa oggi ambienti propri di altri consorzi, essendo stato favorito dall'uomo e grazie alla sua capacità concorrenziale. La specie più penalizzata soprattutto nei versanti più freschi è stata la rovere: in queste stazioni dovrebbe infatti partecipare per almeno l'8-10% ma risulta spesso inferiore o addirittura mancante. Molti castagneti rappresentano perciò formazioni secondarie su altri tipi forestali sviluppatasi a seguito di interventi antropici che, come la ceduzione, esaltano la capacità competitiva del castagno (Del Favero e Lasen, 1993).

Sui substrati carbonatici (calcareo-marnosi, biancone, scaglia, ecc), il tipo forestale più comune è l'ostrio-querceto a scotano. Si incontra su suoli che hanno una limitata potenza e sono per lo più riconducibili ai leptosol o ai regosol e in porzioni limitate, ai cambisol. Le specie arboree che vi partecipano sono l'orniello, il carpino nero, la roverella e in forma sporadica il ciavardello e l'acero campestre (Del Favero, 2001). Nello strato arbustivo ed erbaceo vi è la presenza dello scotano, rosa canina e del pungitopo. Frequentemente questa particolare associazione deriva da processi di ricolonizzazione di cenosi erbacee aride (vegri), in seguito all'abbandono del pascolo e dello sfalcio. Le tre specie arboree principali tendono ad insediarsi contemporaneamente, ma nel medio periodo, il carpino nero e l'orniello, grazie alla più rapida crescita iniziale, riescono più facilmente ad affermarsi. Dove l'ostrio-querceto è insediato già da molto tempo e la ceduzione non è stata troppo frequente, la roverella tende a divenire dominante e il carpino nero e l'orniello, così come lo scotano, possono rarefarsi. Si tratta di situazioni, generalmente mai troppo estese, che sono segnalate come variante a roverella (Del Favero, 2001).

### 3.1.5. Incendi sui Colli Euganei

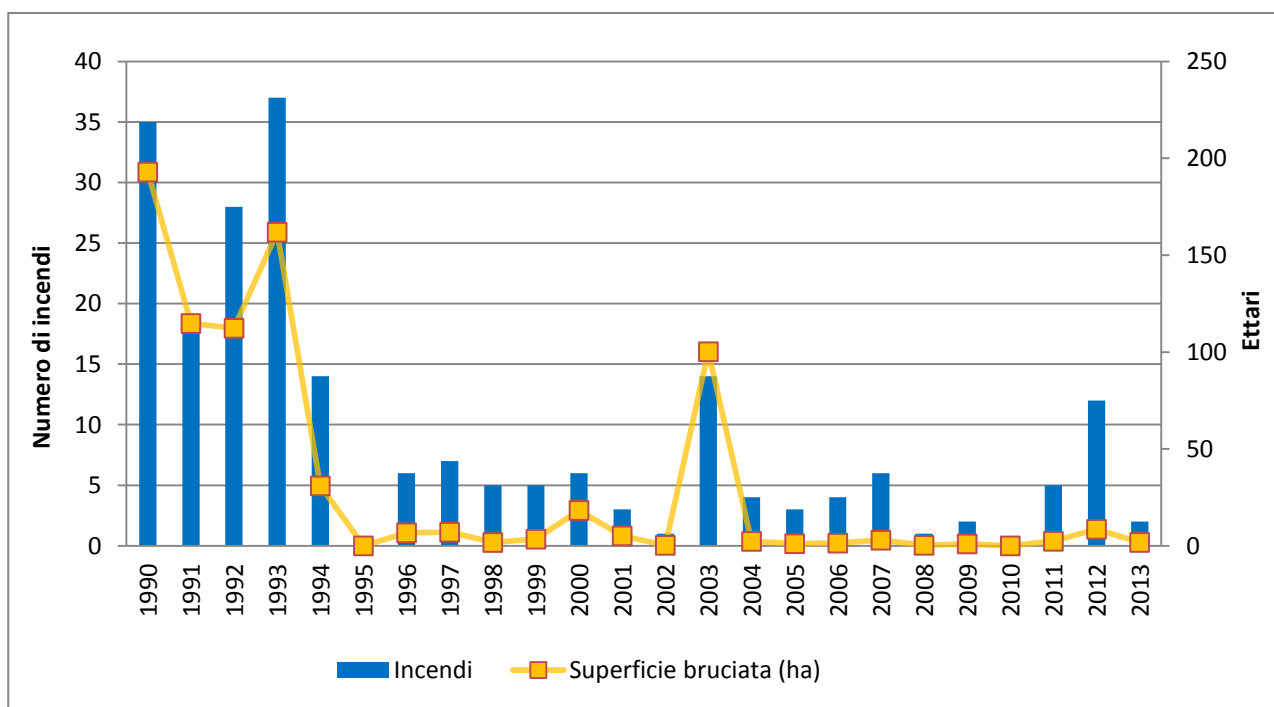
Nei Colli Euganei, l'incendio risulta essere la principale calamità che può alterare in modo significativo lo stato di equilibrio del bosco: oltre a causare un danno economico diretto, conseguente alla distruzione del legname, può comportare gravi danni ambientali, quali lo sconvolgimento del paesaggio naturale, la compromissione di habitat essenziali alla sopravvivenza della fauna selvatica, la distruzione della vegetazione erbacea ed arbustiva con la conseguente erosione del suolo. Si tratta di un evento ricorrente che interessa mediamente una superficie annua di 3,55 ha di bosco (dati relativi al periodo 1990-2013; Regione Veneto, 2014). Il numero degli incendi si è andato modificando nel tempo (Tabella 3.2; Figura 3.5): fra il 1990 e il 1993 la loro frequenza era molto alta mentre, a partire dal 1994, iniziarono a diminuire e nel 1995, addirittura, non se ne verificarono.

Anno	Incendi	Superficie bruciata (ha)	Superficie media per incendio (ha)
1990	35	192,95	5,51
1991	19	114,8	6,04
1992	28	112,3	4,01
1993	37	161,9	4,38
1994	14	30,98	2,21
1995	0	0	0
1996	6	6,75	1,13
1997	7	7,05	1,01
1998	5	1,75	0,35
1999	5	3,45	0,69
2000	6	18,3	3,05
2001	3	5,15	1,72
2002	1	0,29	0,29
2003	14	100,23	7,16
2004	4	2,32	0,58
2005	3	1,12	0,37
2006	4	1,41	0,35
2007	6	2,93	0,5
2008	1	0,31	0,31
2009	2	1,02	0,51
2010	0	0	0
2011	5	2,39	0,48
2012	12	8,56	0,71
2013	2	1,78	0,89
Totale	219	777,74	3,55

**Tabella 3.2** – Incendi e superfici bruciate sui Colli Euganei nel periodo 1990-2013.

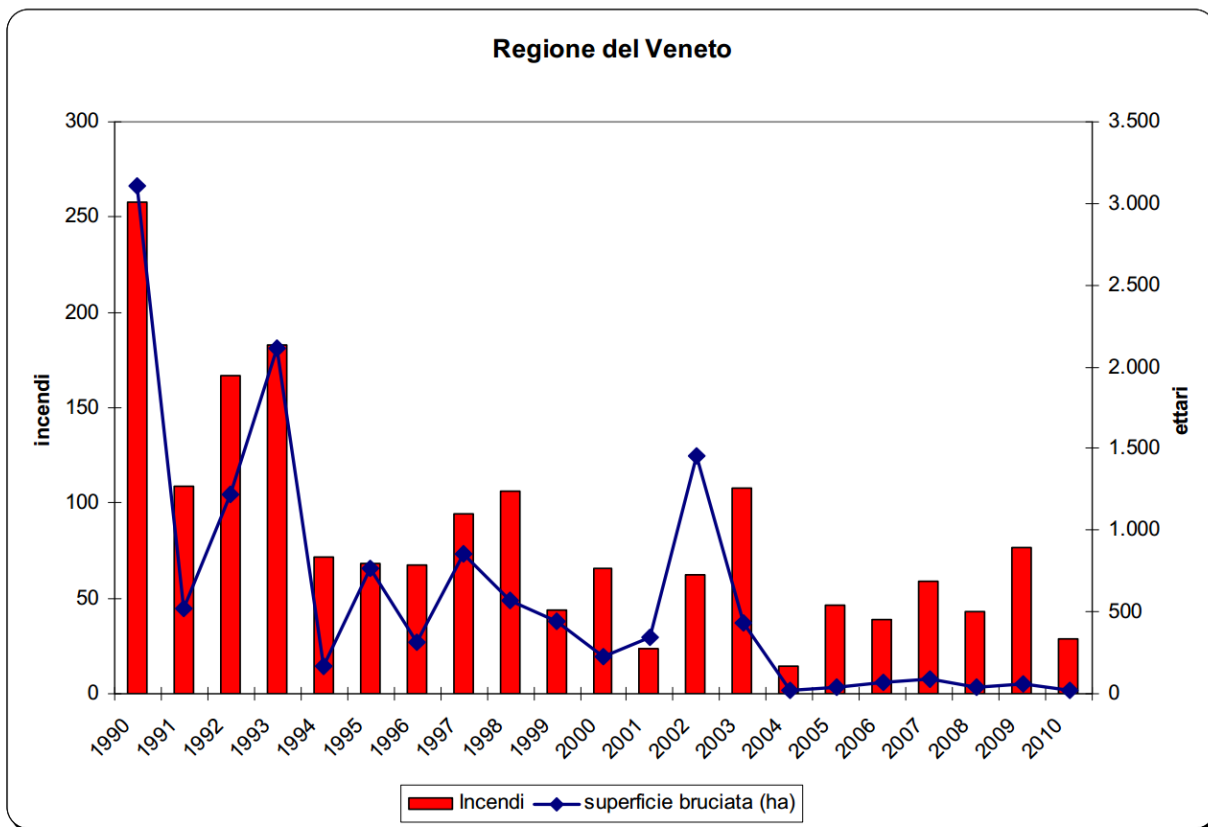
Per spiegare questo significativo cambiamento si deve ricordare l'iniziale ostilità con cui fu accolta l'istituzione del Parco Regionale dei Colli Euganei avvenuta con Legge Regionale n° 38 del 10/10/1989. Spesso le popolazioni locali avversano la creazione di riserve e parchi, convinti che l'imposizione di vincoli e restrizioni sull'uso del territorio protetto rappresenti un'ingiustizia ed una limitazione dei loro diritti (Favero, 2009). Il disaccordo di alcuni abitanti dei Colli nei confronti di un provvedimento considerato iniquo sfociò in numerosi atti incendiari dolosi che interessarono ampie superfici boscate anche di pregio naturalistico. Queste forme di protesta scemarono nel momento in cui divennero percepibili le ricadute positive della presenza del nuovo Ente sul territorio. Infatti, dal 1995 in poi il numero degli incendi si è riportato su valori analoghi a quelli del periodo precedente all'istituzione del Parco (Del Favero, 2001). Questo trend si è mantenuto per tutto il periodo preso in considerazione, eccezion fatta per il 2003, anno in cui, un'estate particolarmente calda e seccata ha favorito l'innescò e la propagazione di numerosi incendi, la maggior parte dei quali comunque di origine dolosa o colposa. Il 2003 è stato significativo sia in termini di numero di eventi verificatisi (14) sia di superficie percorsa (100,23 ettari) che ha riguardato in particolare castagneti del comune di Galzignano Terme (48 ettari) e di Rovolon (30,68 ettari). Dal 1990 al 2013 complessivamente nel territorio dei Colli Euganei si sono verificati 219 incendi, per un totale di 777,74 ettari.

Contrariamente a quanto accade per la Regione Veneto, in cui gli incendi si verificano soprattutto nei mesi di febbraio e marzo (Cavalli *et al.*, 2002), sui Colli Euganei l'andamento della distribuzione del numero di incendi mensili evidenzia due picchi: uno minore invernale-primaverile (febbraio-aprile) ed uno principale estivo (luglio-agosto). Sono questi, infatti, i periodi dell'anno in cui è più consistente il flusso turistico e, almeno nel periodo primaverile, sono svolte la maggior parte delle attività agricole (Del Favero, 2001); inoltre i Colli sono caratterizzati da un regime climatico che si avvicina a quello tipicamente mediterraneo, con un periodo di siccità e quindi di infiammabilità estivo.



**Figura 3.5** – Grafico relativo al numero di incendi e superfici bruciate sui Colli Euganei nel periodo 1990-2013.

Negli ultimi vent'anni, in tutto il Veneto si è assistito ad una tendenza alla diminuzione del numero di incendi boschivi e soprattutto della superficie bruciata (Regione Veneto, 2011). Ciò può essere attribuito sia ad una maggiore coscienza ambientale da parte della popolazione che presta sempre più attenzione a non provocare accidentalmente incendi boschivi sia al continuo miglioramento dell'efficienza del sistema antincendio boschivo del Veneto, soprattutto per quel che riguarda la superficie bruciata totale, poiché, grazie ad un intervento rapido ed efficace è possibile ridurre fortemente la superficie bruciata in un incendio. In Figura 3.6 si può notare come, a partire dal 2004, la superficie bruciata in Veneto si attesti sempre su valori particolarmente bassi nonostante il numero di incendi raggiunga valori di poco inferiori rispetto al decennio precedente. Infine la notevole variabilità da un anno all'altro è strettamente collegata con i fattori meteorologici: è evidente infatti l'effetto della siccità del 2003.



**Figura 3.6** – Grafico relativo al numero di incendi e superfici bruciate in Veneto nel periodo 1990-2010 (tratta da Regione Veneto, 2011).

## 3.2 Protocollo di campionamento

### 3.2.1 Selezione delle aree di campionamento

La distribuzione delle aree campionabili è stata fatta con l'intenzione di rappresentare le situazioni maggiormente a rischio di incendio dei Colli Euganei. Per questo motivo i punti di rilievo sono stati distribuiti in maniera casuale entro una zona *buffer* con raggio di 400 m attorno agli incendi avvenuti dal 2003 al 2012 che abbiano interessato un'area di almeno 5000 m<sup>2</sup>. I campioni sono stati stratificati in base alla tipologia forestale riportata nella Carta di Uso del Suolo. Per limiti di tempo si è scelto di non campionare tutte le tipologie forestali presenti ma solo quelle dei castagneti e degli orno-ostrieti o degli ostrio-querzeti, in quanto nel Piano AIB regionale risultano essere le più frequentemente percorse dal fuoco (Regione Veneto, 1999).

La selezione è stata fatta utilizzando Arcgis 10.0 con i seguenti passaggi:

- Realizzazione della carta degli incendi avvenuti dal 2003 al 2012, utilizzando i file *shape* dei singoli incendi forniti dalla Regione Veneto;
- Creazione di un'area *buffer* con raggio di 400 m attorno agli incendi con una superficie bruciata di almeno 5000 m<sup>2</sup>;
- Taglio della Carta di Uso del Suolo con l'area *buffer* mediante la funzione *clip*;
- Dalle particelle così trovate sono state estratte quelle relative ad orno-ostrieti, ostrio-querzeti e castagneti, per definire le aree campionabili;
- Nelle aree campionabili, utilizzando l'estensione di ArcGis "*Spatial Ecology*", sono stati distribuiti 60 punti casuali, per ognuna delle tipologie forestali, imponendo una distanza fra di essi non inferiore a 50 m. I punti individuati risultavano ben superiori al numero di campionamenti necessari per la ricerca che, in base allo studio condotto da Goatin (2011), si stimava fossero circa 20. È stata compiuta questa scelta per avere un sufficiente numero di punti di riserva nel caso in cui alcune delle aree di campionamento fossero risultate non raggiungibili.

Infine, per ogni tipologia forestale è stato deciso di non definire a priori il numero di campionamenti ma di effettuare i rilievi seguendo l'ordine progressivo dei punti fintantoché l'errore percentuale dei combustibili 1 h non fosse risultato almeno uguale o inferiore al 20%, come previsto nella metodologia di campionamento adottata in questo studio (Brown *et al.*, 1982). Sono stati presi in considerazione i combustibili con tempo di rilassamento 1 h poiché hanno una maggiore influenza sulla velocità di avanzamento e sull'intensità del fronte di fiamma (Rothermel, 1983; Cheney, 1990).



L'errore percentuale della media viene calcolato come segue (Brown *et al.*, 1982):

$$Errore \% = [s/(\mu)(n)^{0,5}](100) = cv/n^{0,5} \quad [3.1]$$

dove:

*Errore %* = errore percentuale della media;

*s* = deviazione standard;

$\mu$  = media aritmetica;

*n* = numero di campionamenti;

*cv* = coefficiente di variazione dato dal rapporto tra deviazione standard e media per cento.

### 3.2.2 Campagna di campionamento

In totale sono state eseguite 32 aree di saggio, di cui 15 ascrivibili alla tipologia forestale dei castagneti e 17 a quella degli orno-ostrieti o ostrio-querceti.

Nella realizzazione dei campionamenti sono emerse alcune difficoltà legate all'elevata antropizzazione della zona euganea per cui non è stato possibile campionare alcune aree: 11 punti perché ricadenti in proprietà privata recintata, 3 perché la tipologia realmente presente non era fra quelle oggetto di campionamento, in 2 occasioni la tipologia forestale di interesse era presente nelle vicinanze e quindi l'area di campionamento è stata spostata. Infine 3 punti sono stati spostati di almeno 10 m poiché ricadenti troppo vicino a strade o siepi perimetrali o sotto le aree di servizio di linee elettriche.

Le coordinate planimetriche riportate in Tabella 3.3 si riferiscono al sistema cartografico UTM su Datum WGS84.

<b>PARTICELLA</b>	<b>Località</b>	<b>Tipologia forestale</b>	<b>X (WGS84)</b>	<b>Y (WGS84)</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>
C00	Rifugio Monte Rua	Castagneto	712818	5022143	307
C01	Monte Rua	Castagneto	712819	5022030	299
C04	Monte Grande	Castagneto	709891	5026801	236
C05	Monte Vendevolo	Castagneto	709077	5020400	247
C06	Monte Grande	Castagneto	709257	5026514	437
C08	Monte Grande	Castagneto	709054	5026155	336
C10	Monte Vendevolo	Castagneto	708795	5020399	253
C11	Monte Ventolone	Castagneto	713350	5017869	392
C14	Passo Roverello	Castagneto	712127	5021451	242
C16	Monte Grande	Castagneto	709595	5027057	322
C20	Monte della Madonna	Castagneto	708142	5026394	530
C22	Monte Perato	Castagneto	711856	5019986	363
C23	Monte Grande	Castagneto	709134	26524	468
C24	Monte Vendevolo	Castagneto	709338	5020556	252
C61	Monte Grande	Castagneto	708707	5026471	350

C07	Monte Calbarina	Orno-ostrieto	714826	5017173	71
O05	Crosara	Orno-ostrieto	707689	5018910	50
O06	Monte Cero	Orno-ostrieto	709786	5014586	192
O12	San Biagio	Orno-ostrieto	711227	5017683	132
O13	Monte Cero	Orno-ostrieto	709815	5014713	224
O16	Valle San Giorgio	Orno-ostrieto	711653	5016165	84
O17	San Biagio	Orno-ostrieto	711335	5017705	146
O18	Monte Calbarina	Orno-ostrieto	714724	5017087	110
O19	Arquà Petrarca	Orno-ostrieto	712510	5016983	131
O20	Valle San Giorgio	Orno-ostrieto	711464	5015869	60
O22	Monte Cero	Orno-ostrieto	710316	5015401	88
O23	Valle San Giorgio	Orno-ostrieto	711499	5016104	53
O25	Valle San Giorgio	Orno-ostrieto	711467	5015904	57
O27	Crosara	Orno-ostrieto	707875	5019001	102
O42	Valle San Giorgio	Orno-ostrieto	711830	5016630	108
O59	Monte Cero	Orno-ostrieto	709983	5014722	175
O07	Monte Calbarina	Orno-ostrieto	715269	5016997	44

**Tabella 3.3 - Elenco delle aree campionate**

### 3.2.3 Metodologia di campionamento

I rilievi in campo, adottando precisi standard, hanno permesso di ricavare le caratteristiche necessarie per descrivere il tipo di combustibile presente nell'area dei Colli Euganei. I valori medi ottenuti sono stati utilizzati come input per la simulazione del comportamento del fuoco con il software FARSITE. Gli input sono rappresentati dal carico di biomassa all'ettaro, comprendente i combustibili morti al suolo, sia erbacei che legnosi, oltreché la profondità del duff, la lettiera, l'erba viva e gli arbusti sia vivi che morti.

Il lavoro in campo si è svolto da giugno a settembre (2013), periodo in cui si concentra il maggior numero degli incendi boschivi nei Colli Euganei. Per il campionamento è stato adottato il metodo standard sviluppato dal Servizio Forestale del Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (Brown *et al.*, 1982), pur apportando alcune modifiche più adatte alla realtà forestale in cui si è operato e già utilizzate in altri casi studio (Goatin, 2011).

La procedura ha previsto innanzitutto la localizzazione sul terreno delle coordinate del centro di campionamento mediante l'impiego di GPS di tipo escursionistico; si è riscontrata un'incertezza di posizionamento di circa 3-6 metri. Nei casi in cui non è stato possibile posizionare il punto esattamente dove previsto, perché ricadente fuori dal bosco (bordo strada, radura, etc.) o per motivi di inaccessibilità, lo si è spostato nel luogo utile più prossimo possibile, riportando le motivazioni e le nuove coordinate nella scheda di raccolta dati (Allegato A). La posizione rilevata, corrispondente al centro di campionamento, è stata identificata con un paletto fissato nel terreno.

Si è predisposto un piano di campionamento (Figura 3.7), il cui orientamento è avvenuto ponendosi al centro dell'area con le spalle rivolte verso monte e fissando la direzione della lancetta dei minuti di un orologio (al momento del rilievo) come quella corrispondente al piano stesso. Questo procedimento è stato suggerito da Brown *et al.* (1982) per garantire un rilievo del tutto casuale e minimizzare la tendenza dell'operatore ad evitare le zone meno agevoli. Un nastro bicolore è stato utilizzato per segnalare sul terreno la direzione del piano di campionamento individuato.

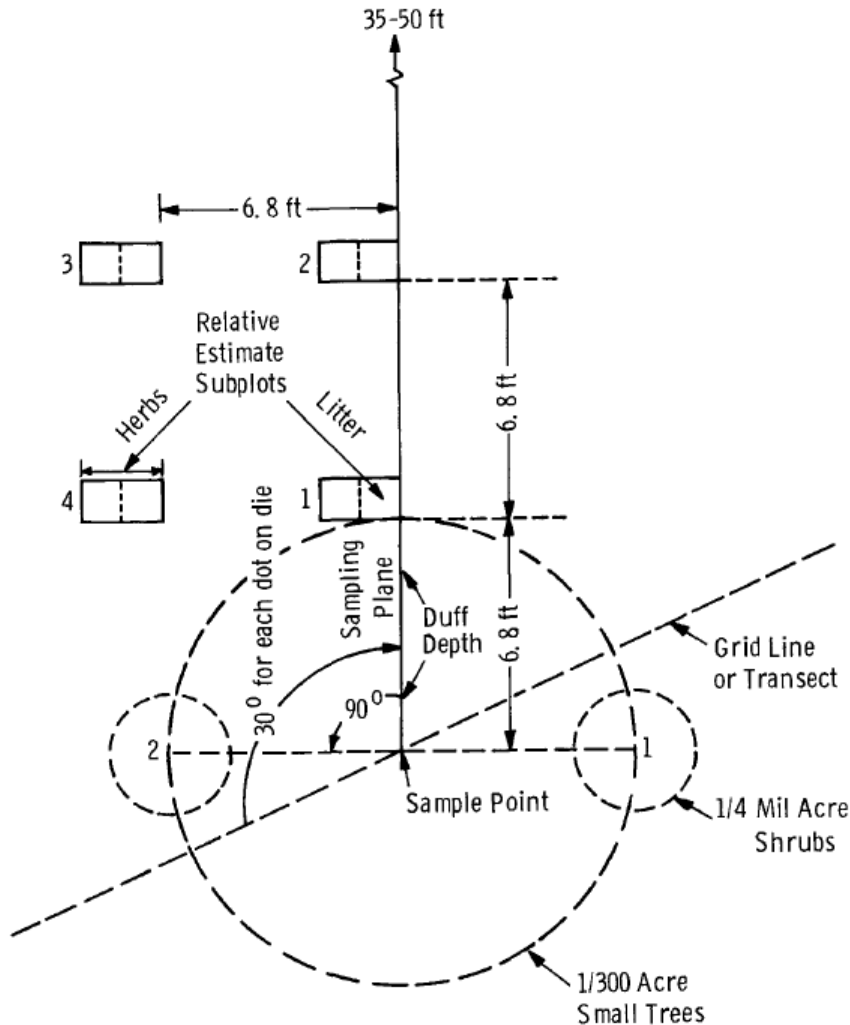
Il rilievo è stato suddiviso in 5 fasi: descrizione generale della particella, rilievo del materiale legnoso al suolo, misurazione della profondità del duff e della lettiera, campionamento della vegetazione erbacea, della lettiera e di rocce, rilievo della componente arbustiva.

All'interno dell'area circolare di campionamento, avente 10 m di diametro, si è proceduto quindi alla descrizione della particella riportando nella scheda di raccolta dati le seguenti caratteristiche:

- Località;
- Coordinate GPS e relativa accuratezza di misura (in metri);
- Esposizione tramite bussola digitale;
- Pendenze media della particella e del piano di campionamento attraverso un clisimetro digitale;
- Categoria forestale secondo le tipologie proposte da Del Favero (2000) e forma di gestione;
- Fase evolutiva del soprassuolo ed età media stimata (in anni);
- Presenza o meno di continuità verticale tra la componente arbustiva e quella arborea;
- Presenza di rocce e sassi (in percentuale);
- Diametro medio degli alberi a 1,30 m (in centimetri);
- Altezza media alberi (in metri) tramite ipsometro digitale;
- Area basimetrica media del popolamento (in m<sup>2</sup>/ettaro) tramite relascopio digitale;
- Altezza primi rami (in metri);
- Altezza media arbusti (in metri);
- Diametro medio arbusti al colletto (in centimetri);
- Percentuale degli alberi morti in piedi sul totale;
- Presenza, o meno, di continuità orizzontale per quanto riguarda sia gli arbusti che la lettiera;
- Percentuale di copertura arborea (rispetto alla superficie totale) stimata a vista, osservando dal basso la percentuale di cielo lasciata visibile dalle chiome degli alberi. Tale copertura è stata in seguito corretta grazie all'analisi del rilievo fotografico. Sempre a vista è stata stimata la percentuale di copertura per ciascuna specie arborea presente all'interno della particella rispetto alla superficie occupata dallo strato arboreo;
- Percentuale di copertura dello strato arbustivo (rispetto alla superficie totale) e indicazione della percentuale di copertura delle specie presenti rispetto alla superficie occupata dallo strato

arbustivo;

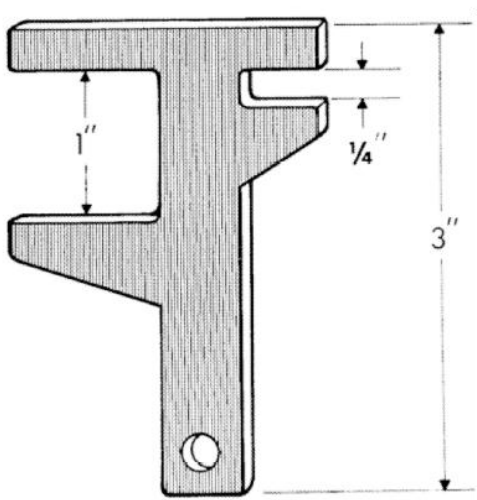
- Percentuale di copertura dello strato erbaceo (rispetto alla superficie totale) e indicazione della percentuale di copertura delle specie presenti rispetto alla superficie occupata dallo strato erbaceo.



**Figura 3.7** – Rappresentazione schematica dell'area di saggio e compartimentazione in varie subunità per il campionamento dei combustibili forestali (tratta da Brown et al, 1982).

Nel rilievo del materiale legnoso morto a terra sono stati considerati: rametti morti, rami, fusti, tronchi d'albero e arbusti caduti o giacenti al suolo, residui di utilizzazioni, ceppaie e radici sradicate. È stata utilizzata la tecnica dell'intersezione planare che prevede il conteggio delle particelle di combustibile legnoso e le misurazioni dei loro diametri nel momento in cui intercettano un piano verticale di campionamento caratterizzato da lunghezza e altezza prefissate (Brown, 1974). Questo procedimento consente di cogliere la variabilità intrinseca dei combustibili forestali e fornisce stime precise del combustibile nelle classi dimensionali più importanti riguardo il comportamento del fuoco (1, 10, 100, e 1.000 h). Tuttavia può richiedere un gran numero di transetti di campionamento in condizioni di elevata variabilità del combustibile (Lutes et al. 2006).

Per l'applicazione del metodo è stato individuato, innanzitutto, un transetto sul terreno stendendo una cordella lunga 20 metri, passante a metà per il centro di campionamento in modo da formare un angolo di 60° con la direzione del piano di campionamento. Inoltre è stata misurata la pendenza del piano individuato dal transetto. Il materiale legnoso intersecante la cordella è stato suddiviso per classi di time-lag in funzione del diametro (misurato nel punto di intersezione); non sono stati conteggiati i pezzi aventi asse centrale coincidente con il transetto, mentre, quelli che andavano ad intersecare il transetto in più di un punto, sono stati conteggiati più volte, in accordo con il metodo statunitense (Brown *et al.*, 1982). In questa fase del campionamento ci si è serviti di un calibro appositamente costruito che ha permesso di eseguire più rapidamente il rilievo (Figura 3.8).



**Figura 3.8** – Calibro utilizzato per la suddivisione del materiale legnoso al suolo nelle 4 classi di time-lag. L'apertura della larghezza di  $\frac{1}{4}$ '' corrisponde a 0,65 cm, quella di 1'', corrispondente a 2,5 cm, la lunghezza del calibro di 3'', corrisponde a 7,5 cm (tratta da AA. VV., 1992).

Il *time-lag* o tempo di rilassamento è il tempo necessario ad un combustibile per portarsi in equilibrio con l'ambiente a livelli standard di umidità (per raggiungere il 63% della differenza tra il contenuto di umidità iniziale ed il contenuto di umidità all'equilibrio). Questo principio è basato sul fatto che l'esposizione ai fattori meteorologici di una particella di combustibile è proporzionale alle sue dimensioni. Combustibili di piccolo diametro possono quindi variare la loro condizione in risposta a cambiamenti meteorologici più velocemente di combustibili di maggiori dimensioni.

Il materiale legnoso al suolo è stato perciò suddiviso nelle seguenti quattro classi di time-lag:

Classe 1: corrispondente al time-lag di 1 ora (1 h), comprende il materiale con diametro inferiore a 0,65 cm (apertura di  $\frac{1}{4}$ '' nel calibro). Il conteggio dei pezzi è avvenuto su una lunghezza complessiva di 2,1 metri ed è stato suddiviso in tre tranches lungo il transetto: da 0 a 0,7 m, da 15 a 15,7 m e da 19 a 19,7 m (Scotton 2014, comunicazione personale). Questa scelta permette di cogliere la maggiore variabilità del combustibile presente nei boschi oggetto di indagine rispetto a quelli del Nord America nei quali è stata messa a punto la metodologia di Brown *et al.* (1982).

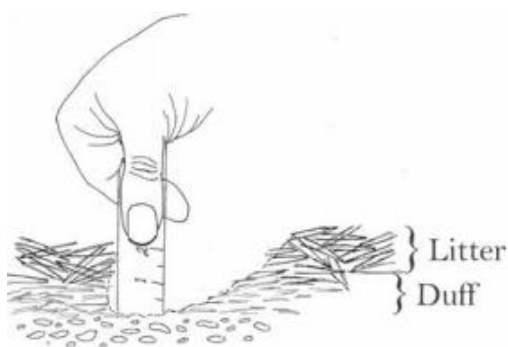
Classe 2: corrispondente al time-lag di 10 ore (10 h), comprende il materiale con diametro compreso tra 0,65 e 2,5 cm (apertura di 1'' del calibro). Il rilievo dei pezzi con queste caratteristiche è avvenuto su una lunghezza complessiva di 3 metri così suddivisa: da 0 a 1 m, da 15 a 16 m, da 19 a 20 m.

Sulla scheda di raccolta dati, per ognuna delle due classi sono stati indicati: il numero di pezzi, il diametro medio e la specie predominante, dati necessari per il calcolo della biomassa.

Classe 3: corrispondente al time-lag di 100 ore (100 h), comprende il materiale con diametro compreso tra 2,5 e 7,5 cm (apertura di 3'' del calibro). Il rilievo dei pezzi con queste caratteristiche è avvenuto su tutta la lunghezza del transetto (20 m). Sulla scheda di raccolta dati, è stato indicato per ogni pezzo, la specie di appartenenza, il diametro e il grado di decomposizione del materiale (sano o decomposto).

Classe 4: corrispondente al time-lag di 1000 ore (1000 h), comprende il materiale con diametro maggiore di 7,5 cm (superiore alla lunghezza del calibro). Il rilievo è avvenuto su l'intera lunghezza del transetto, indicando per ciascun pezzo, la specie di appartenenza, il diametro e, in questo caso, anche la lunghezza, infine il grado di decomposizione (sano o decomposto).

Nella terza fase è stata rilevata la profondità del *forest floor* (Figura 3.9), ovvero lo strato che contiene la sostanza organica che si trova al di sopra degli orizzonti minerali; è caratterizzato dalla presenza di combustibili di superficie e sotterranei (la lettiera e il duff). Lo strato di lettiera (orizzonte OL) si trova in superficie ed è formato da residui organici, prevalentemente fogliame, non ancora decomposti. Il duff è invece lo strato organico compreso tra la lettiera e l'orizzonte organo-minerale. Nel duff sono presenti due sottostrati: strato F o Oe (orizzonte di fermentazione) dove le particelle sono parzialmente alterate ma ancora riconoscibili, e lo strato H o Oa (orizzonte umico) formato da materiale decomposto e compatto.



**Figura 3.9** – Modalità di rilievo della profondità di duff e lettiera (tratta da Lutes et al., 2006).

La misura di questi strati è stata effettuata con un metro ripiegabile in quattro sezioni puntuali a 1,5, 3, 4,5 e 6 m dal centro di campionamento lungo la direzione del piano di campionamento: in

prossimità di ogni punto è stata scavata una piccola apertura nel terreno e attraverso il metro è stata misurata la profondità dei due strati lungo il profilo del terreno.

Per il rilievo delle componenti di combustibile appartenenti alla vegetazione erbacea e alla lettiera, è stata seguita una procedura diversa rispetto alla tecnica della stima del peso adottata nel metodo statunitense (Brown *et al.*, 1982): come già avvenuto in precedenti lavori (Goatin, 2011), è stata applicata una metodologia di “taglio e peso” mediante l’uso di aree di campionamento dalla superficie nota nelle quali sono stati raccolti, seccati e pesati tutti i combustibili. Perciò, lungo la direzione del piano di campionamento, a 5 m dal centro, è stato tracciato un quadrato con lato pari a 2,5 m all’interno del quale, in corrispondenza dei vertici, sono stati inseriti quattro telai rettangolari in legno delle dimensioni di 30x60 cm contraddistinti dalle lettere A, B, C, D e disposti in senso orario partendo da quello in alto a destra. Si è proceduto con il prelievo della lettiera e dell’erba, tramite taglio con forbice, presenti all’interno dei telai. I campioni sono stati inseriti in sacchetti ermetici contrassegnati da etichette indicanti il contenuto (erba o lettiera) e la superficie di appartenenza delimitata dal telaio. Inoltre, per ogni superficie rettangolare sono state stimate visivamente: la percentuale di biomassa erbacea epigea morta, la percentuale di rocce e le specie erbacee presenti. Il contenuto dei sacchetti è stato poi portato in laboratorio per essere essiccato in stufa a 105 °C per 24 ore, previa disposizione in vaschette di alluminio. Al termine delle operazioni di essiccamento le vaschette con all’interno l’erba o la lettiera sono state pesate tramite bilancia elettronica con precisione al millesimo di grammo. Sottraendo la massa della vaschetta vuota si è ottenuto il peso secco della componente erbacea e della lettiera presente all’interno di ognuna delle quattro superfici delimitate dai telai.

Nelle prime aree campionate è stato testato anche il metodo della stima del peso relativo (Hutchings *et Schmautz*, 1969), il quale si basa sull’assunto che sia più facile comparare pesi piuttosto che sommarli. Consiste nell’identificare, tra una serie di quattro plot, quello caratterizzato da un carico maggiore rispetto agli altri. Il peso del materiale presente negli altri plot viene stimato visivamente come frazione di quello base. In questo modo è sufficiente raccogliere e successivamente pesare solo il materiale presente nel plot di riferimento riducendo i tempi di campionamento. Perciò si è proceduto con una stima a vista delle due aree contenenti maggior biomassa, rispettivamente di lettiera e di erba viva. Ad ognuna di queste è stato assegnato un valore pari a 8, mentre il peso degli altri è stato espresso con valori via via inferiori, in rapporto con quest’area di riferimento. Una volta raccolto, essiccato in stufa e pesato il materiale contenuto all’interno dei 2 plot di base, si è calcolato il peso degli altri.

Dal confronto tra i primi risultati ottenuti con i due metodi sopra esposti, la procedura di “Taglio e peso” è stata valutata più accurata e precisa per il campionamento dei combustibili erbacei e di

lettiera. Per questo motivo si è deciso di continuare ad utilizzare solo questa metodologia per i restanti rilievi.

Nella fase di campionamento della componente arbustiva del combustibile sono state individuate due aree circolari di 1 m di raggio con centro corrispondente agli estremi del cerchio di 10 m di diametro posto perpendicolarmente rispetto al piano di campionamento. All'interno di ciascuna area è stata considerata la vegetazione di altezza inferiore a 3 m, di cui si sono rilevati:

- Copertura arbustiva totale;
- Specie;
- Numero di fusti per specie;
- Diametro al colletto (in centimetri);
- Altezza (in centimetri);
- Stima percentuale della biomassa morta rispetto al totale.

Come già avvenuto in Goatin (2011), alle aree circolari per la misura degli arbusti, è stata assegnata una superficie di 1 m di raggio anziché 0,6 m come indicato nella metodologia originaria (Brown *et al.*, 1982). Questo accorgimento è stato adottato perché si ritiene più adatto alla tipologia forestale in cui si è operato, caratterizzata da una maggiore variabilità ed una maggiore discontinuità di arbusti rispetto ai boschi di conifere dell'Est canadese e delle Montagne Rocciose settentrionali (*Ponderosa pine*, *Eastern white pine*, *Lodgepole pine*, *Red pine*). Tuttavia, nelle aree di saggio in cui la densità degli arbusti è risultata elevata, è stato ritenuto sufficiente campionare in aree circolari aventi 60 cm di raggio.

Infine, come ultima operazione si è proceduto con la segnalazione del sito di campionamento attraverso uno spray di vernice rossa o gialla sul tronco più prossimo al punto centrale.

In ogni area di campionamento e per ogni fase dei rilievi delle varie componenti della biomassa combustibile (descrizione generale della particella, rilievo del materiale legnoso al suolo, rilievo della profondità degli strati di *duff* e della lettiera, e rilievo degli arbusti), è stato appuntato sulla scheda di raccolta dati il tempo impiegato (Allegato A).

Inoltre, per agevolare la verifica dei dati, in ogni area campionata è stato effettuato un rilievo fotografico seguendo un ordine sequenziale fisso (per un totale di 19 foto):

1. Panoramica del sito con la prima foto scattata verso la linea di massima pendenza e le successive a 90° l'una dall'altra;
2. Copertura arborea nel punto centrale;
3. Piano di campionamento;
4. Transetti a destra e a sinistra del punto centrale;
5. 2 aree circolari per il rilievo della componente arbustiva segnalate da un paletto posto al



- centro con l'etichetta numerata;
6. 4 profili pedologici (ponendo il metro come riferimento) secondo l'ordine di rilievo del duff e della lettiera;
  7. 4 telai rettangolari posti per il rilievo della componente erbacea secondo l'ordine A, B, C, D;
  8. Punto segnalato con la vernice-spray.

I rilievi in campo sono stati compiuti da due persone in modo da rendere più veloci e sicure le diverse operazioni.

### 3.2.4 Calcolo del carico di combustibile

Per il calcolo della biomassa delle diverse componenti del combustibile sono state applicate le formule proposte dall'U.S. Fish & Wildlife Service (AA. VV., 1992), guida per il monitoraggio del combustibile e degli effetti generali del fuoco in foresta che si basa, per quanto riguarda il lavoro in campagna, sulla metodologia di Brown *et al.* (1982). La stessa procedura di calcolo è stata seguita per quantificare i combustibili della Lessinia, in provincia di Verona (Goatin, 2011).

Con i dati ricavati dai rilievi e dalle misure di laboratorio e per ogni area campionata sono state calcolate le diverse componenti del combustibile nel modo seguente:

- Il carico di combustibile legnoso morto al suolo di time-lag 1 h e 10 h è stato quantificato eseguendo la formula:

$$M = [(1,22 n d^2 s c a)/L] 10000 \quad [3.2]$$

dove:

$M$  = materiale legnoso morto al suolo, Mg ha<sup>-1</sup>;

1,22 = costante;

$n$  = numero di pezzi intersecanti il transetto con diametro inferiore a 0,65 cm (1 h) o compreso tra 0,65 e 2,5 cm (10 h);

$d^2$  = diametro medio al quadrato dei pezzi rilevati, m<sup>2</sup>;

$s$  = massa volumica a umidità normale, Mg m<sup>-3</sup>; si è considerata una massa volumica media ponderata in base alla presenza percentuale delle diverse specie che si sono riscontrate nella particella. I valori di massa volumica per le diverse specie sono tratti da Giordano (1976);

$c$  = fattore di correzione della pendenza (Tabella 3.4); si è considerata la pendenza del transetto;

$a$  = fattore di correzione dell'angolo (Tabella 3.5);

$L$  = lunghezza del transetto lungo il quale si sono contate le intersezioni con il materiale della classe diametrica in questione, m;

10000 = fattore per portare i carichi dal riferimento del m<sup>2</sup> all'ettaro (ha).

Pendenza del terreno (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Fattore di correzione c	1,00	1,00	1,02	1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,28	1,35	1,41	1,49

**Tabella 3.4** – Fattore di correzione della pendenza (*c*) (tratta da AA. VV., 1992, modificata).

Classe diametrica (cm)	0,65	0,65-2,5	2,5-7,5	> 7,5 sano	> 7,5 in decomposizione
Fattore di correzione dell'angolo ( <i>a</i> )	1,13	1,13	1,13	1,00	1,00

**Tabella 3.5** – Fattore di correzione dell'angolo (*a*) (tratta da AA. VV., 1992, modificata).

- Il carico di combustibile legnoso morto al suolo di time-lag 100 h è stato quantificato eseguendo la formula:

$$M = [(1,22 \sum di^2 s c a )/L] 10000 \quad [3.3]$$

analoga alla [3.2] ma in questo caso non viene considerato *n* perché si utilizza la sommatoria dei diametri di ogni pezzo ( $\sum di^2$ ) rilevato in campo, anziché il diametro medio al quadrato ( $d^2$ ); la massa volumica (*s*) è la media ponderata, in base al numero di pezzi per specie, delle masse volumiche delle specie cui i pezzi appartengono. La [3.3] è stata applicata sia per il materiale sano sia per quello in decomposizione di questa classe diametrica; varia però la massa volumica che nel secondo caso è stata moltiplicata per il fattore di riduzione 0,42 per tener conto della degradazione del legno e della conseguente diminuzione di biomassa. Il coefficiente è stato proposto per le latifoglie da Woodall *et* Monleon (2008), che suddividono il materiale legnoso al suolo in 5 classi di decadimento in base al grado di decomposizione del legno. Si è scelto di assegnare il valore relativo alla classe 4 corrispondente allo stadio del durame marcescente, di consistenza soffice e con forma riconoscibile. Il carico totale di combustibile appartenente a questa classe diametrica è stato ottenuto sommando i carichi del materiale sano e di quello in decomposizione.

- Per quantificare il carico di combustibile legnoso morto al suolo di time-lag 1000 h si è utilizzata la [3.3], distinguendo tra materiale sano e in decomposizione: per quest'ultimo, come fatto precedentemente per il materiale di time-lag 100 h, la massa volumica è stata moltiplicata per il fattore di riduzione 0,42. Infine, i rispettivi carichi sono stati sommati per ottenere la massa totale del materiale di questa classe diametrica.
- Il carico della componente dei materiali organici in decomposizione (*forest floor*), è stato calcolato attraverso la seguente formula (AA. VV., 1992):

$$M = (14 d) / (2,54 * 0,4) \quad [3.4]$$

dove:

M= carico del duff, Mg ha<sup>-1</sup>;

d = profondità media del duff misurato nei quattro punti, in pollici;

14 = costante;

2,54 \* 0,4 = fattori di conversione per convertire il dato in Mg ha<sup>-1</sup>.

- Il carico della componente erbacea è stato calcolato a partire dalle quattro misure ricavate dalle pesate del materiale essiccato in stufa: si è considerata la media aritmetica ottenendo il carico in g/0,18 m<sup>2</sup> e la si è moltiplicata per il fattore di correzione della pendenza (*c*) ottenendo *m* nella [3.5]. In questo caso la pendenza di riferimento è quella del piano di campionamento. Per convertire i dati in Mg ha<sup>-1</sup> si è utilizzata la seguente formula:

$$M = [(m 10000)/0,18]/1000000 \quad [3.5]$$

dove:

*M* = carico della componente erbacea, Mg ha<sup>-1</sup>;

*m* = massa riferita alla superficie di 0,18 m<sup>2</sup> moltiplicata per il fattore di correzione della pendenza (*c*), g/0,18 m<sup>2</sup>.

Si è quindi proceduto con il calcolo della media aritmetica delle percentuali di erba morta stimate in campo all'interno delle superfici delimitate dai quattro telai; con questo dato, dal risultato della [3.5], si è potuto distinguere il carico di componente erbacea viva da quella morta.

- Per quantificare il carico della lettiera si è proceduto come per la determinazione del carico della componente erbacea utilizzando la [3.5]; in questo caso non si è dovuto distinguere tra componente viva e morta della biomassa.
- Il carico degli arbusti ricadenti all'interno delle due aree circolari di 1 m di raggio è stato determinato con la formula:

$$M = [(8,8185 c n w)/(3,14 0,4)](0,45359)/1000 \quad [3.6]$$

dove:

*M* = carico dell'arbusto, Mg ha<sup>-1</sup>;

8,8185 = costante;

*c* = fattore di correzione della pendenza; si è considerata la pendenza media della particella;

*n* = numero di fusti costituenti l'arbusto;

*w* = massa del singolo fusto, g;

$(0,45359/1000)/(3,14 \cdot 0,4) =$  fattori di conversione dei dati da  $\text{lb acro}^{-1}$  a  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

Il valore  $w$ , ricavato dalla guida dell'U.S. Fish & Wildlife Service (AA. VV., 1992), fornisce la massa epigea del singolo fusto (espressa in grammi) in base alla specie di appartenenza e al suo diametro basale misurato in corrispondenza del colletto. Poiché le specie di riferimento sono arbusti tipici dell'Est canadese e delle Montagne Rocciose degli Stati Uniti, è stato necessario comparare le specie arbustive rilevate nei boschi dei Colli Euganei con quelle nordamericane (Tabella 3.6). L'associazione si è basata sul confronto fotografico e sulla corrispondenza di massa volumica e di portamento generale dell'arbusto (altezza mediamente raggiunta, ramificazioni, presenza di spine, etc.). Con il dato percentuale relativo alla biomassa arbustiva morta si è potuto distinguere tra componente viva e morta del carico totale di ogni arbusto risultante dalla [3.6]. La sommatoria dei carichi totale, vivo e morto dei diversi arbusti presenti all'interno dell'area circolare di 1 m di raggio ha fornito il carico arbustivo in  $\text{Mg ha}^{-1}$  per la particella in questione. Lo stesso procedimento è stato seguito per gli arbusti rilevati nella seconda area di saggio circolare. Come carico arbustivo della particella in questione, si è considerata la media aritmetica dei risultati ottenuti nelle due aree di saggio circolari di 1 m di raggio.

Specie arbustive nordamericane	Corrispondenti specie rilevate sui Colli Euganei	Diametro basale al colletto (cm)						
		0-0,5	0,5-1	1-1,5	1.5-2	2-3	3-5	5-6
Snowberry	Ligustrum spp., Cotinus coggygria	2,8	17	54,6	118	226	-	-
Blue huckleberry	-	1	12	59,8	173	531	-	-
Goose whortleberry	-	2,2	12,1	36,3	74,8	161	-	-
Wild rose	Rosa canina	1,9	16,9	70	178	480	-	-
Gooseberry	-	1,7	20	98,4	281	856	-	-
White spirea	-	2,2	17,4	65,7	158	399	-	-
Oregon grape	Ruscus aculeatus	2	10,7	31,3	63,2	133	-	-
Thimbleberry	Asparagus acutifolius	2,1	15,5	56,6	133	328	-	-
Red raspberry	Rubus ulmifolius	2	19,3	83,3	218	605	-	-
Ninebark	Viburnum lantana	3,9	19,9	74,1	176	442	1150	-
Smooth menziesia	-	1,2	8,7	43,6	126	387	1240	-
Utah honeysuckle	Aruncus dioicus, Sambucus nigra	2,9	18,5	83,8	226	650	1940	-
Oceanspray	Crataegus monogyna	2,7	18,1	85,3	237	698	2140	-
Evergreen ceanothus	-	2,9	17,3	74,1	193	533	1530	-
Mock orange	-	2,6	17,2	78,6	218	636	1930	-
Russet buffaloberry	-	3,6	16,5	56,5	127	300	730	-
Big sagebrush	-	3	12,4	38,9	82,7	184	422	871
Common juniper	Juniperus communis , Erica arborea	7,9	31,3	96,8	203	445	1010	-

Serviceberry	-	3,4	16,1	70,2	185	519	1510	3840
Mountain maple	Ailanthus altissima, Robinia pseudoacacia, Castanea sativa, Fraxinus ornus, Quercus spp., Laburnum anagyroides, Acer spp.	4	17,2	70	177	417	1310	3180
Mountain ash	Sorbus spp.	2,5	11,5	50,2	132	370	1070	2720
Mountain alder	Ulms spp, Corylus avellana	4,5	16,7	58,8	135	325	809	1790
Redosier dogwood	Cornus spp.	4,8	18,9	70,5	168	420	1090	2500
Willow	Salix spp.	2,8	12,3	50,4	128	342	950	2320
Chokecherry	-	2,7	12,9	57,4	153	434	1280	3290

**Tabella 3.6** – *Massa epigea in grammi del singolo fusto componente un arbusto in base al suo diametro basale al colletto e alla specie di appartenenza (tratta da AA. VV., 1992, modificata). Per le specie arbustive rilevate nel comprensorio euganeo, è indicata la corrispondente specie nordamericana proposta dalla guida dell’U.S. Fish & Wildlife Service.*

### 3.2.5 Determinazione della profondità del letto di combustibile

Considerati gli obiettivi del presente studio, l’altezza del letto combustibile (fuel bed) responsabile della propagazione degli incendi di superficie assume molta importanza in un modello di simulazione di un incendio in quanto, a parità di carico, se si aumenta la profondità, aumenta anche la porosità del combustibile e quindi la velocità simulata (Burgan, 1987). Poiché in un modello questa profondità viene espressa con un unico valore che si presuppone uniforme, è necessario stimare un’altezza caratteristica per tutta l’area di studio. Nella determinazione del fuel bed è stata perciò presa in considerazione la continuità orizzontale dei combustibili di superficie comprendenti, nello specifico, gli strati di lettiera, delle erbe e degli arbusti. L’importanza di valutare la distribuzione dei combustibili è motivata dal fatto che l’uniformità e la continuità della loro distribuzione sono proporzionali alla rapidità della propagazione del fronte di fiamma (Riaño, 2002). Si è proceduto col classificare ciascun punto di campionamento in base agli strati di combustibile che effettivamente concorrono alla propagazione del fuoco, valutandone il grado di copertura e la continuità orizzontale. Nella suddivisione sono stati tenuti in considerazione solo gli strati aventi una copertura superiore al 30% (Prometheus S.V. Project, 1999); esperti del settore antincendio (Bacchini e Masiero, 2014 comunicazione personale) riferiscono, infatti, la stessa soglia per ritenere uno strato sufficientemente influente sul comportamento degli incendi. Queste considerazioni hanno condotto al riconoscimento delle seguenti categorie di fuel bed: lettiera (L), lettiera ed erba (LE), arbusti e lettiera (AL), arbusti ed erba (AE) e arbusti (A). Infine, per ogni sito, la profondità del fuel bed è stata calcolata come media aritmetica tra le altezze unicamente degli strati individuati come principali (Andrews *et al.*, 2008). Mentre le misure relative agli arbusti e alla lettiera sono state oggetto di campionamento, per valutare la componente erbosa si è utilizzata

un'altezza media di 30 cm derivante da rilievi di combustibili forestali condotti in provincia di Vicenza in ambienti forestali simili (Rizzolo, 2014).

### **3.2.6 Determinazione della copertura arborea**

La copertura arborea è stata valutata inizialmente solo a vista, tuttavia, per ottenere una stima più corretta e meno soggettiva, si è deciso di determinarla tramite il software di gestione delle immagini *ImageJ*<sup>®</sup>, utilizzando le fotografie scattate verso l'alto dal centro di ogni punto di campionamento. Le fotografie digitali, memorizzate come file *.JPEG* a colori, sono state binarizzate: questa operazione permette di effettuare una discriminazione tra cielo visibile e copertura, ottenendo un'immagine binaria, ovvero in bianco e nero. Successivamente si è proceduto facendo valutare al software il grado di copertura. Il calcolo si basa sul conteggio dei pixel neri che compongono l'immagine del cielo visibile sotto copertura rispetto a quelli bianchi delle chiome (l'immagine è in negativo). In *ImageJ*<sup>®</sup>, una volta selezionata l'immagine da trattare, selezionare *Image>Type>8-bit*, quindi *Process>Binary>Make binary*, infine *Analyze>Analyze Particles* con cui si viene condotti alla schermata dei risultati.

## **3.3 Analisi della distribuzione dei dati**

Sulla base dei dati raccolti nei punti di campionamento, è stata eseguita un'analisi statistica sia per individuare la distribuzione di probabilità che segue ogni variabile di combustibile sia per associare ad ogni valore la frequenza con cui si verifica.

I dati dei campionamenti, relativi ad ogni variabile casuale di combustibile, sono stati ordinati in ordine crescente. In seguito, si è proceduto alla verifica della distribuzione dei dati mediante la funzione di densità di probabilità cumulata (CDF). La densità di probabilità  $p(x)$  associata ad un dato valore  $x$  della popolazione della variabile casuale esprime la frequenza con cui il valore  $x$  si può presentare (Gregoretto, 2004). La probabilità cumulata di superamento  $P(x > X)$  esprime la frequenza con cui si presenta un valore  $x$  della variabile casuale maggiore del prefissato  $X$ ; essa può essere compresa tra 0 e 1.

La valutazione della bontà dell'adattamento della distribuzione al campione è stata conseguita tramite un esame grafico, riportando sull'asse delle ascisse, in scala lineare, i valori della variabile e sull'altro le frequenze cumulate di superamento.

L'asse delle ordinate riproduce perciò una funzione di frequenza ricavata dalla posizione di ciascun valore nella serie ordinata. Se  $[n]$  è il numero di elementi ed  $[m]$  è la posizione di ciascun elemento nella serie ordinata (crescente), la frequenza di non superamento, detta anche *plotting position*, è data dalla formula:

$$F_{ns} = \frac{m}{n+1} \quad [3.7]$$

Questo tipo di *plotting position* assegna perciò una frequenza cumulata pari ad 1 all'n-esimo valore del set di dati. La frequenza di superamento è ovviamente  $F_s = 1 - F_{ns}$ .

Il tipo di distribuzione dei dati viene valutato in relazione alla disposizione dei punti che andranno ad addensarsi più o meno intorno ad una curva: solo se i dati si dispongono lungo una retta, la distribuzione risulta normale.

Infine, per verificare ulteriormente che la distribuzione dei dati sia normale o meno, è stato applicato il test Shapiro-Wilk: se i risultati statistici hanno valori di  $p > 0,05$  la distribuzione può essere considerata normale.

### 3.4 Determinazione delle classi di combustibile

Tramite i rilievi in campo e i successivi calcoli per la determinazione dei carichi di combustibile, insieme alle misure di laboratorio, sono stati determinati i parametri caratterizzanti le classi di combustibile che costituiscono gli input del software di calcolo per simulare il comportamento del fuoco in *FARSITE*.

Allo scopo di identificare le classi di combustibile presenti nei boschi dei Colli Euganei, in seguito a una ricerca bibliografica, si è deciso di adottare il sistema Prometheus (Prometheus S.V. Project, 1999), considerato idoneo perché sviluppato per rappresentare le caratteristiche dei combustibili forestali europei (Arroyo *et al.*, 2006). Questa classificazione di tipo indiretto (Keane, 2013), si basa principalmente sulla tipologia, la struttura e la distribuzione della componente vegetazionale che favorisce la propagazione del fuoco; tuttavia essa non tiene direttamente in considerazione il carico del legno morto con time-lag 1 h e 10 h presente in bosco. Pertanto, con l'utilizzo di tale metodo, si è voluto attribuire maggior importanza alla struttura del popolamento, in grado di condizionare la propagazione del fronte di fiamma e il suo comportamento durante un incendio (Fernandes, 2009).

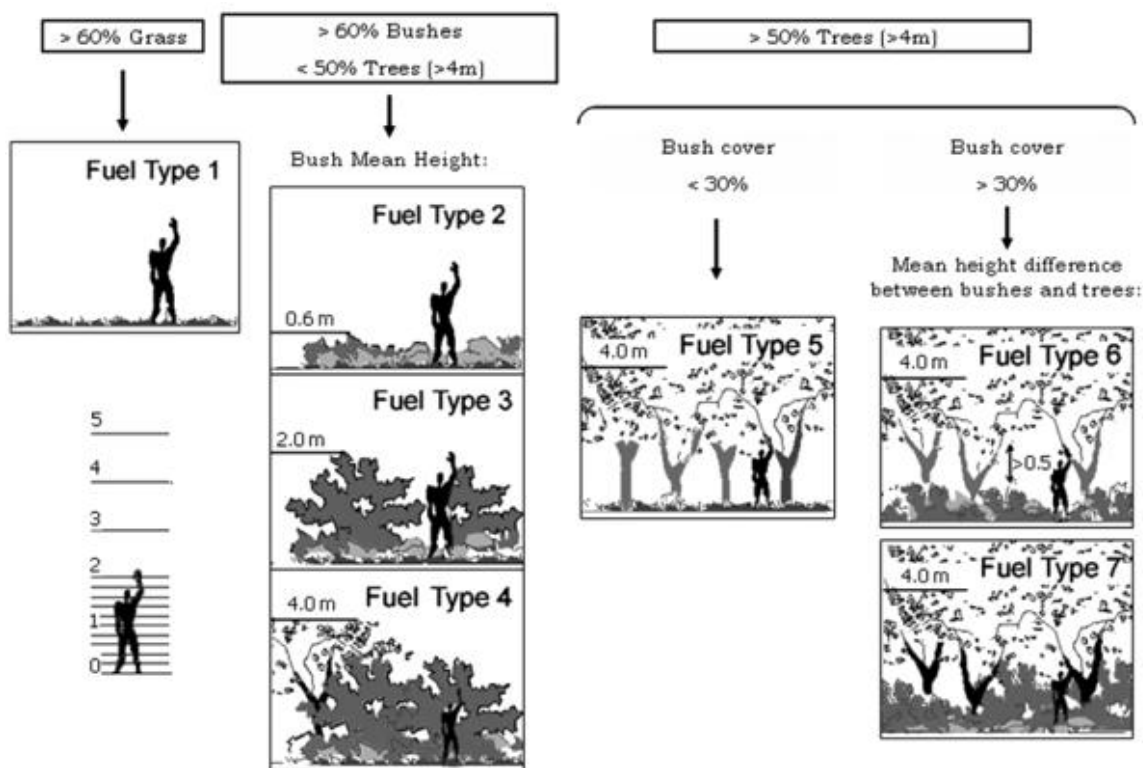
Il sistema Prometheus individua sette tipi di combustibili (Giakumakis *et al*, 2002.) riportate in Tabella 3.7.

TIPO	DEFINIZIONE	DESCRIZIONE
1	<i>Praterie</i>	Vegetazione erbacea bassa (< 0,3 m) in grado di sostenere incendi radenti.
2	<i>Combustibili di superficie</i>	Vegetazione erbacea e cespuglieti di altezza compresa fra i 0,30 e i 0,60 metri; boschi sottoposti a taglio dove i residui di lavorazione non sono stati rimossi. Possibilità di sviluppo di incendi radenti.
3	<i>Cespuglieti di media altezza</i>	Vegetazione arbustiva di medie - grandi dimensioni; superfici interessate dalla presenza di rinnovazione naturale di specie forestali o zone di impianto artificiale. Altezza della vegetazione, in tutti i casi, compresa tra 0,6 e 2,0 m. Possibilità di sviluppo di incendi radenti di media intensità
4	<i>Cespuglieti alti</i>	Vegetazione arbustiva di grandi dimensioni; aree con rinnovazione forestale affermata, di origine naturale o artificiale. Altezza della vegetazione compresa tra 2,0 e 4,0 m; se questo valore viene superato il popolamento è da considerarsi di tipo arboreo. Possibilità di sviluppo di incendi radenti di elevata intensità.
5	<i>Boschi con suolo coperto da combustibili bassi e fini (lettiera)</i>	Popolamenti arborei con combustibili di superficie (principalmente lettiera). La quantità di biomassa presente nel sottobosco risulta scarsa per motivi naturali (copertura colma dove l'assenza di insolazione inibisce la crescita di vegetazione al suolo) o per motivi antropici (il combustibile al suolo è stato rimosso per mezzo di interventi meccanici, chimici o mediante fuoco prescritto). Si possono sviluppare incendi di tipo radente di bassa intensità, ma vi si possono propagare incendi di chioma originatisi in aree prospicienti se le caratteristiche dello strato arboreo lo consentono.
6	<i>Boschi con suolo coperto da combustibili di medie dimensioni (arbusti bassi)</i>	Popolamenti arborei con combustibili superficiali rappresentati da lettiera, erba e da uno strato arbustivo di piccole - medie dimensioni, che determinano una discreta quantità di biomassa al suolo. La distanza fra lo strato arbustivo e l'inserzione delle chiome degli alberi è uguale o superiore a 0,50 m. Si possono sviluppare incendi radenti di varia intensità che possono eventualmente passare in chioma se le caratteristiche del popolamento arboreo lo consentono.
7	<i>Boschi con suolo coperto da combustibili di grandi dimensioni (arbusti alti)</i>	Popolamenti arborei con combustibili superficiali rappresentati da lettiera, erba e arbusti di medie - grandi dimensioni, che determinano una elevata quantità di biomassa al suolo. Non esiste soluzione di continuità fra lo strato arbustivo e le chiome degli alberi. Possibilità di sviluppo di incendi radenti di alta intensità che possono passare in chioma con facilità se le caratteristiche del popolamento lo permettono.

**Tabella 3.7** – Descrizione delle caratteristiche dei tipi di combustibile elaborata nel progetto Prometheus (tratta da Bovio et Ascoli, 2013).



L'assegnazione delle aree campionate ad ogni categoria è avvenuta seguendo il seguente schema di classificazione (Figura 3.10).



**Figura 3.10** – Modalità di classificazione dei combustibili con il sistema Prometheus (tratta da Arroyo et al., 2006).

Lo schema di classificazione è basato perciò su indagini di tipo strutturale e qualitativo, volte alla determinazione delle caratteristiche morfologiche dei combustibili (composizione, copertura, altezza) distinti in funzione dello strato principale (erbaceo, arbustivo o arboreo) e delle soluzioni di continuità verticali. Grazie a queste caratteristiche e alla facilità di applicazione in campo, il sistema Prometheus risulta essere uno strumento molto utile per la caratterizzazione dei combustibili forestali ed inoltre può essere adattato a diversi ambienti.

## 3.5 Simulazioni in FARSITE

### 3.5.1 Metodologia di valutazione delle classi di combustibile

I valori, ottenuti dalla classificazione in classi del combustibile, sono stati utilizzati come input per supportare la simulazione della propagazione degli incendi attraverso il software FARSITE (Finney, 2004). Il metodo di valutazione delle classi di combustibile si è basato, quindi, sul confronto tra superfici realmente percorse da incendi boschivi nei Colli Euganei e le superfici ottenute dall'applicazione del software FARSITE, che riproduce il comportamento del fuoco sulla base degli input propri delle classi di combustibile, e anche dei parametri meteorologici, dell'umidità delle varie componenti del combustibile e dei fattori orografici.

Gli incendi esaminati sono stati tre, individuati tra quelli censiti nell'archivio storico del Servizio Forestale Regionale (SFR) di Padova e Rovigo dal 2003 al 2012, aventi una superficie bruciata di almeno 5000 m<sup>2</sup>. La scelta del periodo è stata motivata dal fatto che, solo dal 2003, i perimetri vengono rilevati con maggiore accuratezza utilizzando il GPS SIRF3; inoltre risultava più agevole ricavare informazioni sulla base delle testimonianze del personale dell'ufficio AIB di Padova, effettivamente operativo nelle attività di spegnimento degli incendi analizzati.

Gli incendi che sono stati considerati per le simulazioni sono riportati nella seguente tabella (Tabella 3.5) e verranno descritti nel paragrafo 3.5.6.

Codice incendio	Data	Comune	Località	Coordinate del punto di innesco (Gauss-Boaga fuso ovest)		Quota punto d'innesco (m s.l.m.)	Tipologia forestale interessata	Superficie bruciata (ha)	Stazione ARPAV di riferimento	Distanza stazione ARPAV (km)
				EST	NORD					
2003/078	15/08/2003	Rovolon	Monte Grande	1709048	5027123	200	Castagneto dei subst. magmatici	30,68	Teolo (158 m s.l.m)	2,3
2003/075	09/08/2003	Arquà Petrarca	Monte Ventolone	1713248	5017523	330	Castagneto dei subst. magmatici	1,5	Este, loc. Calaone (69 m s.l.m.)	5,2
2011/073	10/07/2011	Teolo	Monte Grande – loc. Loara	1709900	5026760	250	Castagneto dei subst. magmatici	0,97	Teolo (158 m s.l.m)	2,1

**Tabella 3.8** – Incendi avvenuti nei Colli Euganei che sono stati utilizzati per la verifica delle classi di combustibile.

### 3.5.2 Input di FARSITE

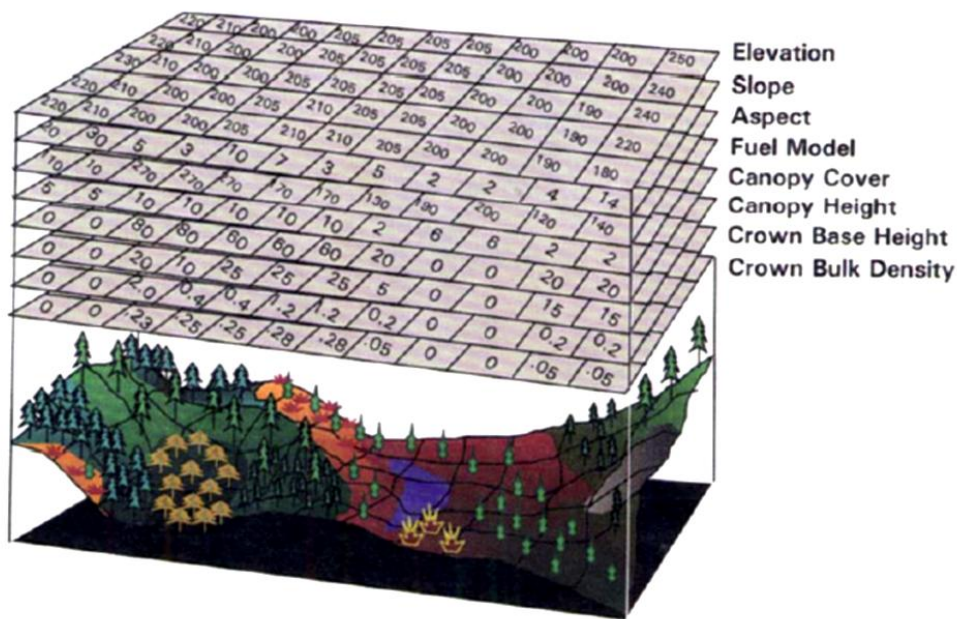
FARSITE (*Fire Area Simulator*) permette di predire lo sviluppo bidimensionale di un incendio e fornisce dettagliate analisi di comportamento del fuoco e dei suoi effetti (in termini di avanzamento e intensità lineare del fronte di fiamma, area coperta dall'incendio, etc.) su differenti scale spaziali e temporali. Per sfruttare queste funzionalità il simulatore necessita di una serie di strati di input che rappresentano le caratteristiche del territorio e dell'ambiente maggiormente influenti per lo sviluppo e la propagazione del fuoco. Viene perciò spiegata la procedura seguita in questo studio, per l'inserimento degli input necessari per le simulazioni.

FARSITE, innanzitutto, richiede la creazione di un file denominato *Landscape* attraverso l'utilizzo di temi di tipo *raster* che contengono le informazioni spaziali relative all'area in cui si vuole simulare un incendio boschivo e che è necessario predisporre tramite l'utilizzo di un software GIS. In particolare i fattori topografici e orografici condizionano notevolmente il comportamento del fuoco in un determinato territorio. La loro azione si svolge in modo sia diretto sia indiretto. In modo diretto influiscono sulla combustione favorendone la diffusione o al contrario rallentandola; in modo indiretto influiscono sull'ambiente in cui possono svilupparsi determinate coperture vegetali con differente capacità di condurre la combustione (Bovio *et Ascoli*, 2013). Gli effetti che essi hanno sugli incendi sono molto accentuati qualora accadano in zone con un'orografia complessa, mentre in zone pianeggianti l'influenza è molto limitata (Salis, 2007).

Le informazioni orografiche necessarie per formare il file *Landscape* (.LCP) sono (Figura 3.11):

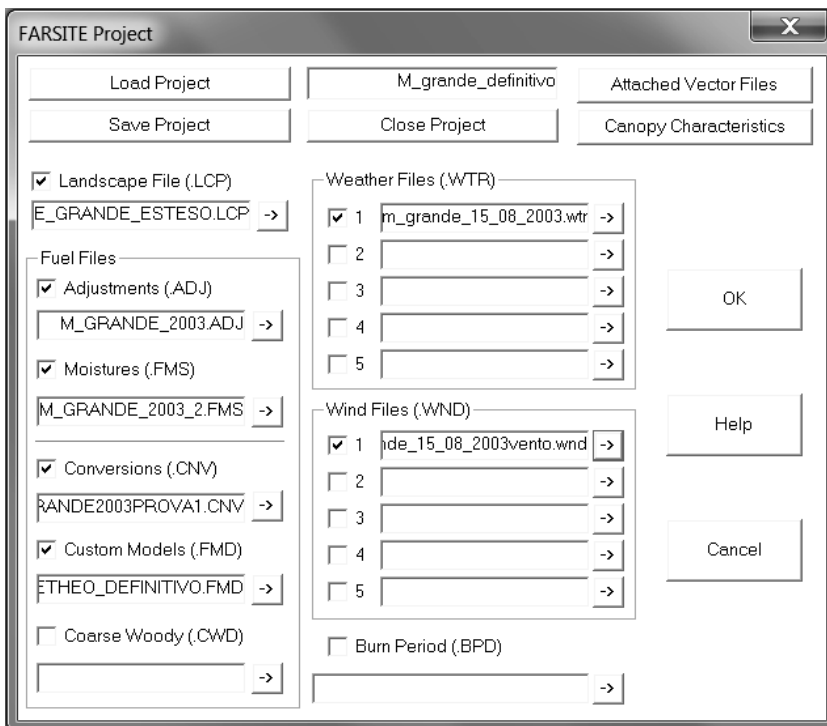
- Quota (espressa in metri sul livello del mare);
- Pendenza del versante (espressa in percentuale);
- Esposizione del versante rispetto al Nord (espressa in gradi);
- Modello di combustibile;
- Copertura delle chiome (espressa in percentuale);
- Altezza delle piante (espressa in m);
- Altezza d'inserzione di chioma (espressa in m);
- Densità del volume di chioma (espressa  $\text{kg/m}^3$ ).

I dati *raster* utilizzati per generare il file *Landscape* (.LCP) di FARSITE sono stati ricavati dalla Carta di Uso del Suolo e dal DEM 10x10 prodotto della Regione Veneto. Il file è stato creato utilizzando l'estensione *LANDFIRE Data Access Tool 2.3* del programma ESRI® ArcMap™10.0 (2014).



**Figura 3.11** – Dati layer raster contenuti nel file Landscape (Finney, 2006).

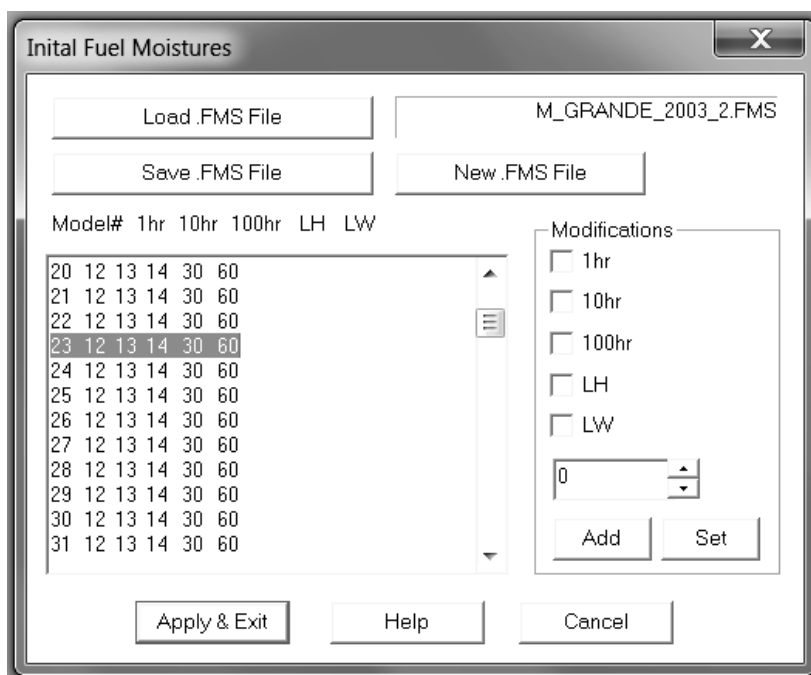
Successivamente si procede alla creazione del file *Project* (.FPJ) che, oltre a visualizzare il file *Landscape*, contiene anche i dati meteorologici, anemometrici e quelli relativi ai combustibili; non sono presenti invece le informazioni per la fase di esecuzione della simulazione (*FARSITE, Tutorial and User Guide*). I temi che formano il file *Project* (.FPJ) si suddividono in tre categorie principali: *Fuel files*, *Weather files* e *Wind files* (Figura 3.12).



**Figura 3.12** – Interfaccia del file Project in FARSITE

I dati di combustibile riguardano le caratteristiche vegetazionali dell'area in cui viene effettuata la simulazione. Fanno parte dei *Fuel files*:

- *Adjustments (.ADJ)*: il file di correzione permette di apportare delle modifiche alla velocità di propagazione in quanto la simulazione attraverso un ampio territorio eterogeneo e per un prolungato periodo di tempo può condurre inevitabilmente a degli errori nella stima della velocità di avanzamento del fronte fuoco (*FARSITE, Tutorial and User Guide*). In questo studio, il valore del file *Adjustment* è stato mantenuto pari a 1, nell'ipotesi che non vi sia necessità di applicare fattori di correzione (Variara, 2012).
- *Moistures (.FMS)*: è richiesto di impostare l'umidità che i combustibili morti presentano all'inizio della simulazione. Questi valori sono utilizzati da FARSITE per calcolare l'umidità dei combustibili in ogni punto della mappa e per ogni time-step della simulazione. L'umidità iniziale del combustibile fine morto è stata ricavata attraverso l'applicazione *Fine Dead Fuel Moisture* del programma BEHAVE PLUS 5.0.0., inserendo i dati relativi all'ora del giorno in cui si sono verificati gli incendi: temperatura, umidità dell'aria e caratteristiche orografiche della stazione. Per determinare i valori di umidità del combustibile morto 10 h, 100 h, della componente erbacea e legnosa viva, BEHAVE utilizza un'applicazione denominata *Moisture Scenario* in cui vengono considerati degli scenari di umidità standard, individuati in base alla classe di combustibile e all'umidità calcolata della componente 1 h. Tali scenari fanno riferimento al lavoro di ricerca della USDA Forest Service (Scott *et* Burgan, 2005). I parametri che sono stati utilizzati in questo studio sono riportati in Figura 3.13.



**Figura 3.13** – Umidità iniziale delle classi di combustibile utilizzate in FARSITE.

- *Conversions (.CNV)*: questo file serve nel caso in cui i numeri dei modelli di combustibile presenti nel file *raster FUEL MODEL ASCII* non corrispondano a quelli contenuti nel file *Custom Fuel Model*.
- *Custom Models*: FARSITE consente di inserire i dati per creare un modello di combustibile personalizzato su cui si vuole far procedere la simulazione.

In questo studio, i valori che vanno a costituire il *Custom fuel model* (Figura 3.14) derivano dalla suddivisione in classi secondo la classificazione Prometheus e, in parte, da valori riportati in letteratura:

- *Fuel Number*: è il numero assegnato ad ogni modello personalizzato.
- *1 h Fuel Load*: è il carico, in  $\text{Mg ha}^{-1}$ , del combustibile morto presente al suolo con diametro fino a 0,65 cm, quindi con time-lag 1 h, comprendente, oltre al materiale individuato come tale nei rilievi in campo, anche la lettiera e l'erba morta.
- *10 h Fuel Load*: è il carico, in  $\text{Mg ha}^{-1}$ , del combustibile morto presente al suolo con diametro compreso tra 0,65 e 2,5 cm, quindi con time-lag 10 h; comprende il materiale individuato come tale nei rilievi in campo.
- *100 h Fuel Load*: è il carico, in  $\text{Mg ha}^{-1}$ , del combustibile morto presente al suolo con diametro compreso tra 2,5 e 7,5 cm, quindi con time-lag 100 h; comprende il materiale individuato come tale nei rilievi in campo.
- *Live Herbaceous Fuel Load*: è il carico, in  $\text{Mg ha}^{-1}$ , della componente viva del combustibile erbaceo, individuata sottraendo al carico di biomassa totale dell'erba la sua componente morta.
- *Live Woody Fuel Load*: è il carico, in  $\text{Mg ha}^{-1}$ , della componente viva della biomassa arbustiva, individuata sottraendo al carico totale degli arbusti la sua componente morta.
- *Static/dinamic*: FARSITE chiede di specificare se il modello è statico o dinamico, ovvero se può esservi variazione nel rapporto tra componenti vivi e morti del combustibile (modello dinamico) o meno (statico), in funzione del contenuto idrico; per le classi di combustibile individuate è stato impostato un comportamento statico.
- *SA/V*: è il rapporto superficie/volume (indicato come  $\sigma$ ) dei combustibili, è un parametro fondamentale per individuare la rapidità di accensione (Cesti, 2005). Si sono utilizzati, in tal caso, dati medi relativi ad uno studio della stazione di ricerca del Rocky Mountain della USDA Forest Service (Scott *et* Burgan, 2005). FARSITE richiede 3 valori di  $\sigma$  espressi in  $\text{cm}^2 \text{cm}^{-3}$ :  
*1 h SA/V*: per il materiale con tempo di rilassamento 1 h si è considerato un valore di  $\sigma$  pari a  $37 \text{ cm}^2 \text{cm}^{-3}$ ;  
*Live Herbaceous SA/V*: per l'erba viva si è considerato un valore di  $\sigma$  pari a  $51 \text{ cm}^2 \text{cm}^{-3}$ ;

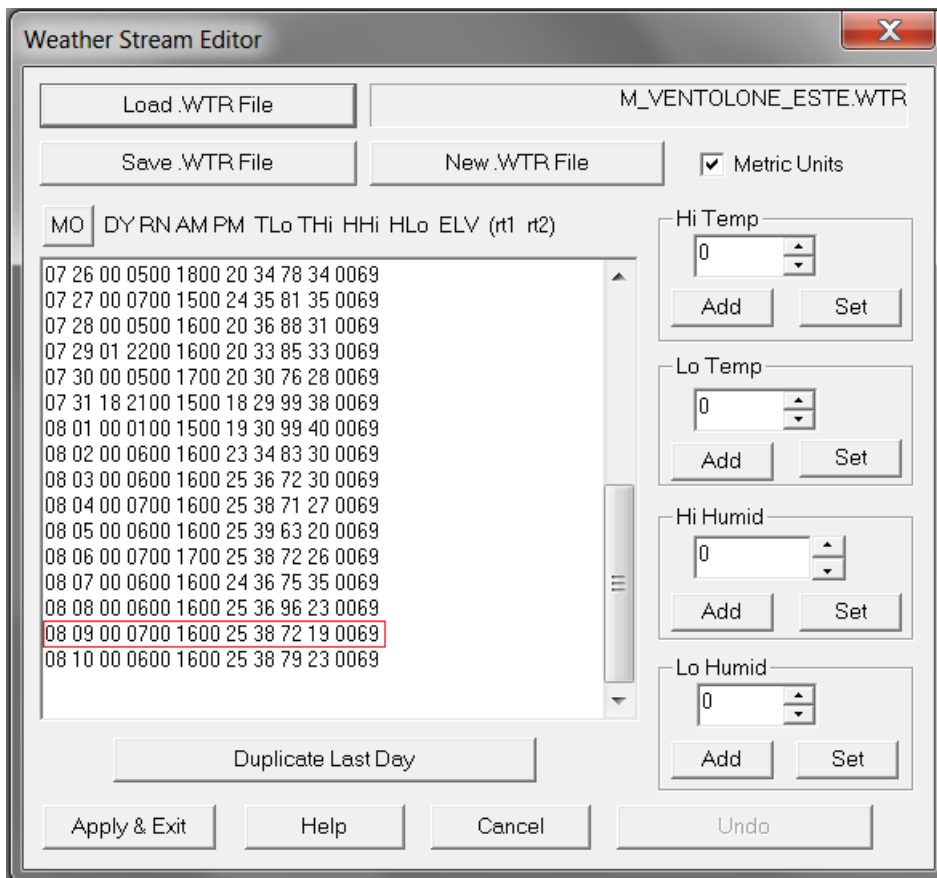
*Live Woody SA/V*: è il  $\sigma$  delle foglie e dei fusti sottili degli arbusti vivi; si è considerato un valore di  $\sigma$  pari a  $37 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ .

- *Fuel Bed Depth*: costituisce la profondità, in m, del letto combustibile, inteso come media aritmetica (Andrews *et al.*, 2008) tra l'altezza degli strati (arbustivo, erbaceo o di lettiera), che maggiormente concorrono alla propagazione del fuoco in ogni particella, calcolato secondo le indicazioni del sottocapitolo 3.2.5.
- *Dead Fuel Moisture of Extinction*: è l'umidità di estinzione, in percentuale, del combustibile morto; costituisce il contenuto percentuale in acqua del combustibile morto oltre il quale non è più possibile una propagazione del fuoco. Per le classi di combustibile individuate, si è considerato un valore dell'umidità di estinzione pari al 25%, come proposto in altri studi per simili condizioni dei combustibili (Del Favero, 2000; Goatin, 2011).
- *Dead Fuel Heat Content*: è il potere calorifico, in  $\text{kJ kg}^{-1}$ , del combustibile morto. Si è considerato, per le classi di combustibile individuate, un valore di  $18200 \text{ kJ kg}^{-1}$ , che corrisponde al potere calorifico superiore di un legno di latifoglie (Cesti, 2005).
- *Live Fuel Heat Content*: è il potere calorifico, in  $\text{kJ kg}^{-1}$ , del combustibile vivo. Come per il parametro precedente, si è considerato un valore standard di  $18200 \text{ kJ kg}^{-1}$ .



**Figura 3.14** – Modelli di combustibile personalizzati all'interno del file Custom models (.FMD).

Le condizioni meteorologiche vengono indicate nel *Weather file* (.WTR), in cui vanno inserite le osservazioni giornaliere sulla temperatura, l'umidità relativa e le precipitazioni del periodo dell'incendio oggetto di studio. Tali parametri permettono di definire l'andamento climatico giornaliero, in modo da calcolare l'umidità del combustibile legnoso morto di una determinata area. In dettaglio, i valori all'interno dei file *Weather* (Figura 3.15) riguardano: il giorno e il mese dei rilevamenti, i mm di pioggia caduti nelle ventiquattro ore, l'orario in cui sono state registrate la temperatura minima e quella massima, la corrispondente temperatura minima e massima espresse in gradi Celsius, i valori di umidità massima e minima espressi in percentuale e la quota (m s.l.m.) della stazione di rilievo. I dati meteo utilizzati durante le simulazioni sono stati forniti dal centro meteorologico ARPA del Veneto e rilevati dalle stazioni più vicine al luogo dove si sono verificati gli incendi, situate a Teolo (158 m s.l.m.) e Este, loc. Calaone (69 m s.l.m.).



**Figura 3.15** – File Weather in FARSITE. Nell'esempio sono stati evidenziati in rosso i dati meteo relativi al giorno dell'incendio del Monte Ventolone, rilevati dalla stazione di Este. MO (mese), DY (giorno), RN (mm di pioggia), AM e PM: rispettivamente orario della temperatura minima (TLo) e massima (THi), umidità massima (HHi) e minima (HLo), quota in m (ELV).



I *Wind files* (.WND) riportano un flusso di dati che descrivono la direzione e la velocità del vento in una determinata area. Il software FARSITE considera che il vento sia variabile nel tempo ma costante nello spazio (Finney, 2004) ovvero non tiene in considerazione gli effetti che l'orografia di un territorio e la vegetazione possono avere sulla direzione e sull'intensità del vento. La spazializzazione del vento è eventualmente possibile se si utilizzano altri software. Tuttavia, le stazioni meteorologiche di riferimento si trovano ad una distanza relativamente breve rispetto alle aree degli incendi simulati in questo studio (Tabella 3.8), per questo motivo non è stato ritenuto necessario modificare i dati relativi al vento.

I valori richiesti sono: il giorno, il mese e l'ora del rilevamento, la velocità (km/h) e la direzione (gradi in senso orario da nord) del vento e la copertura nuvolosa espressa in percentuale da 0, per il cielo completamente sereno, a 100, per cielo completamente coperto. Considerando la scarsa influenza della copertura nuvolosa sulle simulazioni (Variara, 2014) e in mancanza di dati precisi, poiché l'ARPAV fornisce soltanto i valori orari di radiazione solare, è stato deciso di impostare, in maniera prudenziale, una copertura nuvolosa costante pari a 0. I dati anemometrici sono stati riportati ogni 10 minuti.

Successivamente alla creazione del file *Project*, vengono stabilite le risoluzioni spaziali e temporali della simulazione, attraverso i seguenti parametri:

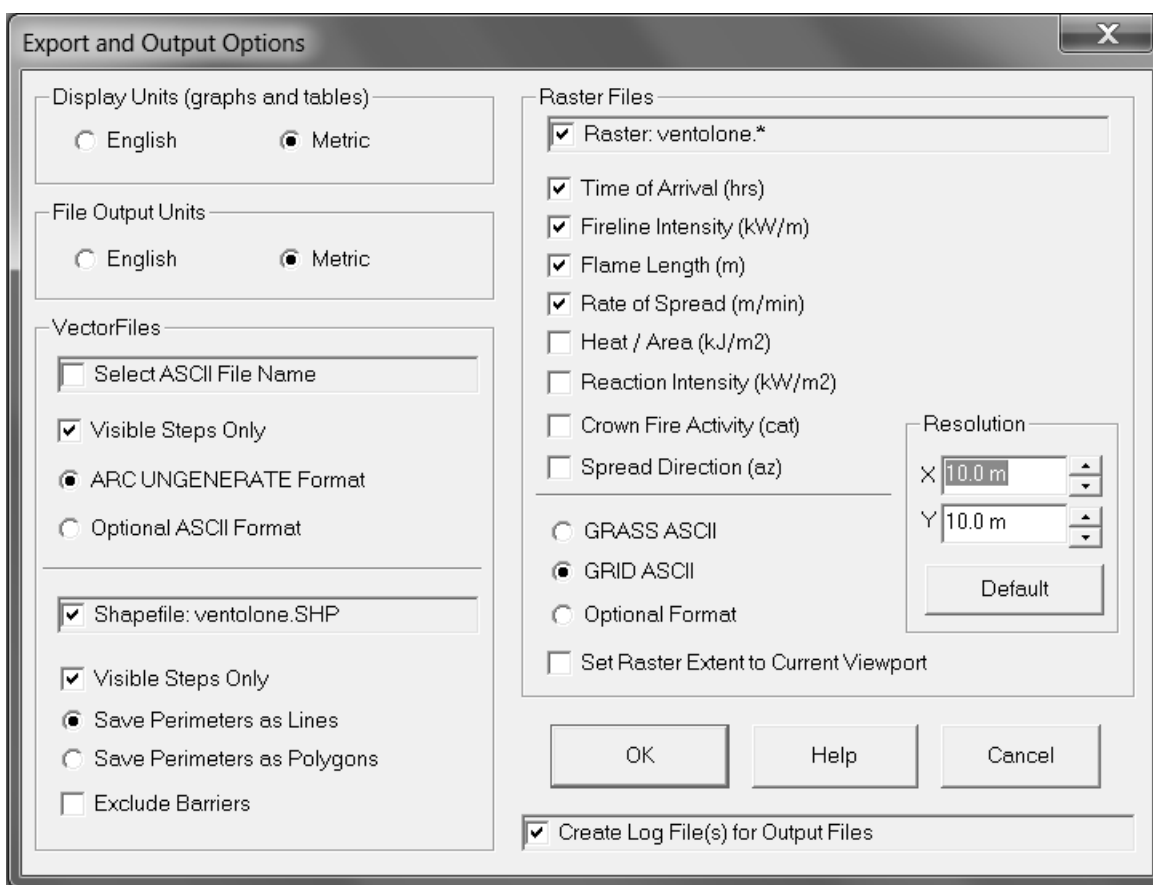
- *Time Step*, ovvero l'arco di tempo in cui vengono considerate costanti le variabili meteorologiche. In quest'intervallo sono calcolati l'umidità del combustibile e il successivo fronte d'avanzamento dell'incendio;
- *Visible Step*, che è la rappresentazione grafica del *Time Step*;
- *Perimeter Resolution*: è la risoluzione spaziale del perimetro e determina la massima distanza che intercorre tra i punti utilizzati per definire il perimetro dell'incendio;
- *Distance Resolution*: risoluzione spaziale della distanza di propagazione massima che l'incendio può raggiungere tra un *Time Step* e quello successivo.

In questo studio è stato mantenuto un valore pari a 30 minuti sia per il *Time step* sia per il *Visible step*. Invece la risoluzione del perimetro e la distanza di risoluzione sono state impostate a 10 m.

Per impostare la durata della simulazione si utilizza la funzione *Duration* che stabilisce il tempo di inizio e quello di conclusione per i calcoli dell'incendio. Inoltre è possibile utilizzare il *Conditioning Period*, che permette al programma di calcolare le variazioni di umidità nel combustibile, causate dalle condizioni meteorologiche antecedenti i giorni dell'incendio. In ciascuna simulazione sono stati perciò considerati 30 giorni di dati meteo. Per quanto riguarda la durata, ai fini della tesi, è stato deciso di interrompere le simulazioni al momento del maggior

intervento dei mezzi aerei. Tale scelta è stata compiuta per la difficoltà di ricostruire con accuratezza le modalità di spegnimento, le quali costituiscono una variabile importante nell'influenzare la propagazione dell'incendio. Pertanto, nonostante nel corso della simulazione ci sia la possibilità di inserire i parametri per riprodurre gli interventi di estinzione del fuoco, questa funzionalità di FARSITE non è stata utilizzata nel presente studio a causa della mancanza di informazioni dettagliate.

Prima di procedere è necessario definire nell'interfaccia *Export and Output* (Figura 3.16) le caratteristiche degli output scegliendone il formato, l'estensione e il parametro che ogni output deve contenere.



**Figura 3.16** – Scelta degli output della simulazione.

A questo punto, si può visualizzare la schermata con i modelli di combustibile, grazie all'utilizzo della funzione: *Simulate > Initiate/Terminate*.

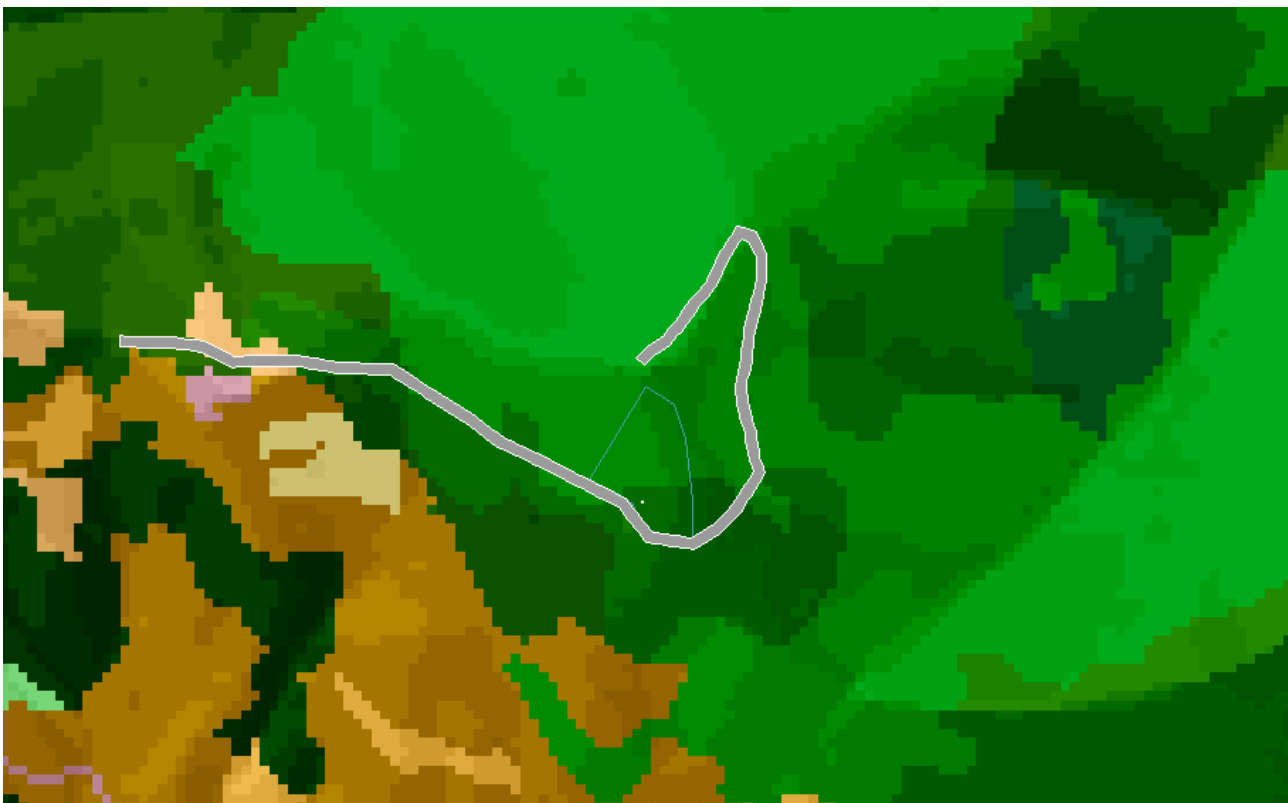
Per permettere il confronto tra l'incendio reale e quello simulato con FARSITE, è stato caricato, all'interno del *Landscape*, anche il perimetro effettivo per ciascuno degli incendi analizzati.

La funzione *Simulate > Modify Map* consente di importare sul *Landscape* il punto di innesco da cui si è originato ogni incendio. È importante che esso venga stabilito nel modo più preciso possibile in

quanto spostamenti di anche soli pochi metri rischiano di condizionare significativamente l'efficacia della simulazione (Variara, 2012). Non essendo disponibile una localizzazione esatta dei punti di accensione, per ciascuno degli incendi analizzati, essa è stata determinata: in primo luogo, sulla base delle indicazioni fornite dagli operatori del Servizio Forestale che sono intervenuti durante gli incendi; in secondo luogo, valutando la possibile direzione di propagazione del fuoco desumibile dal perimetro effettivo sulla Carta Tecnica Regionale; in ultimo, attraverso un sopralluogo nelle aree bruciate.

Tramite la stessa funzione è possibile anche importare le barriere, che potrebbero condizionare la propagazione del fuoco. Nel caso degli incendi simulati in questo studio, le strade, con larghezza della carreggiata di almeno 3,5 metri, sono state considerate come barriere in quanto, oltre a interrompere la continuità della vegetazione, hanno permesso l'accesso ai mezzi antincendio e il conseguente intervento di spegnimento da terra. Tale scelta è stata confermata dal confronto con il perimetro reale di ciascun incendio sulla Carta Tecnica Regionale.

A questo punto (Figura 3.17) è possibile avviare la simulazione con il comando *Step Through*, che dà avvio al calcolo dell'umidità del combustibile e delinea il perimetro, visualizzando la propagazione dell'incendio *step by step*; altrimenti attraverso il comando *Start/Restart* si può visualizzare direttamente la simulazione conclusa.



**Figura 3.17** – Visualizzazione del Landscape (relativo al Monte Ventolone) prima di procedere con la simulazione: si può notare il punto di innesco, la barriera e il perimetro dell'incendio reale.

### 3.5.3 Output di FARSITE

Tutte le simulazioni effettuate da FARSITE vengono esportate in formato vettoriale o raster. Il file vettoriale principale è il perimetro dell'area incendiata (*shapefile*), che ha permesso di verificare l'accuratezza di ciascuna simulazione attraverso il confronto con le aree effettivamente percorse dal fuoco.

Gli output raster (Tabella 3.9) riguardano invece otto parametri che descrivono il comportamento del fuoco; questi file hanno un formato *ASCII* predefinito, e la loro risoluzione può variare tra 1 e 200 metri.

Output di FARSITE	Estensione del file	Unità di misura
Time of Arrival	.TOA	ore
Rate of Spread	.ROS	m min <sup>-1</sup>
Reaction Intensity	.RCI	kW m <sup>-2</sup>
Fireline Intensity	.FLI	kW m <sup>-1</sup>
Heat per Unit Area	.HPA	kJ m <sup>-2</sup>
Flame length	.FML	m
Crown-NoCrown	.CFR	1= superficie 2= passivo 3= attivo
Spread Direction	.SDR	0-359° Azimuth

**Tabella 3.9** – Gli otto file output forniti da FARSITE.

La modalità con cui si manifesta la propagazione di un fronte di fiamma viene descritta principalmente attraverso la velocità di avanzamento, l'intensità di reazione, il calore rilasciato per unità di area, l'intensità del fronte di fiamma e la lunghezza di fiamma. Queste variabili sono strettamente collegate tra loro e la variazione di una di esse si riflette su tutte le altre (Bovio *et Ascoli*, 2013). Ai fini del presente studio sono stati considerati principalmente la velocità di propagazione (ROS, *rate of spread*), l'intensità del fronte (FLI, *fireline intensity*), la lunghezza delle fiamme (FML, *flame length*).

La *velocità di avanzamento del fronte di fiamma* (ROS): è la velocità, in m/min, con la quale si sposta il fronte di fiamma; essa cresce in funzione della quantità di biomassa in combustione, della velocità del vento (la proporzionalità è diretta fino ad un valore della velocità del vento di circa 40 km/h, superata tale soglia, la variazione è meno che proporzionale) e del contenuto di umidità dei combustibili (Leone *et al.* 2008). Se si considera la forma di un incendio come un'ellisse, la velocità

di avanzamento è maggiore in testa all'incendio e minore nella parte posteriore e può variare da un massimo di 5,5 m/s in presenza di combustibile erbaceo secco, ad un minimo di 0,4 m/s (Salis, 2007).

In FARSITE questo parametro è determinato tramite la seguente formula sviluppata da Rothermel (1972) per il modello di propagazione degli incendi superficiali:

$$ROS = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_W \Phi_S)}{\rho_b \varepsilon Q_{i_g}} \quad [3.8]$$

Dove:

$I_R$  = Intensità di reazione ( $\text{kJ min}^{-1} \text{m}^{-2}$ ), è la quantità di calore rilasciato per unità di area dal fronte di fuoco.

$\xi$  = Propagating flux ratio (adimensionale). E' la frazione di  $I_R$  disponibile per la propagazione del fronte fuoco (*propagating flux*) (Rothermel, 1972);

$\rho_b$  = Densità apparente ( $\text{kg/m}^3$ ) o massa secca del combustibile per unità di volume;

$\varepsilon$  = Rapporto adimensionale tra la densità apparente e la massa del combustibile coinvolto nel processo di ignizione;

$Q_{i_g}$  = Calore al pre-innesco ( $\text{kJ/kg}$ ), che è funzione dell'umidità del combustibile, della temperatura al momento dell'innesco e della quantità di combustibile;

$\Phi_W$  e  $\Phi_S$  = Coefficienti adimensionali riferiti al vento e alla pendenza (Burgan 1987; Rothermel, 1972).

Per valutare la velocità di propagazione del fronte di fiamma possono essere adottate le classi riportate in Tabella 3.10.

Classe di grandezza	ROS (m/min)
lenta	0 – 2
media	2 – 10
alta	10 – 70
estrema	> 70

**Tabella 3.10** – Classi di grandezza della velocità di propagazione del fronte di fiamma (tratta da ICONA, 1990).

L'intensità lineare del fronte di fiamma (FLI) esprime la quantità di energia termica rilasciata nell'unità di tempo e per unità di lunghezza del fronte di fiamma, indipendentemente dalla

profondità del fronte stesso (Byram, 1959). È un parametro utile a misurare l'intensità di un incendio e la difficoltà nel contenerlo. I valori di intensità possono variare da 10 - 30 kW/m fino a valori di 100.000 kW/m per eventi estremi (Alexander, 1982). Incendi radenti di bassa intensità solitamente non superano 550 kW/m. Si parla invece di alta intensità quando vengono superati i 4000 kW/m di intensità lineare (Alexander, 1982).

Byram (1959) ha elaborato la seguente formula per determinare la *Fire Line Intensity* (kW/m):

$$FLI = H W ROS \quad [3.9]$$

Dove:

H = Calore totale rilasciato dal combustibile (kJ/kg);

W = Biomassa combusta nella zona attiva del fronte fiamma per unità di superficie (kg/m<sup>2</sup>);

ROS = Velocità di avanzamento fronte fiamma (m/s).

Inoltre, sulla base della velocità di propagazione e dell'intensità lineare, è possibile classificare un incendio secondo una scala di gravità (Salazar, 1985) (Tabella 3.11).

Classe	Gravità	ROS (m/min)	FLI (kW/m)
1	bassa	< 0,762	346
2	media	0,762 – 3,810	1730
3	alta	3,810 – 7,620	3459
4	estrema	> 7,620	> 3459

**Tabella 3.11** – Valutazione degli incendi secondo classi di gravità.

La *lunghezza di fiamma* (FML) di un incendio superficiale è la distanza tra l'estremità delle fiamme e il terreno, considerando un punto all'interno del fronte del fuoco.

È un parametro che dipende in modo diretto dalla velocità del vento, dall'altezza della vegetazione, dalla velocità di propagazione. Oltre che a definire le condizioni operative (da essa dipende infatti l'intensità del fronte di fiamma) e le possibilità di intervento, essa serve per dimensionare la larghezza dei viali parafuoco (Leone *et al.*, 2008).

Può essere descritta dalla seguente formula (Byram, 1959):

$$FML = 0,45 I_b^{0,46} \quad [3.10]$$

Dove:  $I_b$  = Fireline Intensity

### 3.5.4 Verifica delle classi di combustibile al variare delle condizioni ambientali

Con lo scopo di sviluppare le classi di combustibile per le aree forestali dei Colli Euganei, è stata utilizzata l'applicazione *Model to test* di FARSITE (v. Figura 3.14) che permette di verificare, per ogni modello, il comportamento del fuoco al variare delle seguenti condizioni ambientali: velocità del vento, pendenza e tre scenari di umidità standard (riportati in Tabella 3.12).

Scenario di umidità	Umidità combustibile 1 h (%)	Umidità combustibile 10 h (%)	Umidità combustibile 100 h (%)	Umidità combustibili vivi legnosi (%)	Umidità combustibili vivi erbacei (%)
<i>Bassa</i>	3	4	5	70	70
<i>Media</i>	6	7	8	120	120
<i>Alta</i>	12	13	14	170	170

**Tabella 3.12** – Scenari di umidità del software FARSITE (tratta da Leone et al., 2008)

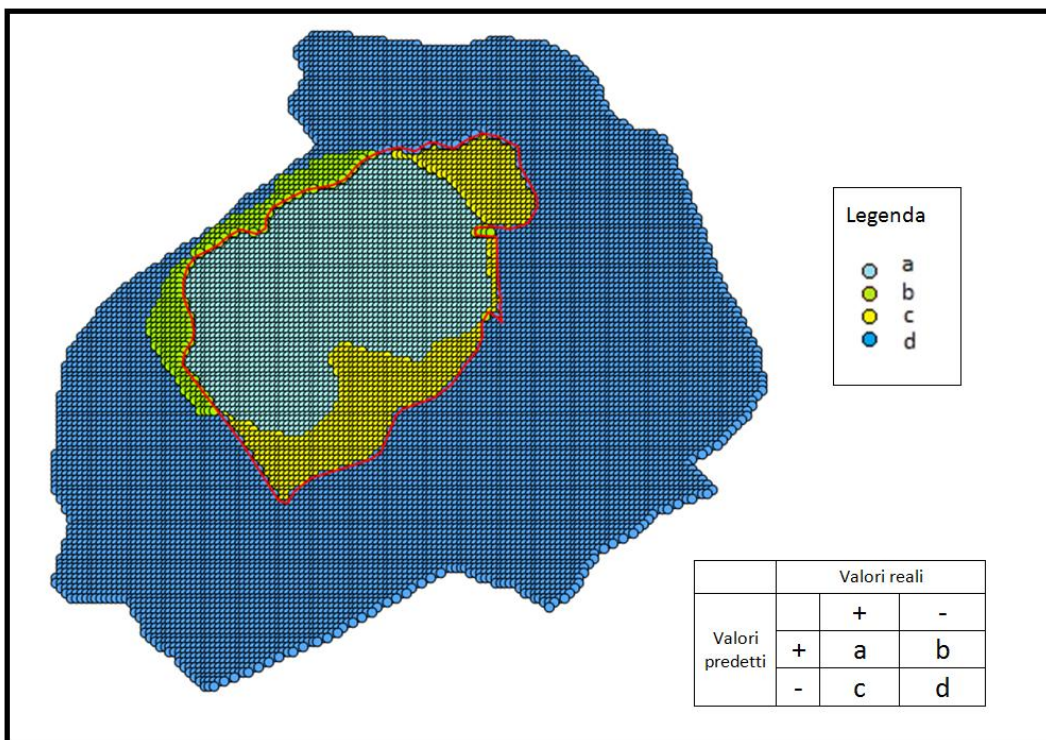
L'applicazione, utilizzando il sistema BEHAVE, è in grado di fornire, come output, la velocità di avanzamento del fronte di fiamma (in  $\text{m min}^{-1}$ ), la lunghezza di fiamma (in m) e l'altezza critica della base delle chiome oltre la quale l'incendio si propaga in chioma (espressa in m). Quest'ultima viene descritta da Scott et Reinhardt (2001) come l'altezza minima dal terreno alla quale si trova il combustibile, in quantità tale da consentire la propagazione di un incendio di chioma. Maggiore è la distanza tra la base delle chiome e il terreno, maggiore è il valore di intensità necessario per avviare un incendio di chioma, quindi più difficile è che tale evento si determini (Bovio et al., 2014).

I risultati sono stati elaborati in grafici, per avere una visione diretta della relazione tra la variazione delle principali condizioni ambientali e le diverse classi di combustibile individuate. In particolare questa fase dello studio ha permesso di valutare l'effettiva differenza tra le classi di combustibile, sulla base del comportamento del fuoco. Infine, come ulteriore verifica delle classi di combustibile, si è voluto testarne la conformità con i corrispondenti modelli di combustibile standard (Tabella 1.1) sviluppati negli Stati Uniti (Albini, 1976; Anderson, 1982), attraverso il confronto del comportamento del fuoco ottenuto dall'applicazione in FARSITE.

### 3.5.5 Analisi delle simulazioni di FARSITE

Per verificare se le classi di combustibile create siano utilizzabili per la simulazione del comportamento del fuoco, si è proceduto alla verifica sperimentale della propagazione su incendi reali, individuati tramite le schede del Servizio Forestale Regionale riportanti i perimetri delle aree bruciate. La sovrapposizione dell'area incendiata con quella riprodotta dal simulatore, ha consentito

di valutare la rispondenza tra il risultato del modello e la realtà. L'estensione finale di ogni incendio, ottenuta mediante la simulazione, è stata esportata in formato vettoriale (.shp) e sovrapposta all'area realmente percorsa dal fuoco. È stata inoltre ricostruita la superficie potenzialmente bruciabile per poter definire le aree incendiate e non incendiate. Infine, nel progetto GIS è stata impostata una griglia di punti, in questo modo la zona dell'incendio viene ad essere costituita da un insieme di punti aventi due possibili valori: bruciato e non bruciato. L'unione tra il perimetro dell'incendio reale e quello simulato permette quindi di ottenere quattro possibili casi: a, b, c, d. In Figura 3.18, i punti a (veri positivi) e d (veri negativi) definiscono le stime corrette rispettivamente per le aree bruciate e non bruciate; b sono i punti falsi positivi, ovvero le zone bruciate nella simulazione ma non nella realtà; infine, c (falsi negativi) sono le zone che risultano bruciate nella realtà ma non nella simulazione. Inoltre, è stata realizzata una tabella di contingenza (matrice di confusione) per definire la frequenza (numero di punti) di ciascun caso (presenza/assenza di aree bruciate) ottenendo una matrice quadrata in cui gli elementi posti nella diagonale rappresentano i casi in cui le aree "simulata" e "osservata" coincidono, mentre le celle fuori dalla diagonale contengono il numero di elementi non concordanti.



**Figura 3.18** – Unione tra il perimetro dell'incendio reale e di quello simulato con i 4 possibili casi.

L'accuratezza di ciascuna simulazione, come avvenuto in altri studi (Salis, 2008; Arca *et al.*, 2007), è stata valutata utilizzando due indicatori statistici di associazione binaria tra aree bruciate e non bruciate, derivate dalla matrice di confusione: coefficiente kappa di Cohen (Congalton, 1991; Congalton *et Green*, 1999) e il coefficiente di Sørensen (1948).



Il kappa di Cohen (K) è un coefficiente che rappresenta il grado di accuratezza e affidabilità in una classificazione statistica: è un indice che permette la valutazione della concordanza reale tra due serie di categorizzazioni (aree simulata ed effettiva), al netto di quella dovuta al caso.

Questo coefficiente è particolarmente utile per stimare l'accuratezza dei modelli predittivi verificando la concordanza tra l'area simulata (in FARSITE) e l'area bruciata osservata.

I valori K sono stati calcolati come segue:

$$K = \frac{\Pr(a) - \Pr(e)}{1 - \Pr(e)} \quad [3.11]$$

$\Pr(a)$  sono le proporzioni di accordo osservate, vengono calcolate come segue:

$$\Pr(a) = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ii}}{X_{++}} \quad [3.12]$$

$\Pr(e)$  sono le proporzioni di accordo dovute al caso, vengono così calcolate:

$$\Pr(e) = \frac{\sum_{i=1}^k X_{i+} * X_{+i}}{X_{++}^2} \quad [3.13]$$

Dove:

- $X_{ii}$  : numero di osservazioni lungo la diagonale di matrice;
- $X_{++}$  : numero totale di osservazioni;
- $X_{i+}$  : totale marginale di riga;
- $X_{+i}$  : totale marginale di colonna.

Riassumendo:

$$K = \frac{\text{accordo osservato} - \text{accordo dovuto al caso}}{\text{accordo non dovuto al caso}}$$

K assume in genere valori compresi tra 0, in caso di assenza di concordanza, ed 1, per completa concordanza; in alcuni casi può assumere valori negativi e ciò indica totale disaccordo tra le osservazioni. Nei casi di studio la valutazione delle simulazioni con l'uso della matrice di confusione è stata realizzata in un intervallo di confidenza pari al 95%.

Il secondo indicatore statistico è il coefficiente di Sørensen (SC), un indice asimmetrico utilizzabile per verificare la concordanza esclusiva tra le aree bruciate (osservata e simulata).

Il coefficiente Sørensen viene calcolato come segue:

$$SC = \frac{2a}{2a+b+c} \quad [3.14]$$

Dove:

- a: numero di punti rientranti nell'area bruciata sia nel reale che nella simulazione;
- b: numero di punti rientranti nell'area bruciata solo nella simulazione;
- c: numero di punti rientranti nel perimetro effettivo dell'incendio ma non nella simulazione.

I valori che l'indice può assumere, variano da 0, se non vi è alcun elemento condiviso, a 1 se la somiglianza è completa.

Per quanto riguarda gli output sul possibile comportamento del fuoco, i valori ottenuti attraverso l'applicazione di FARSITE sono stati confrontati con quelli disponibili nelle schede del Servizio Forestale Regionale e con le informazioni fornite dagli operatori AIB, che sono intervenuti durante gli incendi. Allo scopo di verificare l'attendibilità dei risultati, in particolare, sono stati utilizzati: la dimensione dell'incendio, l'altezza delle fiamme, la modalità di propagazione del fuoco (incendio radente oppure di chioma).

In mancanza di altri dati, la lunghezza di fiamma prevista dalla simulazione è stata comparata all'altezza delle fiamme. Questa procedura può essere fonte di errore, a causa delle differenze intrinseche tra le due misure. La lunghezza della fiamma è la distanza misurata a partire da metà della zona di combustione attiva fino all'estremità della fiamma visibile (Bovio *et al.*, 2014). Invece l'altezza di fiamma indica la profondità verticale, misurata dalla superficie del combustibile fino all'estremità della fiamma stessa (Bovio *et al.*, 2014). In assenza di vento e in presenza di terreno pianeggiante, l'altezza di fiamma può essere considerata pari alla lunghezza; al contrario, per effetto del vento o della pendenza, la fiamma si inclina, riducendo la distanza dal suolo. In queste condizioni la differenza tra altezza e lunghezza di fiamma può arrivare fino al 50% (Cain, 1984). Perciò, ai fini di questo studio, la misura dell'altezza di fiamma viene utilizzata unicamente per esprimere l'ordine di grandezza della lunghezza di fiamma effettiva dell'incendio.

### **3.5.6 Casi di studio**

Vengono di seguito presentati gli incendi utilizzati per la simulazione del comportamento del fuoco con FARSITE (Tabella 3.8).

1) L'incendio che ha percorso l'intero versante nord-nordoccidentale del Monte Grande (comune di Rovolon, PD), si è verificato la sera di ferragosto del 2003 e ha avuto origini dolose. Secondo le informazioni fornite dal Servizio Forestale Regionale, il fuoco ha avuto inizio alle 21.00 del 15 agosto ed è stato spento intorno alle 17.00 del 16 agosto, interessando in totale una superficie di 30,68 ettari (Figura 3.20). Si è trattato di uno dei più grandi incendi avvenuti sui Colli Euganei negli ultimi vent'anni. L'avanzamento del fuoco è stato favorito da diversi fattori: la morfologia, l'elevata pendenza del versante (50%) e il basso grado di idratazione della vegetazione dovuto alla siccità estiva del 2003 (Favero, 2009). L'area bruciata risultava interamente occupata dalla tipologia forestale del castagneto dei substrati magmatici (Del Favero *et Lasen*, 1993), gestito a ceduo. Per come si sono sviluppate le fiamme e in base alle indicazioni degli operatori

antincendio, si ritiene che ci siano stati due punti di innesco localizzati lungo un sentiero forestale sopra l'abitato di Rovolon.

Per domare l'incendio si è reso necessario l'impiego di due elicotteri e di due aerei cisterna Canadair arrivati dalla Liguria. L'intervento dei Vigili del fuoco, dei volontari e dei mezzi del Servizio Forestale, considerando anche la bonifica del terreno, è durato oltre 34 ore (Biasetto, 17/08/2003).

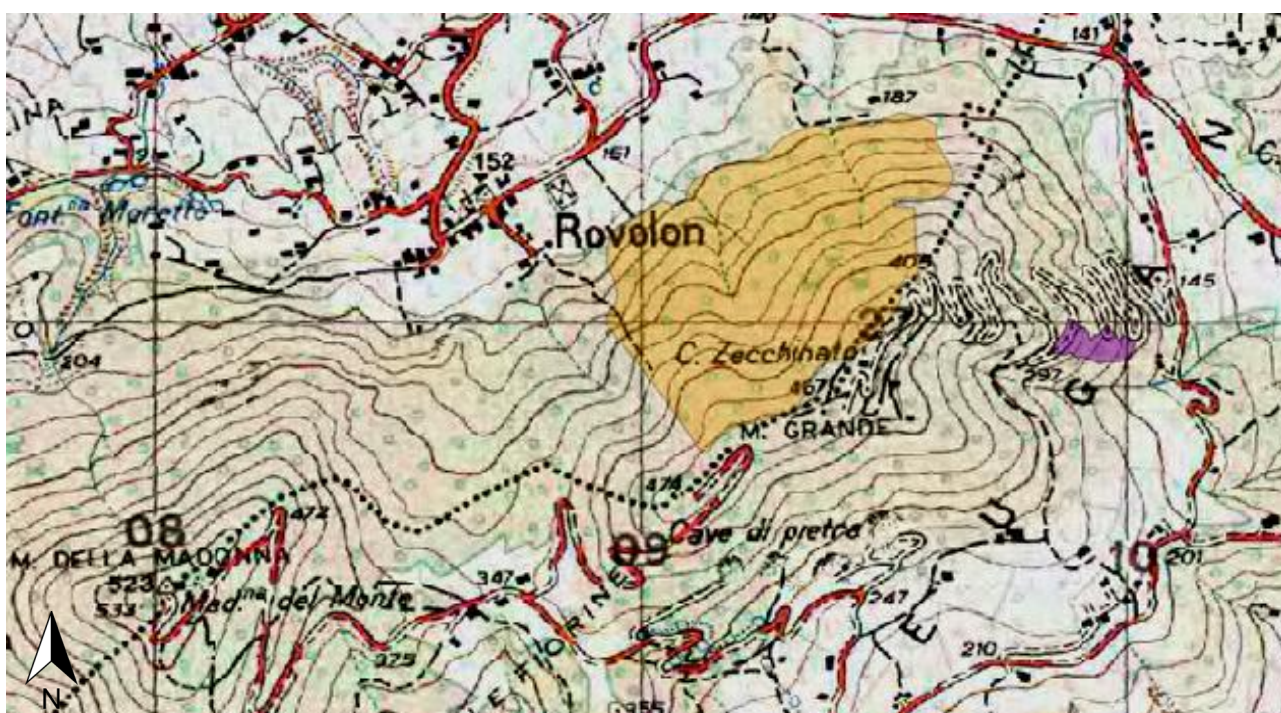
Il caso studio si contraddistingue perché l'incendio ha avuto uno sviluppo notturno, impedendo l'intervento aereo e riducendo al minimo l'azione da terra fino al mattino seguente. Questo fatto ha permesso di studiare il comportamento del fuoco in assenza di operazioni di spegnimento.

- 2) Il secondo incendio (Figura 3.19) si è verificato il 9 agosto 2003 sul versante meridionale del Monte Ventolone nel comune di Arquà Petrarca, provincia di Padova (10 km a sud dell'evento sul Monte Grande); è stata percorsa una superficie di 1,5 ettari di bosco ceduo, composto prevalentemente da castagno, rovere e robinia. L'incendio doloso è stato segnalato intorno alle 15.30 ed è stato spento alle 22.30. Il fuoco, di tipo radente, ha avuto origine da un unico focolaio localizzato al di sopra della strada asfaltata che conduce sulla cima del monte. È stato possibile controllare le fiamme grazie all'accessibilità per i mezzi di spegnimento e all'intervento di un elicottero (proveniente da Caralte, BL), il quale ha potuto disporre, per il pescaggio, del Lago della Costa situato a soli due chilometri di distanza.



**Figura 3.19** – Superficie percorsa dall'incendio del Monte Ventolone nel 2003 (Scala 1:13.000).

3) L'incendio del 10 luglio 2011 si è sviluppato a mezza costa del versante est del Monte Grande, in località Loara di Teolo (PD) e ha avuto origine dolosa. L'intervento delle squadre antincendio è avvenuto alle 11.15, a pochi minuti dalla prima segnalazione, tuttavia l'arrivo dell'elicottero, proveniente da Sospirolo (BL) è stato possibile solo alle 13.00. Sia l'assenza di vento, che la possibilità per l'elicottero di effettuare il pescaggio nel piccolo Lago di Costigliola a poca distanza dal bosco, sono stati due fattori determinanti per lo spegnimento, avvenuto alle 18.00. L'incendio ha interessato una superficie di 0,97 ettari di bosco ceduo di castagno (Figura 3.20).



**Figura 3.20** – Superfici percorse dal fuoco sul Monte Grande: in arancione l'incendio del 2003, in viola quello del 2011 (Scala 1:12.000).

Nella simulazione di ciascun incendio si è reso necessario l'impiego della classe di combustibile corrispondente al luogo in cui esso si è verificato. In seguito ad un sopralluogo, per ognuno dei tre casi selezionati è stata riscontrata la classe 6, perciò, in questa fase dello studio, la verifica dell'accuratezza della simulazione su incendi reali è stata possibile unicamente per questa classe. Per un'analisi più completa, nei dati di input della classe di combustibile 6 sono stati utilizzati sia i valori medi sia i valori mediani (quest'ultimi perché meno sensibili ai dati estremi). I risultati sono stati successivamente confrontati con quelli ottenuti dal modello di combustibile statunitense (Albini, 1976; Anderson, 1982), avente caratteristiche più simili alla classe 6, ovvero il modello 10 relativo ai boschi di latifoglie con sottobosco di cespugli. Inoltre, la disponibilità dei dati di combustibile rilevati nel punto di campionamento C61 (situato a breve distanza dall'area bruciata

nel 2003 sul Monte Grande) ha permesso di verificare, per questo incendio, le differenze di performance di simulazione derivanti dall'utilizzo di un modello o di dati reali.

## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

### 4.1 Analisi statistiche dei dati

#### 4.1.1 Parametri rilevati in campo

I carichi di biomassa combustibile calcolati, e le loro profondità, sono riportati nelle due tabelle di seguito: la Tabella 4.1 si riferisce a quanto determinato per i punti di campionamento ricadenti in castagneti, mentre la Tabella 4.2 si riferisce a quanto determinato in orno-ostrieti o ostrio-querzeti.

Variabile	Aree campionate							
	C00	C01	C04	C05	C06	C08	C10	C11
1 h (Mg/ha)	2,06	0,28	0,58	0,27	0,89	0,74	1,65	1,41
10 h (Mg/ha)	2,31	2,98	10,34	3,51	8,42	7,02	6,67	12,35
100 h sano (Mg/ha)	0,00	1,33	4,69	0,00	8,68	1,93	0,62	3,53
100 h decomposto (Mg/ha)	0,39	0,00	0,16	0,00	0,00	0,82	0,00	0,32
100 h totale (Mg/ha)	0,39	1,33	4,85	0,00	8,68	2,75	0,62	3,85
1000 h sano (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,52
1000 h decomposto (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	0,00
1000 h totale (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	20,52
Erba viva (Mg/ha)	0,24	0,06	0,00	0,44	0,01	0,02	0,00	0,30
Erba morta (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Erba totale (Mg/ha)	0,24	0,06	0,00	0,49	0,01	0,02	0,00	0,30
Lettiera (Mg/ha)	4,93	0,58	5,15	2,24	6,04	3,65	4,48	2,74
Duff (Mg/ha)	41,34	41,34	77,51	74,06	8,61	39,62	13,78	17,22
Arbusti morti (Mg/ha)	0,00	1,82	2,76	0,00	0,03	0,65	2,15	0,98
Arbusti vivi (Mg/ha)	0,77	0,53	0,56	0,89	2,68	7,43	6,19	0,85
Arbusti totali (Mg/ha)	0,77	2,35	3,32	0,89	2,71	8,08	8,34	1,83
1h + lett. + erba morta (Mg/ha)	6,99	0,86	5,73	2,56	6,93	4,40	6,13	4,15
Variabile	Aree campionate							
	C14	C16	C20	C22	C23	C24	C61	
1 h (Mg/ha)	2,26	1,39	2,22	1,17	0,97	1,26	0,86	
10 h (Mg/ha)	8,81	1,75	8,92	4,30	8,65	9,94	1,61	
100 h sano (Mg/ha)	0,00	6,77	2,95	0,00	1,02	3,73	0,00	
100 h decomposto (Mg/ha)	0,31	1,90	0,00	0,29	0,00	0,92	0,21	
100 h totale (Mg/ha)	0,31	8,67	2,95	0,29	1,02	4,65	0,21	
1000 h sano (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,91	0,00	
1000 h decomposto (Mg/ha)	0,00	40,34	0,00	4,40	8,05	0,00	0,00	
1000 h totale (Mg/ha)	0,00	40,34	0,00	4,40	8,05	3,91	0,00	
Erba viva (Mg/ha)	0,02	0,00	0,94	0,03	0,03	0,02	0,00	
Erba morta (Mg/ha)	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	
Erba totale (Mg/ha)	0,02	0,00	1,00	0,03	0,03	0,02	0,00	
Lettiera (Mg/ha)	1,67	4,76	4,83	2,87	4,01	4,24	4,30	
Duff (Mg/ha)	13,78	34,45	62,01	22,39	10,33	17,22	36,17	
Arbusti morti (Mg/ha)	0,08	0,46	0,00	11,23	0,76	0,24	0,12	
Arbusti vivi (Mg/ha)	6,34	1,45	0,40	2,52	2,00	6,40	0,73	



Arbusti totali (Mg/ha)	6,42	1,92	0,40	13,74	2,77	6,64	0,85	
1h + lett. + erba morta (Mg/ha)	3,93	6,16	7,11	4,03	4,97	5,51	5,16	

**Tabella 4.1** – Carichi di combustibile relativi ai punti di campionamento nei boschi di castagno.

Variabile	Aree campionate								
	C07	O05	O06	O07	O12	O13	O16	O17	O18
1 h (Mg/ha)	3,39	5,41	2,37	0,32	0,94	0,76	0,45	1,54	1,74
10 h (Mg/ha)	9,88	1,90	6,34	0,00	5,91	1,98	2,77	2,48	14,39
100 h sano (Mg/ha)	10,28	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,54
100 h decomposto (Mg/ha)	4,16	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	2,46
100 h totale (Mg/ha)	14,45	0,24	1,17	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	14,00
1000 h sano (Mg/ha)	5,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,42
1000 h decomposto (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42
1000 h totale (Mg/ha)	5,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,85
Erba viva (Mg/ha)	0,00	0,03	1,65	1,45	1,82	0,38	0,28	0,00	0,00
Erba morta (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00
Erba totale (Mg/ha)	0,00	0,03	1,65	1,45	1,82	0,41	0,35	0,00	0,00
Lettiera (Mg/ha)	1,14	4,66	2,24	0,81	1,40	2,57	3,89	0,85	2,73
Duff (Mg/ha)	1,72	6,89	48,23	8,61	24,11	48,23	51,67	55,12	10,33
Arbusti morti (Mg/ha)	0,65	0,06	0,04	0,31	0,00	7,23	0,20	14,71	0,49
Arbusti vivi (Mg/ha)	3,95	0,64	0,70	4,04	2,78	2,22	0,51	3,02	7,06
Arbusti totali (Mg/ha)	4,60	0,70	0,74	4,35	2,78	9,45	0,70	17,74	7,55
1h + lett. + erba morta (Mg/ha)	4,53	10,07	4,61	1,12	2,34	3,37	4,40	2,39	4,46
Variabile	Aree campionate								
	O19	O20	O22	O23	O25	O27	O42	O59	
1 h (Mg/ha)	0,71	3,70	1,52	1,29	1,35	3,59	1,34	2,12	
10 h (Mg/ha)	18,23	5,27	10,69	1,15	8,67	3,12	8,27	6,18	
100 h sano (Mg/ha)	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	1,87	0,00	0,00	
100 h decomposto (Mg/ha)	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	
100 h totale (Mg/ha)	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	5,68	0,00	0,00	
1000 h sano (Mg/ha)	0,00	3,37	0,00	0,00	0,00	2,95	0,00	0,00	
1000 h decomposto (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	12,20	1,24	0,00	0,00	
1000 h totale (Mg/ha)	0,00	3,37	0,00	0,00	12,20	4,18	0,00	0,00	
Erba viva (Mg/ha)	0,07	0,07	0,02	1,12	0,11	0,08	2,72	0,51	
Erba morta (Mg/ha)	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,03	0,48	0,15	
Erba totale (Mg/ha)	0,07	0,07	0,02	1,55	0,12	0,11	3,20	0,66	
Lettiera (Mg/ha)	1,29	1,96	2,14	1,76	4,14	2,19	1,03	6,44	
Duff (Mg/ha)	10,33	29,28	15,50	20,67	44,78	5,17	17,22	17,22	
Arbusti morti (Mg/ha)	0,03	0,51	4,82	3,41	0,75	0,03	1,80	0,06	
Arbusti vivi (Mg/ha)	2,72	2,85	4,78	11,44	2,19	3,34	1,06	5,26	
Arbusti totali (Mg/ha)	2,75	3,36	9,61	14,85	2,94	3,37	2,85	5,32	
1h + lett. + erba morta (Mg/ha)	2,00	5,65	3,66	3,48	5,50	5,81	2,85	8,71	

**Tabella 4.2** – Carichi di combustibile relativi ai punti di campionamento in orno-ostrieto o ostrio-querceto.

Nella Tabella 4.3 vengono riportate, per le due tipologie forestali oggetto di studio, le statistiche relative alla variabile del carico di combustibile con time-lag 1 h ed in particolare l'errore percentuale della media, utilizzato per determinare il numero di campionamenti. Come indica la [3.1], l'errore percentuale è inversamente proporzionale al numero di campionamenti, perciò all'aumentare di questi ultimi, si ottengono, inevitabilmente, errori percentuali della media minori. Nella Tabella 4.3 si nota come l'errore percentuale risulti al di sotto del 20% sia nei castagneti sia negli orno-ostrieti. Il numero dei campioni effettuati si può quindi considerare rappresentativo.

	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>D.S.</b>	<b>CV</b>	<b>Mediana</b>	<b>Errore %</b>
<b>Castagneto</b>	15	1,20	0,64	53,43	1,17	13,80
<b>Orno-ostrieto</b>	17	1,91	1,38	72,08	1,52	17,48

**Tabella 4.3** – Statistiche relative alla variabile del combustibile 1 h: N = numero di campioni; Media = media aritmetica; D.S. = deviazione standard; CV = coefficiente di variazione; Mediana; Errore %.

Per quanto riguarda lo spessore del letto combustibile, nelle Tabelle 4.4 e 4.5 vengono riportati i valori calcolati per ogni sito di campionamento, nelle tipologie forestali dei castagneti e degli orno-ostrieti e ostrio-quercei. L'altezza del fuel bed è stata determinata come media aritmetica tra gli stati di combustibile principali, secondo quanto riportato nel sottocapitolo 3.2.5.

	<b>Aree campionate</b>							
	<b>C00</b>	<b>C01</b>	<b>C04</b>	<b>C05</b>	<b>C06</b>	<b>C08</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>
<i>Strato combustibile principale</i>	L	AE	L	LE	AL	AL	AL	L
<i>Fuel bed (m)</i>	0,06	0,26	0,08	0,19	0,86	0,39	0,34	0,06
	<b>Aree campionate</b>							
	<b>C14</b>	<b>C16</b>	<b>C20</b>	<b>C22</b>	<b>C23</b>	<b>C24</b>	<b>C61</b>	
<i>Strato combustibile principale</i>	AL	AL	LE	AL	L	AL	AL	
<i>Fuel bed (m)</i>	0,47	0,67	0,18	0,5	0,02	0,39	0,32	

	<b>Aree campionate</b>								
	<b>C07</b>	<b>O05</b>	<b>O06</b>	<b>O07</b>	<b>O12</b>	<b>O13</b>	<b>O16</b>	<b>O17</b>	<b>O18</b>
<i>Strato combustibile principale</i>	A	AL	LE	AE	AE	AE	AE	AL	A
<i>Fuel bed (m)</i>	0,71	0,25	0,19	0,61	0,62	0,46	0,32	0,6	0,33
	<b>Aree campionate</b>								
	<b>O19</b>	<b>O20</b>	<b>O22</b>	<b>O23</b>	<b>O25</b>	<b>O27</b>	<b>O42</b>	<b>O59</b>	
<i>Strato combustibile principale</i>	AL	AL	AL	AE	AL	AL	AE	AE	
<i>Fuel bed (m)</i>	0,45	0,52	0,52	0,41	0,46	0,37	0,47	0,61	

**Tabelle 4.4 e 4.5** – Spessori del fuel bed determinati per ogni area campionata, rispettivamente nelle tipologie forestali dei castagneti e degli orno-ostrieti e ostrio-querzeti. Lo strato combustibile principale è stato così definito: lettiera (L), lettiera ed erba (LE), arbusti (A), arbusti e lettiera (AL), arbusti ed erba (AE).

#### 4.1.2 Statistiche descrittive

Vengono riportate in Tabella 4.6 le statistiche di base per quanto riguarda le variabili rilevate in tutte le particelle. Per ogni variabile è stata calcolata la media aritmetica, la deviazione standard, l'errore standard, il coefficiente di variazione e la mediana.

Variabile	N	Media	D.S.	E.S.	CV	Min	Max	Mediana
1 h	32	1,58	1,14	0,20	72,13	0,27	5,41	1,35
10 h	32	6,40	4,26	0,75	66,59	0,00	18,23	6,26
100 h sano	32	1,90	3,18	0,56	167,59	0,00	11,54	0,00
100 h decomposto	32	0,54	1,07	0,19	197,10	0,00	4,16	0,00
100 h totale	32	2,44	3,94	0,70	161,36	0,00	14,45	0,35
1000 h sano	32	1,33	3,90	0,69	292,48	0,00	20,52	0,00
1000 h decomposto	32	2,24	7,44	1,32	332,11	0,00	40,34	0,00
1000 h totale	32	3,57	8,13	1,44	227,46	0,00	40,34	0,00
Erba viva	32	0,39	0,67	0,12	171,48	0,00	2,72	0,06
Erba morta	32	0,04	0,11	0,02	280,42	0,00	0,48	0,00
Erba totale	32	0,43	0,74	0,13	173,28	0,00	3,2	0,06
Lettiera	32	3,05	1,64	0,29	53,55	0,58	6,44	2,73
Duff	32	33,50	23,89	4,22	71,31	2,00	89,83	24,95
Arbusti totali	32	4,83	4,40	0,78	91,03	0,40	17,74	3,13
Arbusti morti	32	1,76	3,37	0,60	191,47	0,00	14,71	0,48
Arbusti vivi	32	3,07	2,63	0,46	85,61	0,40	11,44	2,60
1h + lettiera + erba morta	32	4,67	2,04	0,36	43,74	0,86	10,07	4,49
Fuel bed	32	0,41	0,21	0,04	51,25	0,02	0,86	0,43

**Tabella 4.6** – Statistiche relative alle variabili di tutte le particelle: N= numero di campioni; Media = media aritmetica; D.S.= deviazione standard; E.S.= errore standard; CV= coefficiente di variazione; Min= minimo; Max= massimo; Mediana.



### 4.1.3 Analisi della distribuzione dei dati

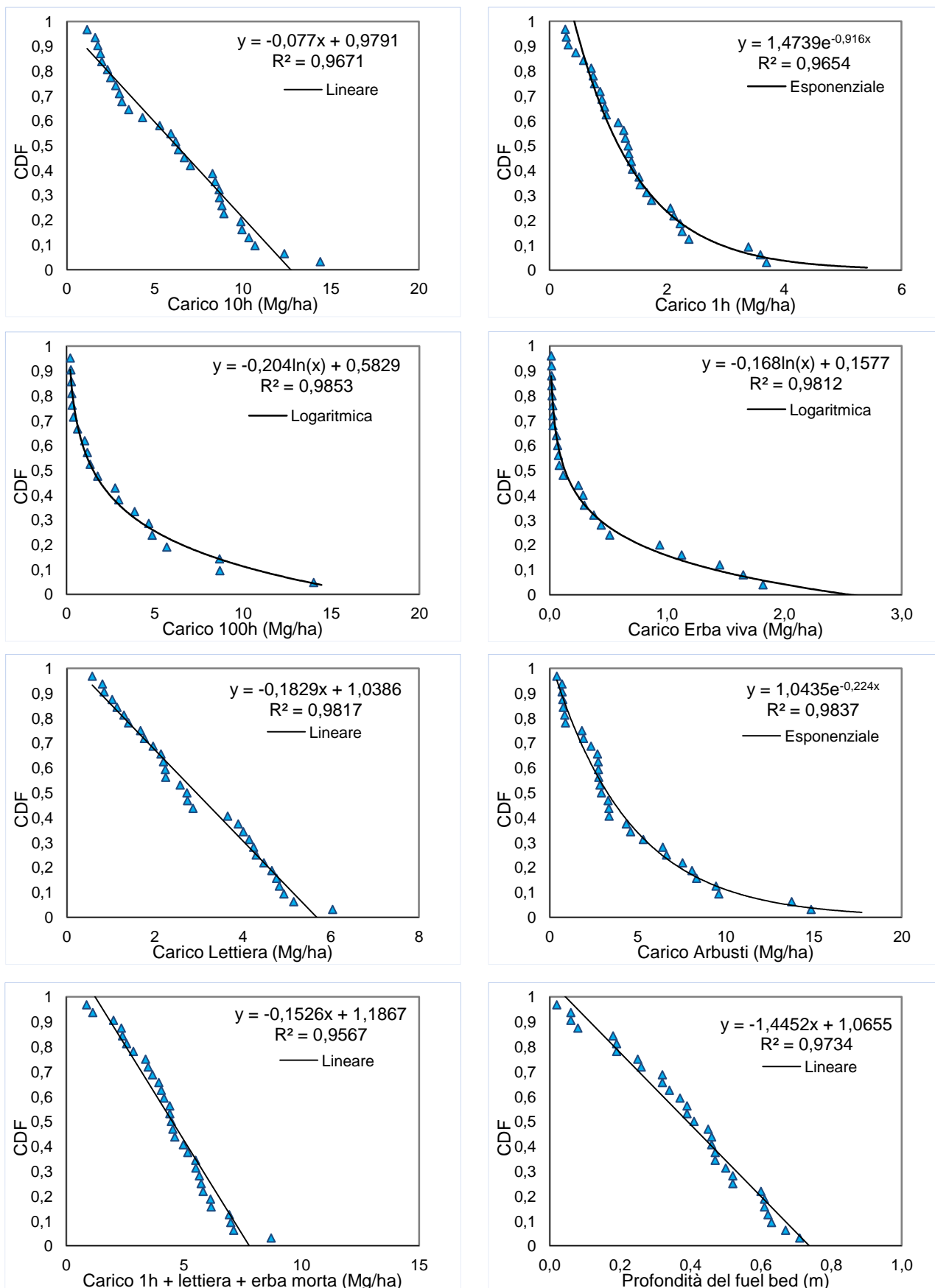
In Tabella 4.7 sono riportati i valori W e di  $p$  del test Shapiro-Wilk, ottenuti tramite elaborazioni dei dati con il software *InfoStat*. Vengono verificate le distribuzioni delle frequenze per le variabili utili alla costruzione delle classi di combustibile, di conseguenza il duff e il carico 1000 h non sono stati presi in considerazione. Per valori di  $p > 0,05$  la distribuzione può essere considerata normale.

Variabile	n	Media	Mediana	W	p
1 h (Mg/ha)	32	1,58	1,35	0,86	<0,0001*
10 h (Mg/ha)	32	6,40	6,26	0,93	0,1724
100 h (Mg/ha)	32	2,44	0,35	0,67	<0,0001*
Erba viva (Mg/ha)	32	0,39	0,06	0,65	<0,0001*
Lettiera (Mg/ha)	32	3,05	1,64	0,92	0,0869
Arbusti (Mg/ha)	32	4,83	3,13	0,83	<0,0001*
1h + lettiera + erba morta (Mg/ha)	32	4,67	4,49	0,97	0,8770
Fuel bed (m)	32	0,41	0,43	0,96	0,5834

**Tabella 4.7** – Risultati del test di Shapiro-Wilk per le distribuzioni delle frequenze dei dati di combustibile raccolti.  $N$ = numero di campioni;  $W$ = statistica di Shapiro-Wilk;  $p$ = livello di probabilità; \* indica che si rifiuta l'ipotesi nulla che i valori campionari siano distribuiti come una variabile casuale normale.

Inoltre, la distribuzione dei dati per ogni variabile del combustibile è stata verificata mediante la funzione di densità di probabilità cumulata, riportata graficamente in Figura 4.1: i grafici presentano in ordinata le frequenze di superamento (CDF) e in ascissa i relativi valori delle variabili di combustibile posti in ordine crescente. La zona del grafico più prossima alla probabilità uno corrisponde ai valori più piccoli; al contrario quelli più grandi vengono superati poche volte ed hanno quindi una bassa frequenza di superamento e di conseguenza una elevata frequenza di non superamento.

Per ogni variabile analizzata, è stata tracciata la curva di regressione che meglio approssima la distribuzione dei dati. Infine, la bontà di adattamento della regressione lineare ai dati osservati è stata valutata con il coefficiente di determinazione  $R^2$ .



**Figura 4.1** – Curve di regressione che descrivono la densità di probabilità cumulata per le principali variabili del combustibile.

Secondo i risultati del test W di Shapiro-Wilk e le curve di densità di probabilità (Tabella 4.7 e Figura 4.1), quattro variabili su otto mostrano una distribuzione normale delle frequenze, a cui corrisponde un andamento lineare della curva di densità di probabilità cumulata; ciò si rileva infatti per i carichi di combustibile 10 h, per la lettiera, per i combustibili fini (somma di 1 h, lettiera ed erba morta) e per la profondità del fuel bed. Per quanto riguarda le componenti 1 h, 100 h, erba viva e arbusti, le distribuzioni delle frequenze si discostano da quella normale. In particolare, l'andamento della curva di regressione risulta esponenziale per i carichi di combustibile 1 h e per gli arbusti, mentre risulta logaritmica per i carichi 100 h ed erba viva.

Inoltre, per le variabili a distribuzione non normale, si osserva che la mediana può essere anche molto inferiore alla media (carichi di erba viva e 100 h): questo significa che è stato rilevato un maggior numero di campioni con valori piccoli rispetto a quelli grandi. A conferma di questi risultati, diversi studi sulle quantità di biomassa (Parresol *et al.*, 2012; Smith *et Brand*, 1983; Tritton *et Hornbeck*, 1982) e di necromassa (Van Wagner, 1982) presenti in foresta, assumono modelli di regressione non lineari per descriverne la distribuzione.

Considerata la non normalità delle distribuzioni dei dati, nei seguenti paragrafi si farà riferimento a test statistici non parametrici che sono indipendenti dalla forma di distribuzione.

#### 4.1.4 Statistiche in base alla tipologia forestale e alla gestione selvicolturale

Per verificare se i dati delle quantità di combustibile individuabili dalle due tipologie forestali in esame siano statisticamente indipendenti o se, al contrario, appartengono alla stessa popolazione, è stato eseguito il test di Wilcoxon per campioni indipendenti (anche noto come test U di Mann-Whitney). Il test è stato applicato alle variabili del combustibile necessarie a costruire il *custom fuel model* in FARSITE (Tabella 4.8).

Variabile	Gruppo 1	Gruppo 2	N 1	N 2	Media 1	Media 2	M 1	M 2	W	p (2 code)
1 h (Mg/ha)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	1,20	1,91	1,17	1,52	209	0,1460
10 h (Mg/ha)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	6,50	6,31	7,03	5,91	263	0,5583
100 h (Mg/ha)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	2,70	2,21	1,33	0,00	308	0,0197*
Erba viva (Mg/ha)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	0,14	0,61	0,02	0,11	192	0,0358*
Arbusti (Mg/ha)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	4,07	5,51	2,71	3,37	217	0,2494
1h+Lett+Erba morta (Mg/ha)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	4,97	4,41	5,16	4,40	282	0,1926
Fuel bed (m)	castagneto	orno-ostrieto	15	17	0,32	0,46	0,32	0,46	191,5	0,0343*

**Tabella 4.8** – Confronto tra le variabili principali del combustibile delle due tipologie forestali in esame. N= numero di campioni; Media = media aritmetica; M = mediana; W= test di Wilcoxon; p= livello di probabilità; \* indica differenze significative tra le popolazioni (livello 5%).

Secondo i risultati del test di Wilcoxon, le due popolazioni differiscono (almeno per un livello di probabilità 0,05) solo per quel che riguarda i carichi di combustibile 100 h, l'erba viva e il fuel bed. Per tutte le altre variabili, la tipologia forestale non ha un'influenza significativa sulla quantità di combustibile disponibile. In particolare non si rilevano differenze significative relativamente al materiale fine (1h+lettiera+erba morta), ossia la componente che più influenza il comportamento del fuoco. Perciò, è possibile considerare i campioni appartenenti alle due tipologie forestali in esame, come un'unica popolazione.

Un'ulteriore analisi è stata condotta allo scopo di valutare l'influenza dell'attività selvicolturale sulla distribuzione e sulla quantità del combustibile; i campioni sono stati perciò suddivisi in relazione alla forma di governo del bosco. Nelle 32 aree di campionamento sono state riscontrate tre tipologie principali di gestione, così ripartite: 15 boschi cedui con matricine, 11 boschi in conversione a fustaia e 6 boschi di neoformazione. Ad ogni variabile del combustibile è stato applicato il test ANOVA di Kruskal-Wallis (metodo non parametrico per più campioni) per verificare l'esistenza di differenze al variare della forma di governo; i risultati sono riportati in Tabella 4.9. Esistono differenze significative per un livello di probabilità 0,05.

Variabile		Tipo di gestione			Test di Kruskal - Wallis	
		Ceduo	Conversione	Neoformazione	H	p
1 h (Mg/ha)	media	2,19	1,13	0,89	8,58	0,0137*
	mediana	1,74	0,97	0,85		
10 h (Mg/ha)	media	6,83	6,04	5,99	1,23	0,5398
	mediana	6,34	6,67	3,94		
100 h (Mg/ha)	media	3,92	1,76	0,00	9,72	0,0063**
	mediana	1,76	0,62	0,00		
Erba viva (Mg/ha)	media	0,16	0,46	0,83	8,02	0,0178*
	mediana	0,02	0,24	0,75		
Arbusti (Mg/ha)	media	6,21	2,22	6,19	8,97	0,0113*
	mediana	5,32	1,83	3,64		
1h + lettiera + erba morta (Mg/ha)	media	5,31	4,74	2,97	6,46	0,0395*
	mediana	4,61	4,97	2,85		
Fuel bed (m)	media	0,44	0,28	0,50	7,57	0,0226*
	mediana	0,47	0,26	0,46		

**Tabella 4.9** – Confronto tra le variabili principali del combustibile in base alla suddivisione per tipo di gestione forestale. H= test di Kruskal-Wallis; p= livello di probabilità; \* indica differenze significative tra i gruppi (livello 5%); \*\* indica differenze molto significative tra i gruppi (livello 1%).

Il test di Kruskal-Wallis indica che il tipo di gestione influisce direttamente sulla disponibilità di carico di combustibile nei boschi analizzati: le differenze tra i gruppi appaiono infatti significative per tutte le variabili ( $p < 0.05$ ) tranne che per il carico di combustibile 10 h. Nei cedui con matricine si rilevano maggiori quantità di combustibile 1 h, 10 h, 100 h e arbusti, mentre vi è la minore biomassa di erba viva. Nei boschi in conversione a fustaia risulta, in particolare, un valore di carico arbustivo molto basso, probabilmente dovuto alla elevata copertura data dalle piante adulte. Infine, nei boschi di neoformazione si rileva un minor carico di combustibili fini e l'assenza di combustibili 100 h dovuta alla mancanza di alberi morti e di piante di grandi dimensioni; si evidenzia inoltre una maggior quantità di erba viva. Queste formazioni sono infatti ex coltivi o prati (Del Favero, 2001) che si stanno rimboschendo lentamente e in modo spontaneo; il soprassuolo arboreo, giovane e poco denso, offre una scarsa copertura, che permette così la sopravvivenza di un fitto strato erboso.

#### 4.1.5 Statistiche in base alla classificazione Prometheus

Nel presente studio si è deciso di applicare il sistema di classificazione Prometheus (Prometheus S.V. Project, 1999), per le tipologie di combustibili forestali presenti nei Colli Euganei. Tale tassonomia si basa principalmente sulla copertura arborea ed arbustiva e sull'altezza del letto combustibile, nell'ambito di ciascuno degli strati erbaceo, arbustivo e arboreo. Secondo questo criterio, nelle aree di campionamento sono state individuate 4 classi di combustibile (Allegato B):

- Classe 3: cespugli di media altezza ed erba;
- Classe 5: boschi con suolo coperto da combustibili bassi e fini (lettiera);
- Classe 6: boschi con suolo coperto da combustibili di medie dimensioni (arbusti bassi);
- Classe 7: boschi con suolo coperto da combustibili di grandi dimensioni (arbusti alti).

In Tabella 4.10 vengono riportati i valori medi delle diverse variabili rilevate in campo per ciascuna delle quattro classi Prometheus.

<b>Variabile</b>	<b>Classe 3</b>	<b>Classe 5</b>	<b>Classe 6</b>	<b>Classe 7</b>
Numero di aree	5	6	15	6
1 h (Mg/ha)	1,20	1,60	1,88	1,13
10 h (Mg/ha)	4,30	8,15	5,60	8,41
100 h sano (Mg/ha)	0,00	2,23	2,58	1,45
100 h decomposto (Mg/ha)	0,00	0,14	1,10	0,00
100 h totale (Mg/ha)	0,00	2,37	3,68	1,45
1000 h totale (Mg/ha)	0,00	4,76	4,91	2,03
Erba viva (Mg/ha)	1,53	0,53	0,07	0,10
Erba morta (Mg/ha)	0,21	0,01	0,01	0,01
Erba totale (Mg/ha)	1,74	0,54	0,08	0,10
Lettiera (Mg/ha)	2,29	3,98	3,02	2,84

Duff (Mg/ha)	20,36	49,58	30,74	35,27
Arbusti morti (Mg/ha)	1,12	0,76	1,25	4,60
Arbusti vivi (Mg/ha)	4,92	0,88	3,39	2,94
Arbusti totali (Mg/ha)	6,03	1,64	4,63	7,53
1h + lett. + erba morta (Mg/ha)	3,70	5,60	4,91	3,97
Fuel bed (m)	0,54	0,10	0,42	0,56
Altezza media arbusti (m)	0,79	0,13	0,28	0,76
Altezza media alberi (m)	5,20	10,95	11,60	8,24
Alberi morti %	8,00	22,50	10,73	13,83
Copertura alberi %	34,08	59,07	72,47	74,67
Copertura arbusti %	66,00	23,33	60,67	70,00
Copertura erba %	73,00	28,33	20,13	22,17

**Tabella 4.10** – Variabili medie relative alle quattro classi di combustibile individuate nelle aree di campionamento.

La classe 3 presenta la minor biomassa di combustibili morti al suolo dovuta alla scarsa copertura arborea ed all'assenza di alberi morti, dispone però di alti carichi di arbusti e soprattutto di erba.

La classe 5 è caratterizzata principalmente da elevate quantità di lettiera e scarsa presenza di arbusti; il fuel bed risulta essere molto basso dato che viene determinato principalmente dalla lettiera; si notano anche alti carichi di combustibili 10 h e 100 h derivanti dal soprassuolo arboreo.

La classe 6 è risultata la categoria di combustibili più frequente. In essa, la quantità di biomassa al suolo, rispetto alle altre classi, è maggiore per quel che riguarda i combustibili 1 h, 100 h e 1000 h ed anche la quantità di arbusti ha valori abbastanza alti. Si riscontra invece, il carico più basso di combustibili erbacei a causa dell'elevata copertura arborea e arbustiva.

La classe 7 si contraddistingue per la maggiore altezza del fuel bed e una discreta quantità di arbusti e di combustibili morti al suolo; infine l'elevata copertura determina una ridotta presenza di erba. Si è proceduto, anche in questo caso, all'analisi statistica della diversità tra le quattro classi di combustibili, attraverso l'applicazione del test ANOVA di Kruskal-Wallis e al confronto a coppie delle classi mediante il test di Wilcoxon; nelle Tabelle 4.11 e 4.12 si riportano i risultati.

Variabile	Classe	N	Media	D.S.	Mediana	H	p
1 h (Mg/ha)	3	5	1,2	0,66	1,29	1,49	0,6851
	5	6	1,6	0,73	1,74		
	6	15	1,88	1,51	1,39		
	7	6	1,13	0,39	1,12		
10 h (Mg/ha)	3	5	4,3	3,55	5,91	4,66	0,1986
	5	6	8,15	3,48	8,78		
	6	15	5,6	3,78	4,3		
	7	6	8,41	5,97	8,54		
100 h (Mg/ha)	3	5	0	0	0	13,8	0,0024**
	5	6	2,37	1,78	2,06		

	6	15	3,68	4,95	1,33		
	7	6	1,45	3,55	0		
<i>Erba viva (Mg/ha)</i>	3	5	1,53	0,82	1,45	13,51	0,0036**
	5	6	0,53	0,65	0,27		
	6	15	0,07	0,12	0,02		
	7	6	0,1	0,14	0,05		
<i>Arbusti (Mg/ha)</i>	3	5	6,03	5,04	4,35	7,39	0,0605
	5	6	1,64	1,2	1,3		
	6	15	4,63	3,77	3,37		
	7	6	7,53	5,99	6,19		
<i>1h + lettiera + erba morta (Mg/ha)</i>	3	5	3,7	2,93	2,85	5,55	0,135
	5	6	5,6	1,24	5,35		
	6	15	4,91	2	4,53		
	7	6	3,97	1,89	3,51		
<i>Fuel bed (m)</i>	3	5	0,54	0,1	0,61	18,13	0,0004***
	5	6	0,1	0,07	0,07		
	6	15	0,4	0,15	0,37		
	7	6	0,56	0,16	0,49		

**Tabella 4.11** – Confronto tra le variabili principali del combustibile in base alla suddivisione Prometheus. N= numero di campioni; Media = media aritmetica; D.S.= deviazione standard; Mediana; H= test di Kruskal-Wallis; p= livello di probabilità; \*\* indica differenze molto significative tra i gruppi (livello 1%);\*\*\* indica differenze altamente significative (livello 0,1%).

	<i>1 h (Mg/ha)</i>		<i>10 h (Mg/ha)</i>		<i>100 h (Mg/ha)</i>		<i>Erba viva (Mg/ha)</i>		<i>Arbusti (Mg/ha)</i>		<i>1h+Lett+Erba morta (Mg/ha)</i>		<i>Fuel bed (m)</i>	
	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p
<i>classi 3 e 5</i>	24	0,329	19	0,0519	15	0,0043**	41	0,0519	43	0,0173*	21	0,1255	45	0,0043**
<i>classi 3 e 6</i>	46	0,5705	44	0,4581	17,5	0,0020**	90	0,001*	59	0,5705	35	0,1266	75	0,0544
<i>classi 3 e 7</i>	30	>0,9999	21	0,1255	45	0,0043**	37	0,1991	30	>0,9999	27	0,6623	33	0,6061
<i>classi 5 e 6</i>	68	0,8763	84	0,1611	72	0,6404	88	0,0931	41	0,0516	80	0,2758	22	0,0005***
<i>classi 5 e 7</i>	46	0,3095	40	0,9372	51	0,0584	47	0,2554	26	0,0411*	50	0,0931	21	0,0022**
<i>classi 6 e 7</i>	56	0,4363	78	0,3502	36,5	0,0202*	73	0,6117	82	0,2129	50	0,2129	92	0,0468*

**Tabella 4.12** – Applicazione del test di Wilcoxon alle classi Prometheus individuate, per ognuna delle variabili principali del combustibile. W= test di Wilcoxon; p = livello di probabilità; \* indica differenze significative tra le coppie di campioni a confronto (livello 5%) \*\* indica differenze molto significative (livello 1%); \*\*\* indica differenze altamente significative (livello 0,1%).

Secondo i metodi applicati non si rilevano differenze significative tra le quattro classi di combustibile per i parametri 1 h, 10 h, la somma dei combustibili fini e gli arbusti. Invece i risultati sono apparsi molto significativi per gli altri parametri; in particolare il test di Kruskal-Wallis risulta altamente significativo ( $p < 0,001$ ) per quel che riguarda il fuel bed, ossia rispetto al criterio principale di classificazione. Le classi risultano quindi abbastanza ben distinte tra loro per la maggior parte delle variabili.

Esse vengono utilizzate principalmente per l'utilizzo nei modelli di propagazione del fuoco, quindi, l'indipendenza delle quattro classi di combustibile verrà verificata in seguito, analizzando le differenze di comportamento del fronte di fiamma simulato attraverso il software FARSITE.

## 4.2 Analisi delle relazioni tra le variabili di soprassuolo e di combustibile

Allo scopo di verificare quali variabili ambientali abbiano condizionato maggiormente la disponibilità di combustibile nei boschi dei Colli Euganei, sono state compiute delle analisi di correlazione e di regressione. Grazie ai dati raccolti nelle aree di campionamento, sono state esaminate le relazioni esistenti tra i singoli componenti del combustibile forestale e i più importanti parametri che caratterizzano il soprassuolo, quali: copertura, diametro, altezza, area basimetrica. A questi è stato aggiunto il volume, calcolato come prodotto tra altezza media e area basimetrica e la percentuale di alberi morti.

Per l'analisi di correlazione è stato utilizzato il test non parametrico di Spearman. In Tabella 4.13 si riportano i valori dei coefficienti di Spearman risultanti dal confronto tra le variabili del combustibile e i parametri del soprassuolo; la correlazione è valutata significativa al livello 0,05.

Variabili	Altezza media	Diametro medio	Area basimetrica	Volume	Alberi morti %	Copertura alberi %	Copertura arbusti %	Copertura erba %
<b>Carico 1 h</b>	0,05	0,06	0,02	0,15	0,08	0,03	0,32	-0,47**
<b>Carico 10 h</b>	0,01	0,01	0,45*	0,21	0,31	0,08	0,00	-0,23
<b>Carico 100 h</b>	0,54**	0,63***	0,81***	0,71***	0,49**	0,05	-0,18	-0,55**
<b>Carico 1000 h</b>	0,31	0,31	0,34	0,30	0,32	0,35	0,11	-0,48**
<b>Carico erba viva</b>	-0,30	-0,21	-0,66**	-0,49**	-0,33	-0,37	-0,13	0,71***
<b>Carico erba morta</b>	-0,20	-0,07	-0,52*	-0,45*	-0,15	-0,12	0,02	0,45**
<b>Carico erba totale</b>	-0,30	-0,21	-0,67**	-0,50*	-0,34	-0,37	-0,13	0,71***
<b>Carico duff</b>	0,26	0,19	-0,01	0,20	-0,17	0,16	-0,46**	0,33
<b>Carico lettiera</b>	0,27	0,60***	0,42	0,35	0,43*	0,00	-0,39	-0,29
<b>Carico 1h +lett+ erba m</b>	0,32	0,58***	0,36	0,37	0,45**	-0,02	-0,14	-0,51**
<b>Carico arbusti vivi</b>	-0,29	-0,40*	-0,09	-0,18	-0,05	0,16	0,60***	-0,14
<b>Profondità fuel bed</b>	-0,33	-0,30	-0,33	-0,45*	-0,04	-0,01	0,62***	0,06



**Tabella 4.13** – Coefficienti di correlazione di Spearman tra le diverse componenti del combustibile e i parametri del soprassuolo.\* indica correlazione significativa (livello 5%) \*\* indica correlazione molto significativa (livello 1%); \*\*\* indica correlazione altamente significativa (livello 0,1%).

Inoltre per le correlazioni che sono risultate statisticamente significative (valori evidenziati in Tabella 4.13), è stata effettuata l'analisi di regressione, considerando i parametri del soprassuolo come variabili indipendenti, e i singoli carichi di combustibile come variabili dipendenti.

Nella tabella seguente (Tab. 4.14) si riporta per ogni variabile in esame, l'equazione di regressione che meglio descrive le distribuzioni dei punti e il corrispondente coefficiente di determinazione  $R^2$ .

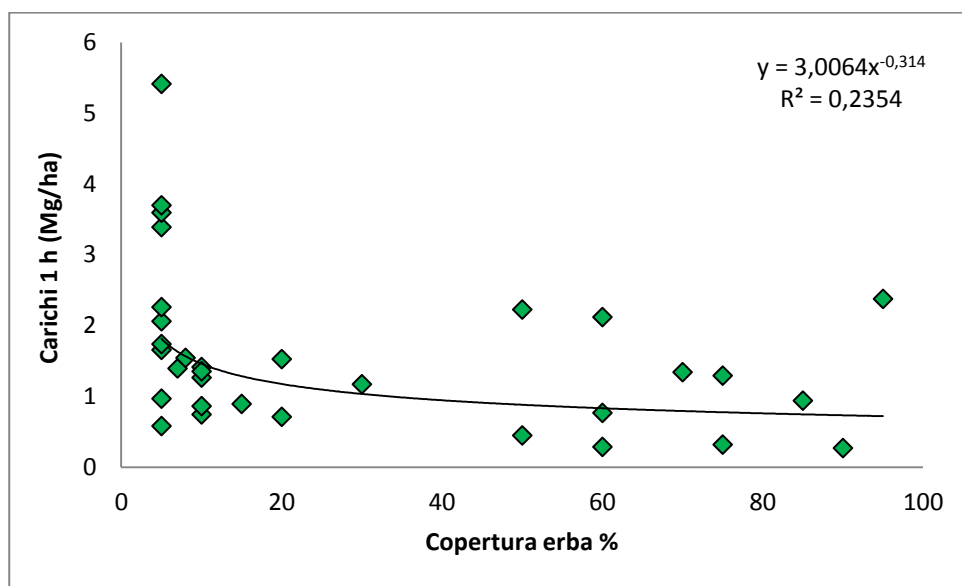
Componenti del combustibile	Variabili del soprassuolo	Equazione di regressione	$R^2$
1 h	Copertura erbacea	$y = 3,0064x^{-0,314}$	0,2354
10 h	Area basimetrica	$y = 1,9914\ln(x) + 1,0916$	0,2109
100 h	Altezza media	$y = 0,651x^{0,4022}$	0,0047
	Diametro medio	$y = 3,0716x^{0,2891}$	0,0114
	Area basimetrica	$y = 0,0008x^{2,2371}$	0,2004
	Volume	$y = 0,088x^{0,504}$	0,0186
	Alberi morti	$y = 0,1416x^{1,0199}$	0,3732
	Copertura erbacea	$y = -1,249\ln(x) + 6,6846$	0,0804
1000 h	Copertura erbacea	$y = 9,2577e^{-0,016x}$	0,0229
Erba viva	Area basimetrica	$y = 2,5947e^{-0,117x}$	0,623
	Volume	$y = -0,504\ln(x) + 3,1583$	0,5274
	Copertura erbacea	$y = 0,0297e^{0,0432x}$	0,6256
Erba morta	Area basimetrica	$y = -0,2\ln(x) + 0,6774$	0,634
	Volume	$y = -0,138\ln(x) + 0,7878$	0,6656
	Copertura erbacea	$y = 2E-10e^{0,201x}$	0,3894
Erba totale	Area basimetrica	$y = -0,554\ln(x) + 2,0907$	0,5724
	Volume	$y = -0,41\ln(x) + 2,5685$	0,55
	Copertura erbacea	$y = 0,3623\ln(x) - 0,6614$	0,514
Arbusti vivi	Diametro medio	$y = 4,3433e^{-6,708x}$	0,2375
	copertura arbustiva	$y = 0,5526e^{0,0236x}$	0,3594
Duff	Copertura arbustiva	$y = 63,263e^{-0,017x}$	0,2144
Lettiera	Diametro medio	$y = 12,481x^{0,6641}$	0,3632
	Alberi morti	$y = 0,9572\ln(x) + 1,0557$	0,2273
1h + lettiera + erba morta	Diametro medio	$y = 12,933x^{0,4759}$	0,2699
	Alberi morti	$y = 0,9789\ln(x) + 2,3439$	0,1955
	Copertura erbacea	$y = 8,0171x^{-0,232}$	0,2432
Fuel bed	Copertura arbustiva	$y = 0,0039x^{1,1207}$	0,6411
	Alberi morti	$y = -0,104\ln(x) + 0,8948$	0,2997

**Tabella 4.14** – Analisi di regressione tra le componenti del combustibile e le variabili del soprassuolo: migliore equazione predittiva e coefficiente di determinazione corrispondente ( $R^2$ ).

Il test di Spearman mostra che le variabili del soprassuolo maggiormente correlate con i carichi di combustibile disponibili sono risultate: l'area basimetrica, il volume e la copertura erbacea; mentre si sono riscontrate scarse relazioni soprattutto con la copertura arborea e l'altezza media. Si può notare che la biomassa di materiale legnoso morto al suolo sia correlata positivamente con l'area basimetrica e il volume ed invece negativamente con la copertura erbacea.

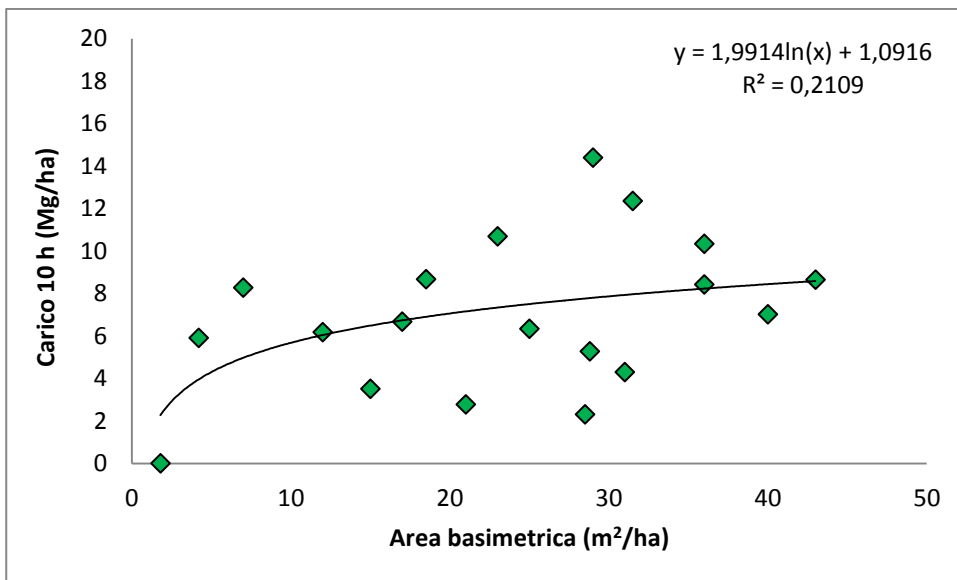
Tutte le curve di regressione riscontrate seguono funzioni non lineari, in particolare funzioni logaritmiche e potenza, anche se si rilevano bassi valori dei coefficienti di determinazione  $R^2$  (Tabella 4.14). Simili risultati sono stati ottenuti anche da uno studio condotto nel sud-est degli Stati Uniti (Parresol *et al.*, 2012).

Tra le componenti del combustibile, il materiale morto di piccole dimensioni (time-lag 1 h) influenza notevolmente l'infiammabilità e lo sviluppo del fuoco. La sua localizzazione al suolo dipende in genere dalla copertura arborea sovrastante, con maggiori concentrazioni nelle aree di insidenza delle chiome (Cesti, 2005). In questo studio questa relazione non appare evidente, ciononostante, risulta che il carico 1 h sia correlato negativamente ( $\rho = -0,47$ ,  $p = 0,0063$ ) con la copertura erbacea poiché, in foresta, una diretta conseguenza del grado di chiusura della copertura arborea è la limitazione dello sviluppo dello strato erbaceo (Bovio *et Ascoli*, 2013). Tuttavia, la curva di regressione non dimostra una relazione chiara tra queste due variabili (Figura 4.2). Il modello di regressione utilizzato spiega soltanto il 24% della variabilità complessiva del carico di combustibile ( $R^2 = 0,2354$ ).



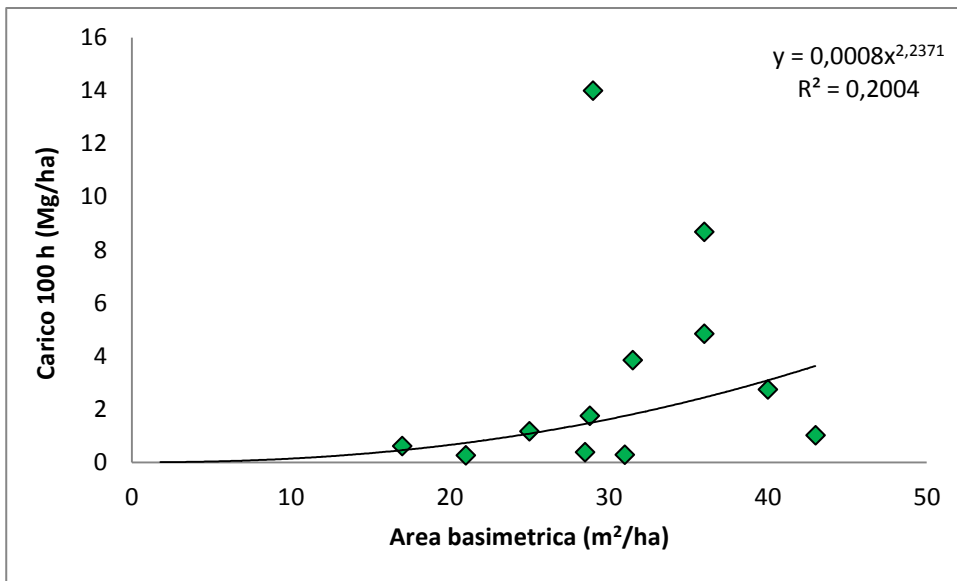
**Figura 4.2** – Carichi di combustibile 1 h in funzione della copertura erbacea (%).

Per quanto riguarda il materiale con time-lag 10 h, si riscontra una correlazione significativa unicamente con l'area basimetrica ( $\rho = 0,45$ ,  $p = 0,05$ ). In Figura 4.3 viene mostrata la curva di regressione, per la quale, anche in questo caso, il coefficiente di determinazione  $R^2$  risulta basso ( $R^2 = 0,2109$ ).

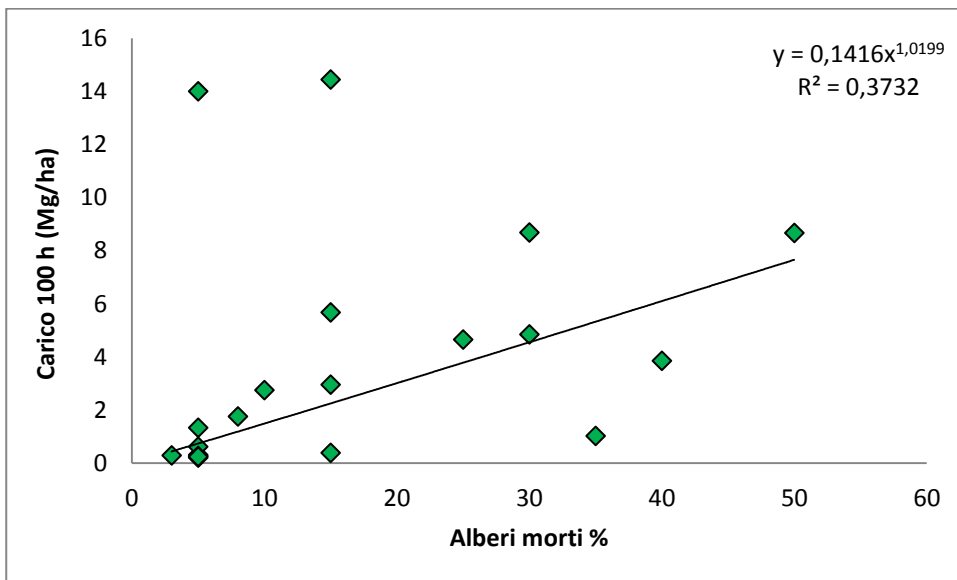


**Figura 4.3** – Carichi di combustibile 10 h in funzione dell'area basimetrica (m²/ha).

Per i carichi di combustibile 100 h sono state trovate correlazioni con la maggior parte delle variabili del soprassuolo: altezza e diametro medio, area basimetrica, volume percentuale di alberi morti e di copertura erbacea. In particolare, i coefficienti di Spearman risultano altamente significativi per il diametro medio ( $\rho = 0,63$ ,  $p = 0,0001$ ), l'area basimetrica ( $\rho = 0,81$ ,  $p = 0,00003$ ) e il volume ( $\rho = 0,71$ ,  $p = 0,00059$ ). I combustibili di questa classe comprendono rami caduti a terra con diametro compreso tra 2,5 e 7,5 cm, che tendono infatti ad essere maggiormente disponibili al crescere del soprassuolo arboreo; ciò spiega anche la correlazione positiva con la percentuale di alberi morti ( $\rho = 0,49$ ,  $p = 0,005$ ). Per ognuna di queste variabili è stata eseguita l'analisi di regressione. Nelle Figure 4.4 e 4.5 si riportano i carichi 100 h, disponibili in funzione dell'area basimetrica e della percentuale di alberi morti, scelti poiché in essi si sono riscontrati i coefficienti di determinazione più alti. Nelle relazioni analizzate (tranne in quella con la copertura erbacea), si è rilevata una pendenza positiva della curva di regressione.



**Figura 4.4** – Carichi di combustibile 100 h in funzione dell'area basimetrica (m²/ha).

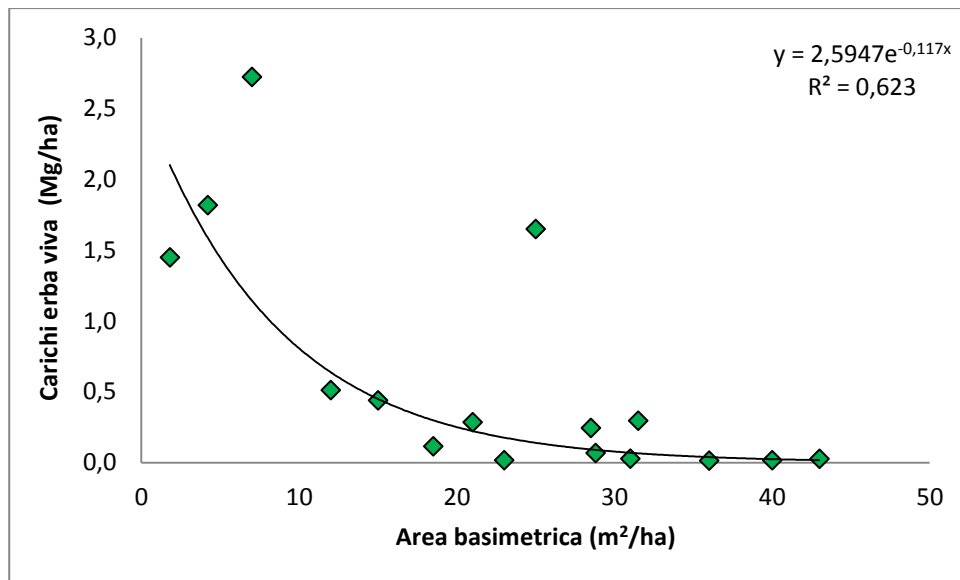


**Figura 4.5** – Carichi di combustibile 100 h in funzione della percentuale di alberi morti.

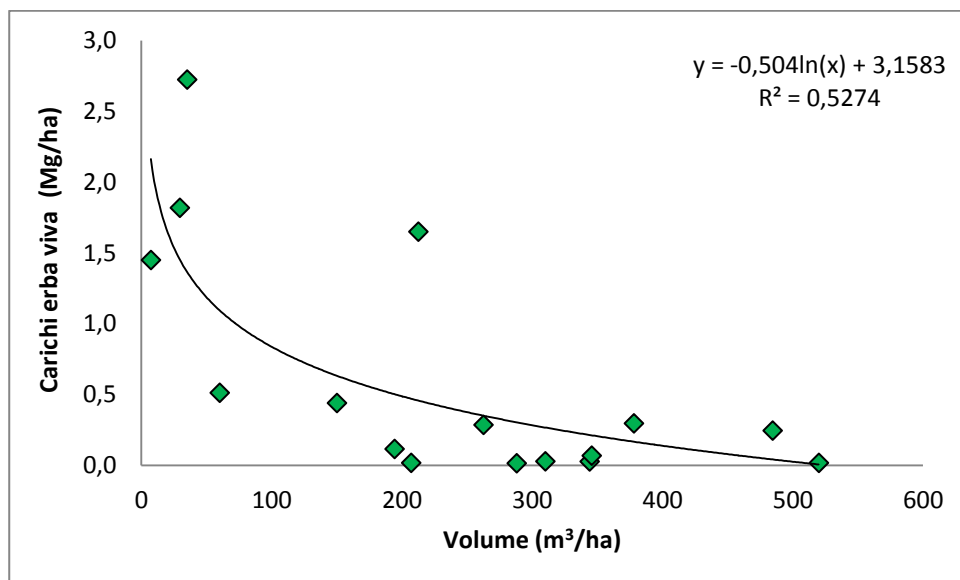
I carichi dei combustibili pesanti non hanno evidenziato relazioni significative con i parametri analizzati. Considerando l'elevata variabilità ambientale dei boschi euganei, un motivo può risiedere nel ristretto numero di campioni a disposizione, poiché il materiale appartenente alla classe 1000 h era presente in 11 aree di rilievo su 32. Infatti, a meno che non si verificano forti eventi di disturbo (per esempio schianti da vento), nei boschi gestiti la quantità al suolo di materiale di grosse dimensioni è generalmente molto bassa (Parresol *et al.*, 2012).

La biomassa erbacea è ovviamente correlata con la corrispondente copertura (erba totale:  $\rho = 0,71$ ,  $p = 0,5 \cdot 10^{-5}$ ), ma non è risultata correlata in modo significativo né con la copertura arborea, né con quella arbustiva. Si rileva tuttavia una diminuzione (statisticamente significativa) del carico di erba

disponibile al crescere dell'area basimetrica e del volume del soprassuolo arboreo (Tabella 4.13). Anche da un'analisi di regressione, tali relazioni risultano più forti rispetto ai casi precedentemente esaminati, come mostrato nelle Figure 4.6 e 4.7 relative ai carichi di erba viva. Infatti, la diminuzione della componente erbacea nelle foreste dense, è causata in genere, dalla scarsità di luce che giunge al suolo o dall'abbondante lettiera (Cesti, 2005).



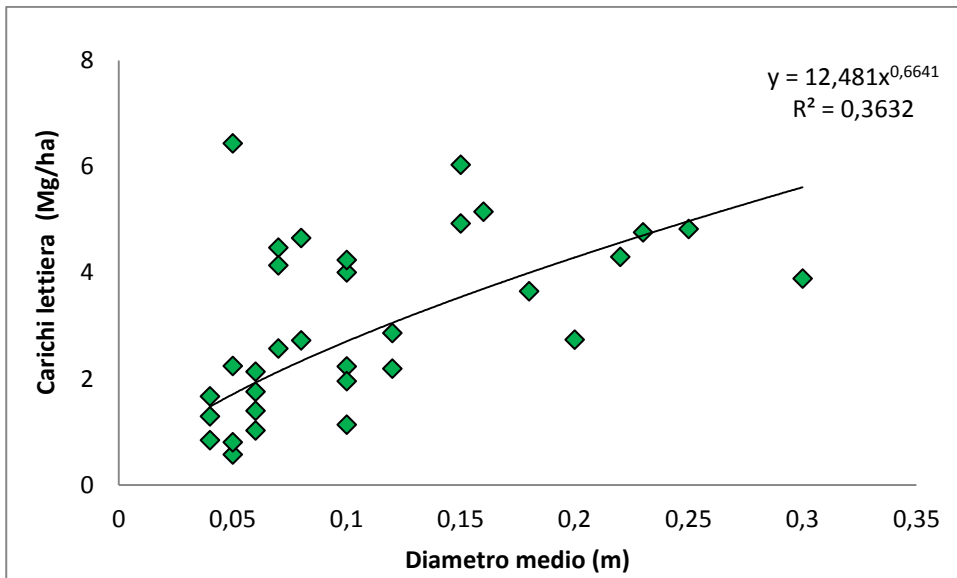
**Figura 4.6** – Carichi di combustibile di erba viva in funzione dell'area basimetrica (m²/ha).



**Figura 4.7** – Carichi di combustibile di erba viva in funzione del volume (m³/ha).

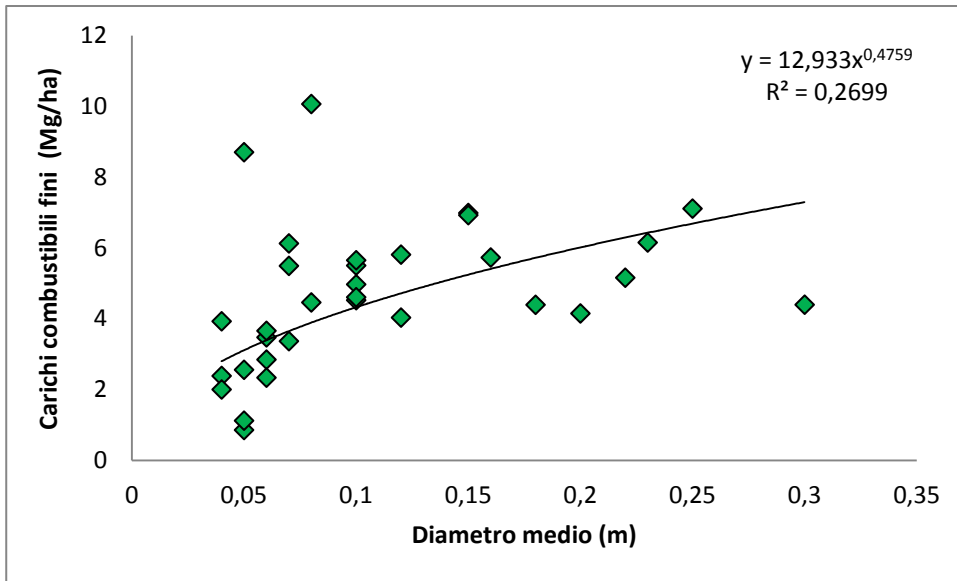
Il duff risulta correlato negativamente con la copertura arbustiva percentuale ( $\rho = -0,46$ ,  $p = 0,0081$ ), però la curva di regressione rivela che tale relazione non è molto forte ( $R^2 = 0,2144$ ).

La lettiera invece, appare correlata con il diametro medio ( $\rho= 0,60$ ,  $p= 0,003$ ) e con la percentuale di alberi morti ( $\rho= 0,43$ ,  $p= 0,0133$ ). In Figura 4.8 si riporta la curva di regressione relativa al diametro medio: si può notare una modesta tendenza all'aumento del materiale costituente la lettiera all'aumentare del diametro degli alberi.



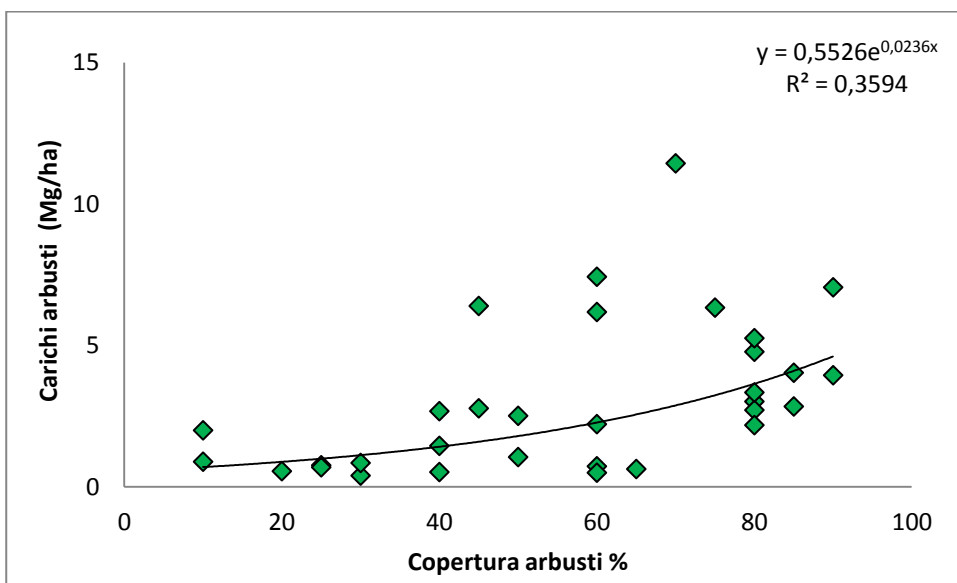
**Figura 4.8** – Carichi di combustibile di lettiera in funzione del diametro medio (m).

Analizzando la somma dei combustibili fini (carichi 1 h, di lettiera e di erba morta), è interessante notare che sembra avere correlazioni migliori con i parametri del bosco rispetto ai relativi componenti analizzati singolarmente. Essa viene influenzata in modo positivo dal diametro medio ( $\rho= 0,58$ ,  $p= 0,001$ ) e dalla presenza di alberi morti ( $\rho= 0,45$ ,  $p= 0,01$ ) e in modo negativo dalla copertura erbacea ( $\rho= -0,51$ ,  $p= 0,003$ ). Tuttavia, anche in questo caso i valori di  $R^2$  risultano bassi (Tabella 4.14); in Figura 4.9 si riporta l'esempio grafico dei carichi di combustibile in funzione del diametro medio. Diversi autori (Keeley *et* Fotheringham, 2002; Rodríguez *et* Molina, 2010) hanno suggerito che questa componente del combustibile possa variare con l'altezza, ma in questo studio tale relazione non è risultata significativa (Tabella 4.13).



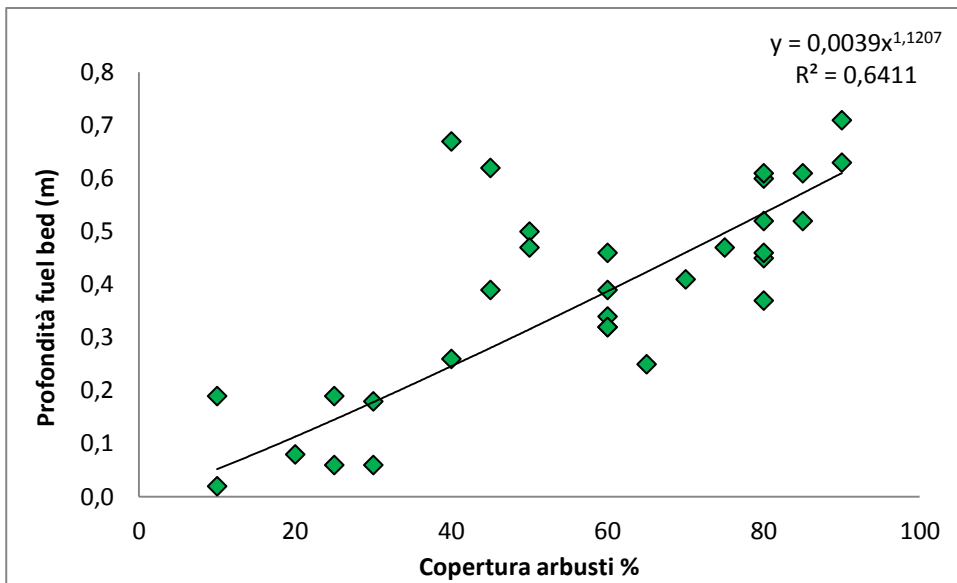
**Figura 4.9** – Carichi di combustibili fini in funzione del diametro medio (m).

La componente viva degli arbusti, come ci si aspettava, risulta correlata in modo molto significativo con la copertura arbustiva ( $\rho = 0,60$ ,  $p = 0,0003$ ), tuttavia graficamente questa tendenza appare meno forte (Figura 4.10). Considerando le altre variabili di soprassuolo, si sono trovate correlazioni solo con il diametro medio degli alberi ( $\rho = -0,40$ ,  $p = 0,0232$ ).



**Figura 4.10** – Carichi di arbusti in funzione della copertura arbustiva (%).

Infine la profondità del fuel bed è risultata correlata in modo positivo con la copertura arbustiva ( $\rho = 0,62$ ,  $p = 0,0001$ ) e ciò risulta anche dall'analisi di regressione poiché il modello utilizzato spiega il 64% della variabilità complessiva del letto combustibile (Figura 4.11). Il test di Spearman suggerisce che la profondità del fuel bed sia correlato negativamente con il volume del soprassuolo ( $\rho = -0,45$ ,  $p = 0,05$ ).



**Figura 4.11** – Profondità del fuel bed in funzione della copertura arbustiva (%).

In conclusione, le relazioni tra le variabili del combustibile e i parametri del soprassuolo appaiono molto complesse e in questo studio sono state riscontrate poche correlazioni. Una spiegazione di questo risultato, in parte, può essere attribuibile al sistema di raccolta dei dati: secondo Keane (2014, comunicazione personale), per questo tipo di analisi è preferibile effettuare un campionamento distruttivo poiché, a causa dell’eterogeneità spaziale del combustibile, il metodo dell’intersezione planare comporta delle semplificazioni che inevitabilmente influenzano la distribuzione dei dati.

Tuttavia, anche in letteratura (Harmon *et al.*, 1993) si osserva che la quantità di legno morto, in genere, sia difficilmente correlata con gli indici della struttura del popolamento. Secondo Parsons (2014, comunicazione personale) l’elevata variabilità ambientale dei boschi fa sì che raramente si riescano a trovare relazioni fra la quantità di combustibile e i parametri ambientali misurati nei punti di campionamento. Questo non esclude che i carichi di combustibile non possano essere messi in relazione con altri parametri non presi in considerazione in questa ricerca per limiti di tempo; infatti alcuni autori dimostrano che la quantità di materiale morto sia correlabile con l’età del popolamento (Rothermel *et Philpot*, 1973; Fernandes *et Rego*, 1996) o con il tipo di vegetazione e il clima (Bovio *et Ascoli*, 2013), oppure con il tempo trascorso dall’ultimo incendio o evento di disturbo (Parresol *et al.*, 2012). Infine bisogna ricordare che l’eterogeneità dei carichi di combustibile in foresta è stata sicuramente determinata anche da secoli di gestione selvicolturale e di uso del suolo da parte dell’uomo (Parresol *et al.*, 2012).



## 4.3 Sviluppo delle classi di combustibile

### 4.3.1 Parametri di input del combustibile

In seguito alle analisi statistiche riportate nei paragrafi precedenti, le medie aritmetiche dei vari parametri caratterizzanti le classi di combustibile sono state utilizzate come valori di input in FARSITE. Seppure la distribuzione dei dati non sia risultata normale per alcune variabili considerate dal *custom fuel model* (cfr. paragrafo 4.1.3), si è deciso di utilizzare comunque il valore medio, attenendosi alla metodologia applicata per il sistema Behave (Burgan *et* Rothermel, 1984) e a quella applicata nella maggior parte delle ricerche statunitensi (Brown *et al.*, 1982; Waddell, 2002; Woodall *et* Monleon, 2008), nonché in altri studi condotti in Italia (Carlini *et* Capitoni, 2001; Bacciu, 2009; Goatin, 2011). L'elaborazione dei parametri caratterizzanti i boschi dei Colli Euganei ha permesso di delineare le quattro classi di combustibile. Per ciascuna di esse è stato analizzato il potenziale comportamento del fuoco attraverso il software FARSITE; in Tabella 4.15 sono presentati i principali parametri per sviluppare le classi di combustibile: biomassa viva e morta, rapporto superficie/volume (*SA/V*), profondità dello strato combustibile, umidità di estinzione e potere calorifico.

	Classe 3	Classe 5	Classe 6	Classe 7
<i>Carico combustibile totale (Mg/ha)</i>	15,55	18,28	18,89	21,46
<i>Carico combustibili morti (Mg/ha)</i>	8,00	16,12	14,19	13,83
<b>1 h + lettiera + erba morta (Mg/ha)</b>	3,70	5,60	4,91	3,97
<b>10 h (Mg/ha)</b>	4,30	8,15	5,60	8,41
<b>100 h (Mg/ha)</b>	0,00	2,37	3,68	1,45
<i>Carico combustibili vivi (Mg/ha)</i>	7,56	2,16	4,70	7,63
<b>Erba viva (Mg/ha)</b>	1,53	0,53	0,07	0,10
<b>Arbusti (Mg/ha)</b>	6,03	1,64	4,63	7,53
<i>SA/V dei combustibili (cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>)</i>				
<b>1 h</b>	37,00	37,00	37,00	37,00
<b>Erbacei vivi</b>	51,00	51,00	51,00	51,00
<b>Legnosi vivi</b>	37,00	37,00	37,00	37,00
<b>Fuel bed (cm)</b>	54,00	10,00	40,00	56,00
<b>Umidità di estinzione %</b>	25	25	25	25
<i>Potere calorifico dei combustibili (J/kg)</i>				
<b>vivi</b>	18200	18200	18200	18200
<b>morti</b>	18200	18200	18200	18200

**Tabella 4.15** – Input utilizzati in FARSITE per testare le classi di combustibili.

### 4.3.2 Test di comportamento delle classi di combustibile

Il carico di combustibile è un fattore fondamentale nel condizionare l'intensità del fronte di fiamma, la velocità di propagazione o l'eventuale evoluzione in chioma dell'incendio radente (Burgan *et* Rothermel, 1984). Perciò, la variabilità di biomassa delle classi di combustibile implica un diverso comportamento del fuoco. Utilizzando l'applicazione *Model to test* di FARSITE, è stato possibile confrontare le quattro classi di combustibile individuate in questo studio sulla base del diverso comportamento del fronte di fiamma e al variare dei tre fattori ambientali che più condizionano un incendio: il vento, l'umidità e la pendenza. I parametri utilizzati per descrivere la diffusione del fuoco sono: la velocità di propagazione (ROS), la lunghezza di fiamma (*Flame length*) e l'altezza critica della base delle chiome degli alberi (CHB), ovvero l'altezza al di sotto della quale l'incendio può propagarsi dai combustibili del suolo alle chiome degli alberi e dare così origine al fuoco di chioma.

In Tabella 4.16 si riportano i risultati previsti in FARSITE, ottenuti impostando l'assenza del vento: i valori rappresentano gli intervalli (limite superiore e inferiore) dovuti all'incremento della pendenza del terreno (da 0 a 70°) per i tre scenari standard di umidità (v. Tabella 3.12).

<b>Umidità bassa – vento 0</b>			
	<i>ROS (m/min)</i>	<i>Flame length (m)</i>	<i>CHB (m)</i>
<i>Classe 3</i>	0,3 – 3,6	0,6 – 1,9	0,6 – 3,4
<i>Classe 5</i>	0,1 – 0,7	0,3 – 0,7	0,2 – 0,8
<i>Classe 6</i>	0,3 – 3,3	0,7 – 2,2	0,8 – 4,1
<i>Classe 7</i>	0,3 – 3,9	0,8 – 2,5	0,9 – 4,9
<b>Umidità media – vento 0</b>			
	<i>ROS (m/min)</i>	<i>Flame length (m)</i>	<i>CHB (m)</i>
<i>Classe 3</i>	0,2 – 2	0,4 – 1,4	0,4 – 2,1
<i>Classe 5</i>	0,1 – 0,4	0,2 – 0,5	0,1 – 0,5
<i>Classe 6</i>	0,2 – 1,9	0,5 – 1,5	0,5 – 2,5
<i>Classe 7</i>	0,2 – 2,2	0,6 – 1,8	0,6 – 3,1
<b>Umidità alta – vento 0</b>			
	<i>ROS (m/min)</i>	<i>Flame length (m)</i>	<i>CHB (m)</i>
<i>Classe 3</i>	0 – 0,7	0,2 – 0,5	0,1 – 0,6
<i>Classe 5</i>	0 – 0,3	0,2 – 0,4	0,1 – 0,4
<i>Classe 6</i>	0,1 – 1,2	0,4 – 1,2	0,3 – 1,7
<i>Classe 7</i>	0,1 – 0,6	0,2 – 0,6	0,1 – 0,7

**Tabella 4.16** – Potenziale comportamento del fuoco al variare della pendenza del terreno e dello scenario di umidità per ognuna delle classi di combustibile individuate in questo studio.

La Tabella 4.17 mostra invece gli stessi risultati riferiti ad un terreno pianeggiante, al variare della velocità del vento (da 0 fino a 56 km h<sup>-1</sup>).

<b>Umidità bassa – pendenza 0</b>			
	<i>ROS (m/min)</i>	<i>Flame length (m)</i>	<i>CHB (m)</i>
<i>Classe 3</i>	0,3-39,8	0,6-5,7	0,6-16,8
<i>Classe 5</i>	0,1-3,6	0,3-1,6	0,2-2,6
<i>Classe 6</i>	0,3-30,1	0,7-6	0,8-17,8
<i>Classe 7</i>	0,3-37,1	0,8-6,9	0,9-22,1
<b>Umidità media – pendenza 0</b>			
	<i>ROS (m/min)</i>	<i>Flame length (m)</i>	<i>CHB (m)</i>
<i>Classe 3</i>	0,2-22,6	0,4-4,1	0,4-10,3
<i>Classe 5</i>	0,1-1,8	0,2-1,1	0,1-1,5
<i>Classe 6</i>	0,2-17,2	0,5-4,2	0,5-10,,8
<i>Classe 7</i>	0,2-21,4	0,6-5	0,6-13,8
<b>Umidità alta – pendenza 0</b>			
	<i>ROS (m/min)</i>	<i>Flame length (m)</i>	<i>CHB (m)</i>
<i>Classe 3</i>	0-65,6	0,2-1,1	0,1-1,6
<i>Classe 5</i>	0-6,4	0,2-0,8	0,1-0,9
<i>Classe 6</i>	0,1-11,4	0,4-3,3	0,3-7,5
<i>Classe 7</i>	0,1-3,5	0,2-1,4	0,1-2,1

**Tabella 4.17** – Potenziale comportamento del fuoco al variare della velocità del vento e dello scenario di umidità per ognuna delle classi di combustibile individuate in questo studio.

Inoltre di seguito vengono messe a confronto le quattro classi di combustibile, mostrando come la varia il comportamento del fuoco all'aumentare della pendenza (Figure 4.12 – 4.17) e della velocità del vento (Figure 4.18 – 4.23), in condizione di umidità alta e bassa.

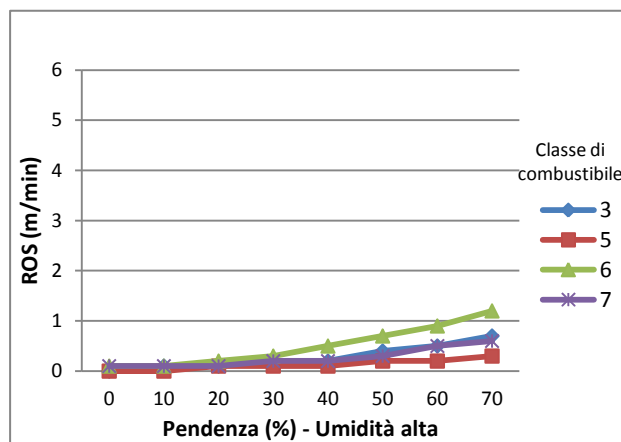
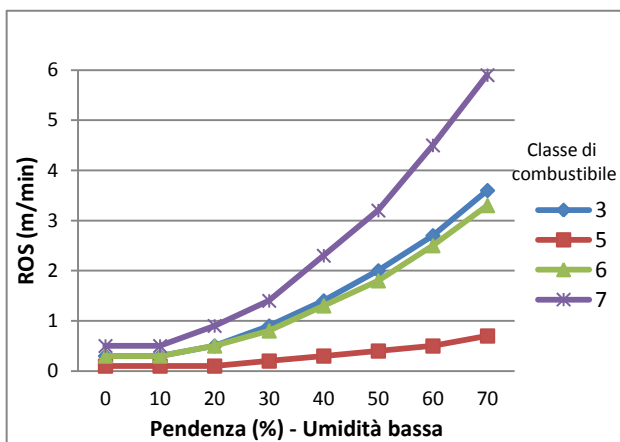


Figure 4.12 e 4.13 – Potenziale tasso di diffusione del fronte di fiamma (ROS) per le quattro classi di combustibile al variare della pendenza (vento assente).

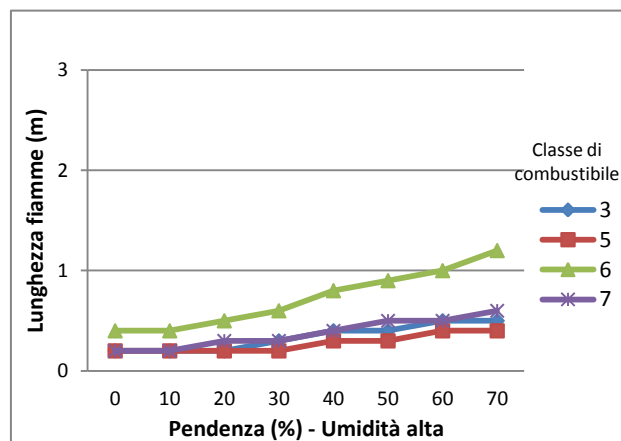
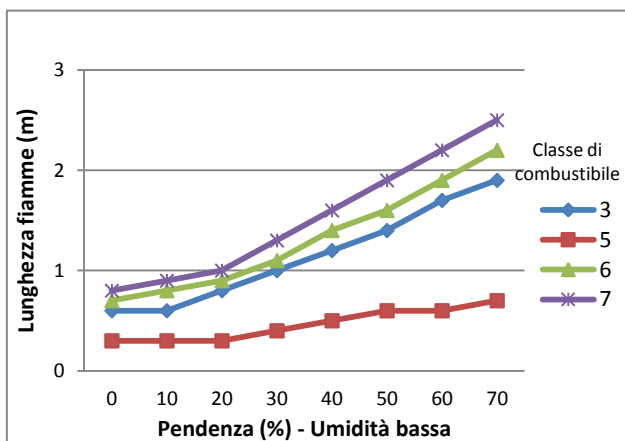


Figure 4.14 e 4.15 – Potenziale lunghezza delle fiamme per le quattro classi di combustibile al variare della pendenza (vento assente).

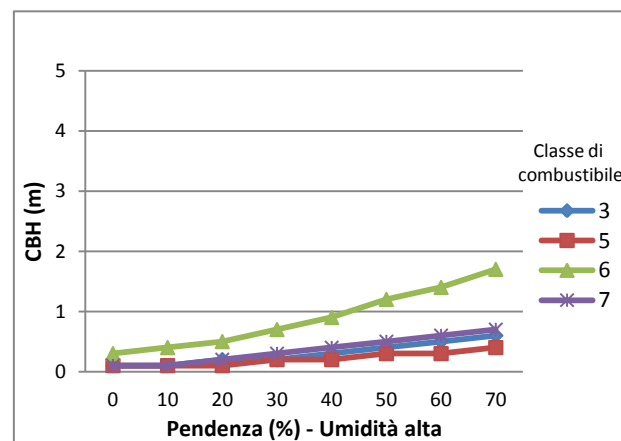
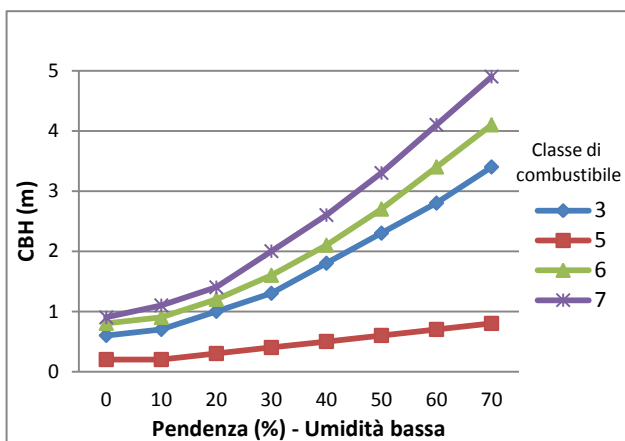


Figure 4.16 e 4.17 – Potenziale altezza critica di chioma (CBH) per le quattro classi di combustibile al variare della velocità del vento (su terreno pianeggiante).

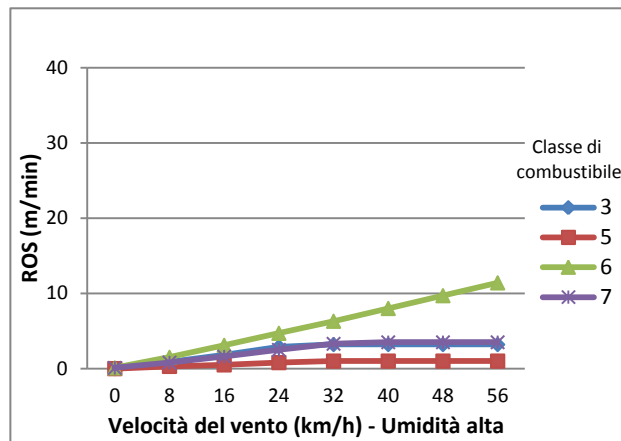
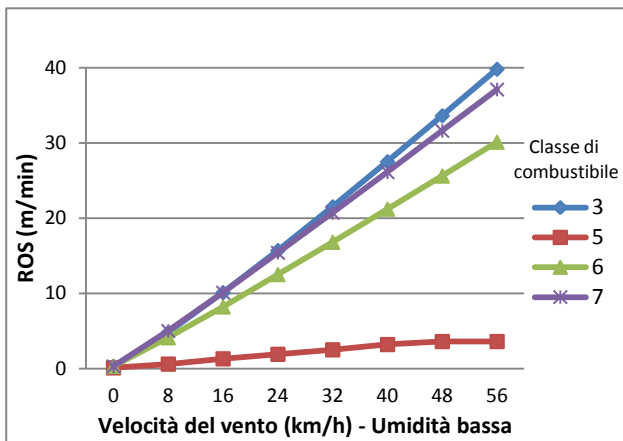


Figure 4.18 e 4.19 – Potenziale tasso di diffusione del fronte di fiamma (ROS) per le quattro classi di combustibile al variare della velocità del vento (su terreno pianeggiante).

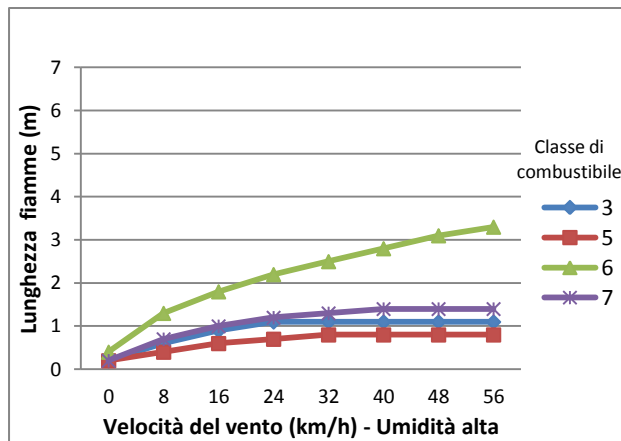
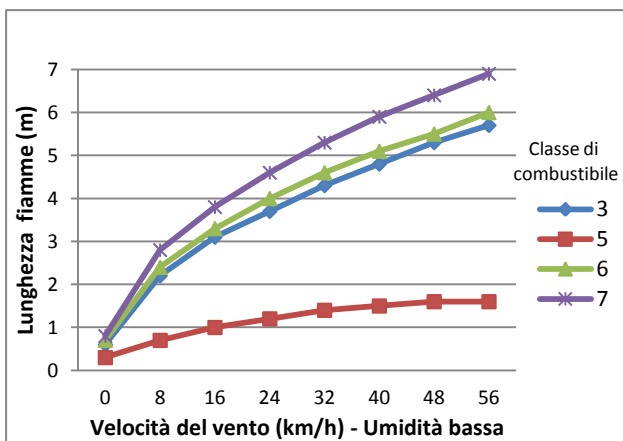


Figure 4.20 e 4.21 – Potenziale lunghezza delle fiamme per le quattro classi di combustibile al variare della velocità del vento (su terreno pianeggiante).

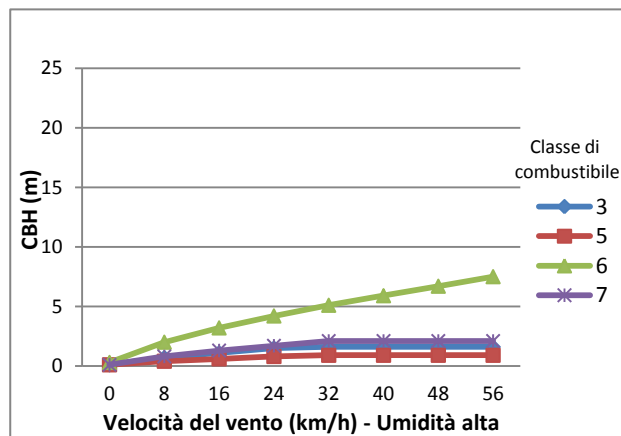
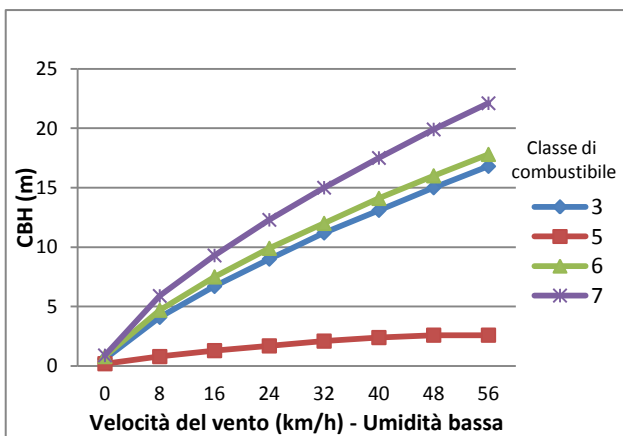


Figure 4.22 e 4.23 – Potenziale altezza critica di chioma (CBH) per le quattro classi di combustibile al variare della velocità del vento (su terreno pianeggiante).

Come era atteso, risulta che i boschi riconducibili alla classe 3, caratterizzati da vegetazione per lo più arbustiva ed erbacea, siano soggetti a elevate velocità di propagazione, ma con una minore lunghezza di fiamma e quindi intensità inferiore (Bovio *et Ascoli*, 2013) rispetto alle classi 6 e 7. Ciò è più evidente quando l'umidità dell'aria è bassa (es. Figura 4.18), infatti l'erba viva e gli arbusti incrementano la sensibilità del modello alla variazione di umidità stagionale, poiché il contenuto idrico dei combustibili vivi è dovuto alle variazioni delle condizioni meteorologiche (Valese, 2008). La presenza di vento forte e asciutto espone il combustibile alla disidratazione, predisponendolo ad una rapida accensione e propagazione del fronte di fiamma.

La classe 5 invece, presenta velocità, lunghezza di fiamme e CBH molto più basse rispetto alle altre tre classi, poiché lo strato combustibile è poco profondo e costituito prevalentemente da lettiera: la minor profondità del letto combustibile determina un alto grado di compattazione e quindi una minore sensibilità del modello al vento e alla pendenza (Burgan *et Rothermel*, 1984). Lo scostamento tra questa classe e le altre appare infatti più marcato in condizioni di umidità alta (Figure 4.18, 4.20, 4.22). Risulta quindi che la profondità del fuel bed sia in grado di influire fortemente il comportamento del fuoco; Goatin (2011) ha riscontrato un aumento più che proporzionale della velocità del fronte di fiamma al variare dell'altezza del letto combustibile: questo conferma l'importanza del contributo specialmente dell'altezza dello strato arbustivo nel definire il valore del *Fuel Bed Depth*. La presenza della lettiera in questa classe si riflette soprattutto sulla durata della combustione e di conseguenza sulla sua permanenza (Bovio *et Ascoli*, 2013).

Infine le classi di combustibile 6 e 7 mostrano un rischio potenziale di incendio maggiore a causa dei carichi di combustibili più pesanti (10 h e 100 h). Generalmente, carichi maggiori comportano un aumento di intensità (parametro direttamente proporzionale alla lunghezza delle fiamme) e minor velocità di propagazione del fuoco, poiché più combustibile deve essere portato a temperatura di accensione (Burgan *et Rothermel*, 1984). In questo caso, tassi di diffusione elevati sono determinati anche dal carico dei combustibili fini (Tabella 4.15), poiché esso ha un effetto direttamente proporzionale sul ROS (Fernandes, 2001): effettivamente Ascoli *et al.* (2007) dimostrano che la velocità di propagazione del fuoco aumenti al crescere del carico di combustibile fine, secondo una relazione esponenziale. Inoltre un alto carico di combustibile comporta una maggior continuità nella struttura e distribuzione della biomassa bruciabile; maggiore è la quantità di combustibile disponibile nella combustione, maggiore sarà l'energia di irraggiamento, quindi il preriscaldamento dei combustibili davanti al fronte di fiamma; entrambi i fenomeni hanno un effetto positivo sulla velocità e quindi sull'intensità lineare del fronte (Ascoli *et al.*, 2007).

La differenza fra le classi 6 e 7 si nota, in particolare, al cambiamento dell'umidità dell'aria: la classe 7 è molto più sensibile all'umidità, presentando valori elevati di ROS (Figura 4.12) e di lunghezza di fiamma (Figura 4.14) con umidità bassa; invece la classe 6 è potenzialmente in grado di sostenere la propagazione del fuoco anche quando l'umidità è elevata (Figure 4.19 e 4.21). Ciò è dovuto soprattutto al minor carico di biomassa arbustiva e alla maggior presenza di combustibili fini nella classe 6 (Tabella 4.15). L'applicazione *Model to test* di FARSITE, impostando uno scenario di umidità alta, simula le condizioni dei combustibili vivi durante la stagione di attività vegetativa, quando l'umidità dei tessuti assume un range compreso tra il 150% ed il 300% (Gherlone, 2010). Quando il contenuto di umidità è così elevato, i combustibili sono in grado di assorbire grandi quantità di calore senza propagare le fiamme (Burgan *et* Rothermel, 1984). Perciò in queste condizioni, una maggior biomassa di arbusti comporta una diminuzione dell'intensità e della velocità del fuoco. Al contrario, i combustibili fini, per l'alto rapporto tra superficie esposta e il volume, hanno tempi di preriscaldamento minori e una maggiore predisposizione a bruciare (Cesti, 2005) anche in presenza di alta umidità atmosferica.

La classe 6 risulta quindi l'unica in grado di provocare fuoco di chioma anche in condizioni di umidità alta (Figure 4.15 e 4.23). Il rischio di un'evoluzione in chioma del fronte di fiamma è elevato anche per le classi 3 e 7 quando l'umidità dell'aria è bassa, ma non per la classe 5.

Per quanto riguarda l'influenza del vento e della pendenza sulle risposte di output fornite da FARSITE, si può osservare che entrambe svolgono un'azione diretta sulla propagazione del fuoco, tuttavia l'effetto del vento è più marcato (cfr. Figure 4.12 e 4.18), come viene riscontrato anche da Burgan *et* Rothermel (1984). Il vento infatti condiziona la diffusione delle fiamme perché, oltre a determinare la direzione e la velocità di propagazione, favorisce il disseccamento della vegetazione, predisponendola all'accensione (Regione Veneto, 2009). Invece, la pendenza influenza il trasferimento del calore ai combustibili collocati a monte del fronte di fiamma (Bovio *et* Ascoli, 2013). La pendenza favorisce lo sviluppo di una corrente ascensionale convettiva e provoca l'inclinazione della fiamma rispetto al terreno, avvicinandola al combustibile posto a monte, che subisce così un ulteriore riscaldamento per irraggiamento (Regione Veneto, 2009). Per questi motivi la combustione avverrà più velocemente e quindi aumenterà la velocità di avanzamento proporzionalmente al vento e alla pendenza.

Anche l'umidità atmosferica influenza fortemente la propagazione del fuoco: questo fattore condiziona sul medio-lungo periodo il grado di infiammabilità dei combustibili vegetali perché contribuisce a determinare l'umidità del combustibile (Regione Veneto, 2009). Osservando i risultati con umidità bassa e quelli con umidità alta (cfr. Figure 4.12-4.13 e 4.18-4.19), si può notare che, nel primo caso, le classi 3, 6 e 7 sono molto sensibili alla variazione della pendenza e del

vento; nel secondo caso invece, si rilevano valori piuttosto bassi per ognuna delle classi di combustibile e la differenza di comportamento appare meno distinta.

#### 4.3.3 Analisi statistica delle differenze di comportamento delle classi individuate

I risultati del comportamento del fuoco (Figure 4.12-4.23) sono stati analizzati statisticamente per verificare l'effettiva differenza tra le quattro classi di combustibile attraverso il test non parametrico di Wilcoxon per dati appaiati. Nelle Tabelle 4.18, 4.19 e 4.20 vengono riportati i risultati relativamente alla velocità di propagazione, alla lunghezza delle fiamme e all'altezza critica della chioma.

	<b>Velocità di propagazione del fuoco</b>			
	<i>Variazione del vento (pendenza 0)</i>		<i>Variazione della pendenza (vento 0)</i>	
	<i>umidità bassa</i>	<i>umidità alta</i>	<i>umidità bassa</i>	<i>umidità alta</i>
<i>classi 3 e 5</i>	0,0112*	0,1192	0,0428*	0,0248*
<i>classi 3 e 6</i>	0,0100**	0,0004***	<0,0001***	0,0092**
<i>classi 3 e 7</i>	0,0688	0,9404	0,0008***	>0,9999
<i>classi 5 e 6</i>	0,0072**	0,0052**	0,0008***	0,0076**
<i>classi 5 e 7</i>	0,0044**	0,0520	<0,0001***	<0,0001***
<i>classi 6 e 7</i>	0,0084**	0,0072**	<0,0001***	0,0404*

	<b>Lunghezza delle fiamme</b>			
	<i>Variazione del vento (pendenza 0)</i>		<i>Variazione della pendenza (vento 0)</i>	
	<i>umidità bassa</i>	<i>umidità alta</i>	<i>umidità bassa</i>	<i>umidità alta</i>
<i>classi 3 e 5</i>	0,0072**	0,2004	0,0076**	0,0500*
<i>classi 3 e 6</i>	0,0072**	0,0096**	0,0448*	0,0088**
<i>classi 3 e 7</i>	0,0512	0,0080**	0,0072**	0,0012**
<i>classi 5 e 6</i>	0,0532	0,0072**	0,0076**	0,0112*
<i>classi 5 e 7</i>	0,0100**	0,0452*	0,0092**	0,0012**
<i>classi 6 e 7</i>	0,0092**	0,0048**	0,0120*	0,0076**

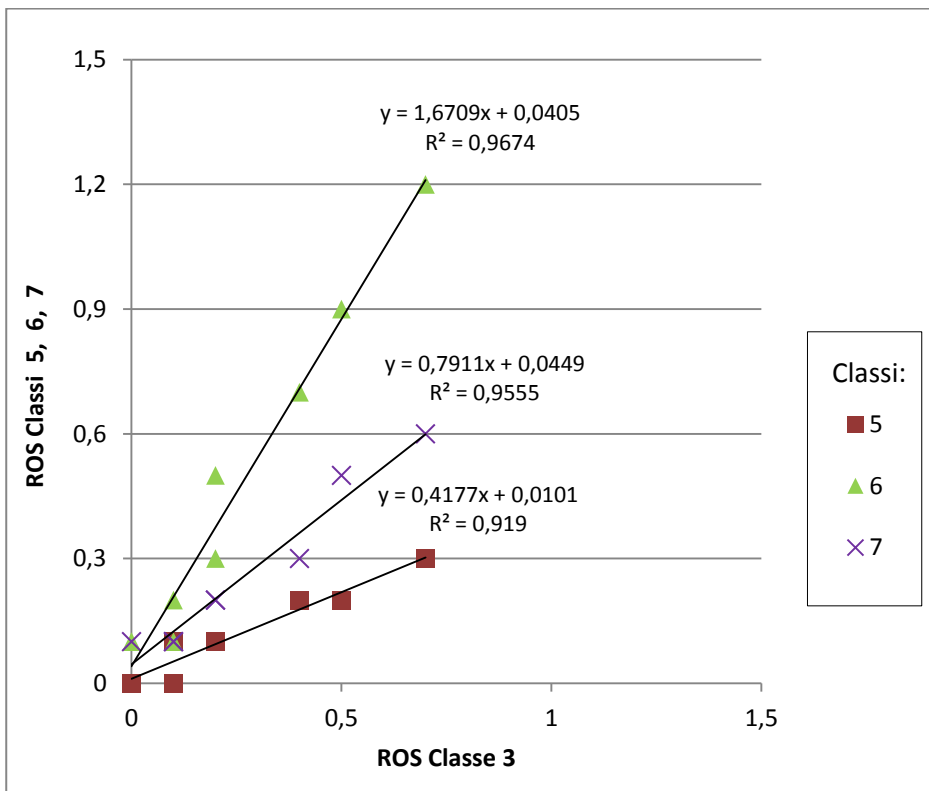
	<b>Altezza critica della base della chioma</b>			
	<i>Variazione del vento (pendenza 0)</i>		<i>Variazione della pendenza (vento 0)</i>	
	<i>umidità bassa</i>	<i>umidità alta</i>	<i>umidità bassa</i>	<i>umidità alta</i>
<i>classi 3 e 5</i>	0,0056**	0,1236	0,0064**	0,2468
<i>classi 3 e 6</i>	0,2008	0,0056**	0,0012**	0,0064**
<i>classi 3 e 7</i>	0,0428*	0,0052**	0,0072**	0,0444*
<i>classi 5 e 6</i>	0,0096**	0,0096**	0,0008***	0,0092**
<i>classi 5 e 7</i>	0,0076**	0,0476*	0,0096**	0,0096**
<i>classi 6 e 7</i>	0,0076**	0,0088**	0,0048**	0,0012**



**Tabelle 4.18, 4.19, 4.20** – Applicazione del test di Wilcoxon (si riporta il valore del livello di probabilità  $p$ ) alle classi di combustibile rispettivamente per la velocità di propagazione, la lunghezza delle fiamme e l'altezza critica della chioma; \* indica differenze significative tra le coppie di campioni a confronto (livello 5%) \*\* indica differenze molto significative (livello 1%); \*\*\* indica differenze altamente significative (livello 0,1%).

I risultati del test di Wilcoxon suggeriscono che i comportamenti del fuoco per le quattro classi di combustibile individuate in questo studio, siano significativamente differenti. Si osserva infatti che l'unico caso, in cui i risultati non sono significativi per ciascuno dei tre parametri di output analizzati, è l'andamento delle classi 3 e 5 solo in condizioni di umidità alta.

Una ulteriore verifica della diversità tra le classi di combustibile individuate si è basata sul confronto dell'andamento di ogni curva di comportamento del fuoco relativa ad una classe rispetto alle altre tre, considerando la prima come variabile indipendente e le altre come variabili dipendenti. Il coefficiente angolare delle equazioni di regressione delle tre curve risultanti permette di valutare quanto ognuna di esse si differenzia rispetto alla classe presa come riferimento: più il coefficiente angolare è diverso da 1, maggiore sarà lo scostamento osservato. A titolo di esempio, si riportano in Figura 4.24 i risultati del confronto tra le curve di variazione del ROS all'aumentare della pendenza in assenza di vento e con umidità alta (cfr. Figura 4.15): in particolare la classe 3 è stata messa in relazione con le classi 5, 6 e 7.



**Figura 4.24** – Esempio di confronto tra le curve di comportamento del fuoco.

Nelle Tabelle 4.21, 4.22 e 4.23 si riportano, come risultato del confronto tra le curve di comportamento del fuoco, le equazioni di regressione rispettivamente per la velocità di avanzamento del fuoco, la lunghezza delle fiamme e l'altezza critica delle chiome.

Variabili		ROS (variazione del vento con umidità bassa)		ROS (variazione del vento con umidità alta)		ROS (variazione della pendenza con umidità bassa)		ROS (variazione della pendenza con umidità alta)	
x	y	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>
classe 3	classe 5	$y = 0,0952x + 0,2767$	0,9	$y = 0,3072x - 0,0066$	0,9	$y = 0,1809x + 0,0355$	0,9	$y = 0,4177x + 0,0101$	0,9
classe 3	classe 6	$y = 0,7504x + 0,4706$	0,9	$y = 2,7748x - 0,782$	0,7	$y = 0,9097x + 0,0196$	0,9	$y = 1,6709x + 0,0405$	0,9
classe 3	classe 7	$y = 0,9268x + 0,5279$	0,9	$y = 1,0604x - 0,0888$	0,9	$y = 1,6385x + 0,0037$	0,9	$y = 0,7911x + 0,0449$	0,9
classe 5	classe 3	$y = 10,151x - 2,1541$	0,9	$y = 3,217x + 0,0481$	0,9	$y = 5,5x - 0,1875$	0,9	$y = 2,2x$	0,9
classe 5	classe 6	$y = 7,6391x - 1,192$	0,9	$y = 9,2453x - 0,8717$	0,8	$y = 5x - 0,15$	0,9	$y = 3,7333x + 0,0333$	0,9
classe 5	classe 7	$y = 9,4359x - 1,528$	0,9	$y = 3,4717x - 0,0802$	0,9	$y = 9x - 0,3$	0,9	$y = 1,7x + 0,05$	0,8
classe 6	classe 3	$y = 1,332x - 0,6181$	0,9	$y = 0,2779x + 0,7436$	0,7	$y = 1,0987x - 0,0208$	0,9	$y = 0,5789x - 0,0145$	0,9
classe 6	classe 5	$y = 0,1271x + 0,2124$	0,9	$y = 0,0884x + 0,2048$	0,8	$y = 0,1986x + 0,0319$	0,9	$y = 0,2456x + 0,0022$	0,9
classe 6	classe 7	$y = 1,2351x - 0,0536$	1	$y = 0,3184x + 0,5672$	0,8	$y = 1,8014x - 0,0319$	1	$y = 0,4649x + 0,03$	0,9
classe 7	classe 3	$y = 1,0785x - 0,5599$	0,9	$y = 0,911x + 0,1592$	0,9	$y = 0,6098x - 0,001$	0,9	$y = 1,2077x - 0,042$	0,9
classe 7	classe 5	$y = 0,1029x + 0,2177$	0,9	$y = 0,2848x + 0,0307$	0,9	$y = 0,1102x + 0,0356$	0,9	$y = 0,4928x - 0,0043$	0,8
classe 7	classe 6	$y = 0,8097x + 0,0434$	1	$y = 2,7307x - 0,817$	0,8	$y = 0,5551x + 0,0178$	1	$y = 2,0483x - 0,0377$	0,9

Variabili		Fiamme (variazione del vento con umidità bassa)		Fiamme (variazione del vento con umidità alta)		Fiamme (variazione della pendenza con umidità bassa)		Fiamme (variazione della pendenza con umidità alta)	
x	y	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>
classe 3	classe 5	$y = 0,2729x + 0,1493$	0,9	$y = 0,6667x + 0,0375$	0,9	$y = 0,3185x + 0,0963$	0,9	$y = 0,6526x + 0,0547$	0,9
classe 3	classe 6	$y = 1,0332x + 0,1141$	0,9	$y = 2,7051x - 0,2596$	0,8	$y = 1,1071x + 0,0518$	0,9	$y = 2,2105x - 0,0211$	0,9
classe 3	classe 7	$y = 1,1939x + 0,1303$	0,9	$y = 1,2692x - 0,0673$	0,9	$y = 1,2857x + 0,0464$	0,9	$y = 1,0737x + 0,0126$	0,8
classe 5	classe 3	$y = 3,6093x - 0,4833$	0,9	$y = 1,4495x - 0,024$	0,9	$y = 2,993x - 0,2343$	0,9	$y = 1,4091x - 0,05$	0,9
classe 5	classe 6	$y = 3,7335x - 0,3903$	0,9	$y = 4,1463x - 0,4683$	0,9	$y = 3,3427x - 0,221$	0,9	$y = 3,1818x - 0,15$	0,9
classe 5	classe 7	$y = 4,3144x - 0,453$	0,9	$y = 1,8885x - 0,1289$	0,9	$y = 3,9021x - 0,2797$	0,9	$y = 1,5455x - 0,05$	0,9
classe 6	classe 3	$y = 0,9671x - 0,1076$	0,9	$y = 0,3161x + 0,2125$	0,8	$y = 1,159x - 0,0107$	0,9	$y = 0,4268x + 0,028$	0,9
classe 6	classe 5	$y = 0,2643x + 0,1187$	0,9	$y = 0,2228x + 0,1528$	0,9	$y = 0,288x + 0,081$	0,9	$y = 0,2846x + 0,0687$	0,9
classe 6	classe 7	$y = 1,1552x - 0,0007$	0,9	$y = 0,4277x + 0,1447$	0,9	$y = 0,8964x - 0,0377$	0,9	$y = 0,4959x + 0,0154$	0,9
classe 7	classe 3	$y = 0,8372x - 0,1071$	0,9	$y = 0,7645x + 0,0782$	0,9	$y = 0,7728x - 0,0285$	0,9	$y = 0,8226x + 0,029$	0,8
classe 7	classe 5	$y = 0,2288x + 0,1187$	0,9	$y = 0,5232x + 0,0751$	0,9	$y = 0,2496x + 0,0819$	0,9	$y = 0,5484x + 0,0694$	0,8
classe 7	classe 6	$y = 0,8655x + 0,0013$	0,9	$y = 2,2046x - 0,195$	0,9	$y = 0,8605x + 0,0128$	0,9	$y = 1,9677x - 0,0129$	0,9

Variabili		CBH (variazione del vento con umidità bassa)		CBH (variazione del vento con umidità alta)		CBH (variazione della pendenza con umidità bassa)		CBH (variazione della pendenza con umidità alta)	
x	y	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>
classe 3	classe 5	$y = 0,1577x + 0,2041$	0,9	$y = 0,5342x + 0,0331$	0,9	$y = 0,2202x + 0,08$	0,9	$y = 0,5833x + 0,0375$	0,9
classe 3	classe 6	$y = 1,0447x + 0,3597$	0,9	$y = 4,0171x - 0,5584$	0,8	$y = 1,1819x + 0,0465$	0,9	$y = 2,7083x + 0,075$	0,9
classe 3	classe 7	$y = 1,301x + 0,4213$	0,9	$y = 1,3314x - 0,0935$	0,9	$y = 1,4277x + 0,0569$	0,9	$y = 1,2083x + 2E-16$	0,9
classe 5	classe 3	$y = 6,2025x - 1,0592$	0,9	$y = 1,8648x - 0,0571$	0,9	$y = 4,4913x - 0,3397$	0,9	$y = 1,5775x - 0,0352$	0,9
classe 5	classe 6	$y = 6,4905x - 0,7651$	0,9	$y = 7,6282x - 0,8819$	0,8	$y = 5,2962x - 0,3495$	0,9	$y = 4,4085x - 0,0493$	0,9
classe 5	classe 7	$y = 8,0863x - 0,9853$	0,9	$y = 2,503x - 0,1833$	0,9	$y = 6,4146x - 0,4293$	0,9	$y = 1,9577x - 0,0535$	0,9
classe 6	classe 3	$y = 0,9568x - 0,3402$	0,9	$y = 0,2116x + 0,3021$	0,8	$y = 0,8447x - 0,0364$	0,9	$y = 0,3634x - 0,0225$	0,9
classe 6	classe 5	$y = 0,1512x + 0,1479$	0,9	$y = 0,1151x + 0,1855$	0,8	$y = 0,1855x + 0,0729$	0,9	$y = 0,2187x + 0,0184$	0,9
classe 6	classe 7	$y = 1,2454x - 0,0271$	1	$y = 0,2925x + 0,2614$	0,9	$y = 1,207x + 0,0027$	0,9	$y = 0,4451x - 0,0326$	0,9
classe 7	classe 3	$y = 0,7682x - 0,3184$	0,9	$y = 0,7382x + 0,09$	0,9	$y = 0,6994x - 0,0373$	0,9	$y = 0,8084x + 0,007$	0,9
classe 7	classe 5	$y = 0,1214x + 0,1506$	0,9	$y = 0,3975x + 0,0763$	0,9	$y = 0,154x + 0,0716$	0,9	$y = 0,4843x + 0,0369$	0,9
classe 7	classe 6	$y = 0,8029x + 0,0223$	1	$y = 3,0796x - 0,3723$	0,9	$y = 0,8274x + 0,0005$	0,9	$y = 2,2195x + 0,0829$	0,9

**Tabella 4.21, 4.22, 4.23** – Confronto tra le curve di comportamento del fuoco: equazioni di regressione e corrispondenti coefficienti di determinazione ( $R^2$ ), rispettivamente per la velocità di propagazione, la lunghezza delle fiamme e l'altezza critica di chioma (CBH).

I coefficienti angolari delle equazioni di regressione nelle Tabelle 4.21, 4.22 e 4.23 risultano, nella maggior parte dei casi, sufficientemente diversi da 1, perciò si può affermare che le classi di combustibile individuate in questo studio determinino comportamenti del fuoco differenti: per questo motivo esse possono essere considerate indipendenti tra loro.

#### 4.3.4 Confronto con i modelli di combustibile standard

In Tabella 4.24 vengono poste a confronto le classi di combustibile proposte in questo studio con i modelli di combustibile standard sviluppati negli Stati Uniti (Albini, 1976; Anderson, 1982). Tra i 13 modelli sono stati individuati quelli aventi le caratteristiche più simili alle classi in esame: il modello 5 è stato equiparato alla classe 3, il modello 8 alla classe 5 e il modello 10 alle classi 6 e 7.

Modelli di combustibile	Complesso di combustibile tipico	Quantità di combustibile (Mg/ha)				Profondità del letto (cm)
		1 h	10 h	100 h	vivi	
Classe 3 Colli Euganei	Cespugli di media altezza ed erba	3,70	4,30	0,00	7,56	54,00
Modello 5	Arbusteti densi di altezza inferiore a 1m	2,24	1,12	0,00	4,48	60,96
Classe 5 Colli Euganei	Boschi con suolo coperto da combustibili bassi e fini (principalmente lettiera);	5,60	8,15	2,37	2,16	10,00
Modello 8	Boschi densi con lettera compatta	3,36	2,24	5,60	0,00	6,10
Classe 6 Colli Euganei	Boschi con suolo coperto da combustibili di medie dimensioni (arbusti bassi)	4,91	5,60	3,68	4,70	40,00
Classe 7 Colli Euganei	Boschi con suolo coperto da combustibili di grandi dimensioni (arbusti alti)	3,97	8,41	1,45	7,63	56,00
Modello 10	Boschi con suolo coperto da cespugli e con grande quantità di biomassa	6,75	4,48	11,23	4,48	30,48

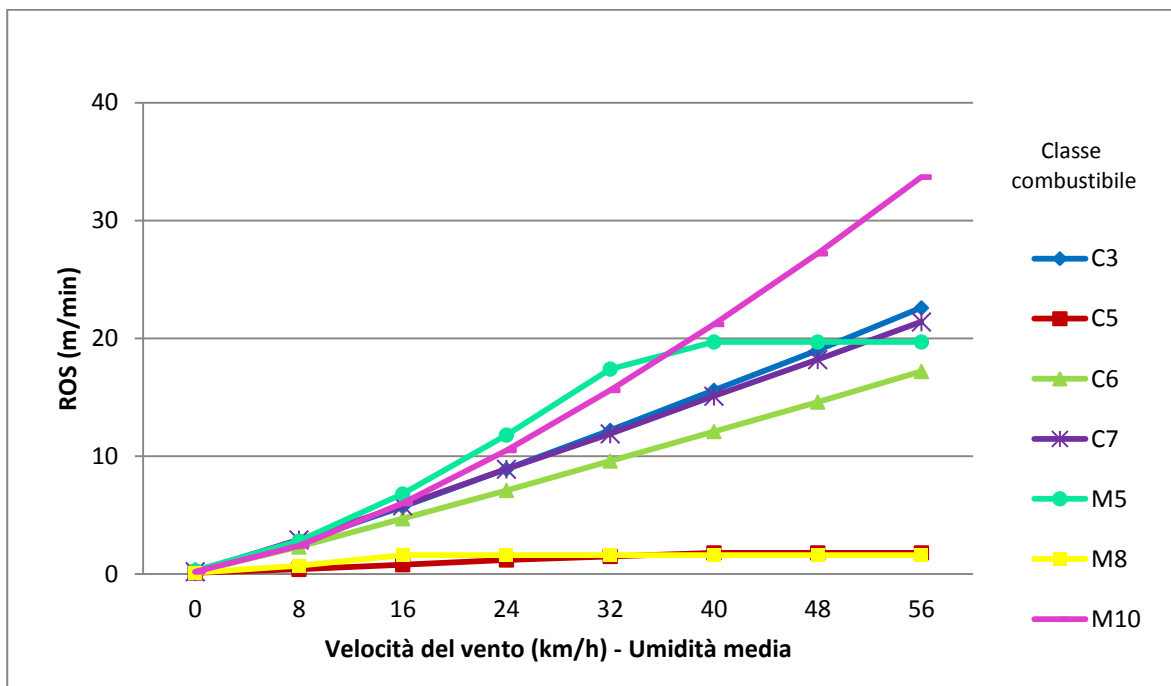
**Tabella 4.24** – Confronto fra i modelli di combustibile standard statunitensi e le classi di combustibile proposte in questo studio.

Come si può notare in Tabella 4.24, esistono delle effettive differenze tra i modelli di combustibile e le classi corrispondenti:

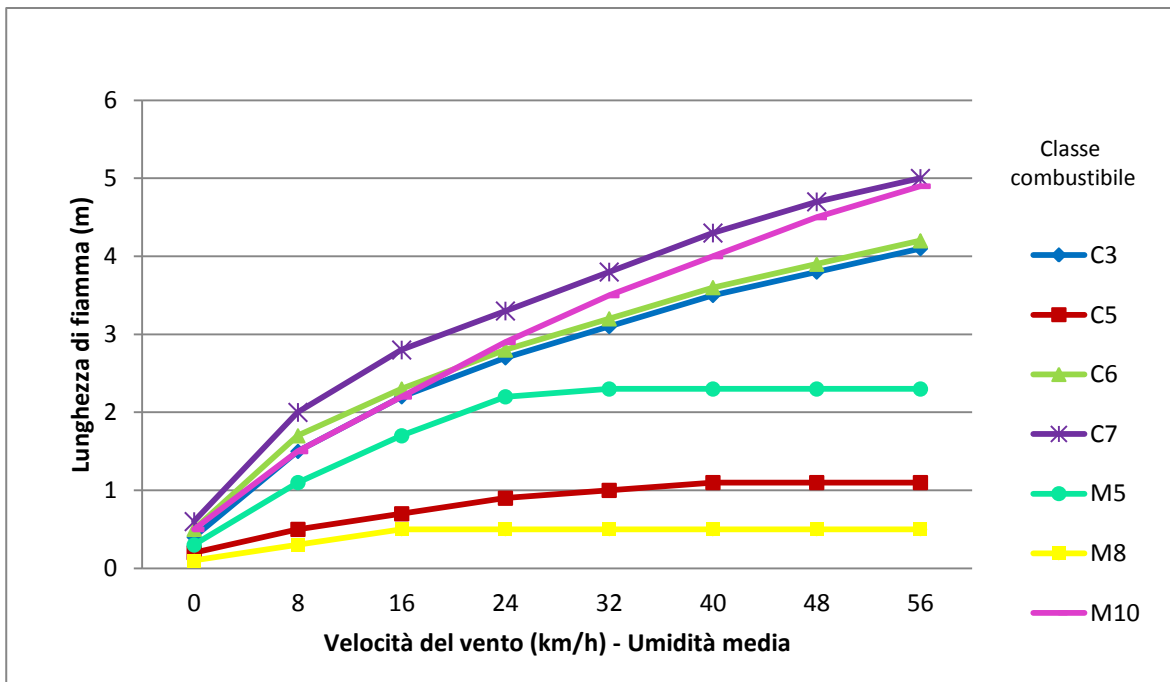
- la classe 3 si differenzia per l'aver un maggior carico di combustibili 10 h e vivi rispetto al modello 5;
- la classe 5 ha, in particolare, quantità di combustibili vivi e 10 h maggiori e carichi di 100 h inferiori rispetto al modello 8.

- le classi 6 e 7 risultano avere carichi di combustibile 1 e 100 h molto più bassi e un fuel bed maggiore rispetto al modello 10.

Nelle Figure 4.25 e 4.26 vengono mostrate le curve di comportamento del fronte di fiamma su terreno pianeggiante per ognuno dei modelli analizzati, relativamente alla velocità di propagazione e alla lunghezza di fiamma, all'aumentare della velocità del vento e in condizione di umidità media (v. Tabella 3.12). I valori sono stati ottenuti attraverso l'applicazione *Model to test* di FARSITE.



**Figura 4.25** – Confronto dei modelli di combustibile relativamente alla potenziale velocità di propagazione del fronte di fiamma (ROS) all'aumentare della velocità del vento (su terreno pianeggiante).



**Figura 4.26** – Confronto dei modelli di combustibile relativamente alla potenziale lunghezza di fiamma all’aumentare della velocità del vento (su terreno pianeggiante).

I risultati mostrano che il modello 5 determina un comportamento del fuoco differente rispetto alla classe 3 e alle altre classi di combustibile di questo studio: il tasso di propagazione e la lunghezza di fiamma che sarebbero favorite dall’altezza del fuel bed, vengono limitate dal basso carico di combustibili 1 h e 10 h; questo comportamento si può notare particolarmente in Figura 4.25.

Invece, il comportamento del fuoco previsto per il modello 8 e la classe 5 risulta simile: a causa dello strato di combustibile compatto e poco profondo, il tasso di propagazione e la lunghezza di fiamma appaiono molto bassi se comparati agli altri.

Le classi 6 e 7 e anche la classe 3, presentano un comportamento del fuoco paragonabile a quello del modello 10 se la condizione del vento risulta essere da assente a moderata (scala Beaufort). In Figura 4.25 si può notare infatti, come il tasso di propagazione del fronte di fiamma, determinato dal modello 10, aumenti più velocemente, rispetto alle tre classi, quando la velocità del vento diventa superiore a 24 km/h. Infatti il modello 10, pur caratterizzato da un elevato carico di combustibile 100 h (Tabella 4.24) e una minor profondità del fuel bed, i quali aumentano il grado di compattazione (Burgan, 1987), risulta molto sensibile all’incremento della velocità del vento per l’elevata quantità di combustibile 1 h. La differenza fra il modello 10 e le tre classi di combustibile appare meno evidente per quel che riguarda la lunghezza di fiamma (Figura 4.26) a causa della bassa altezza del fuel bed e dell’alto carico di combustibili 100 h che caratterizzano il modello standard.

In conclusione, si può ritenere che le classi di combustibile individuate nei Colli Euganei presentino caratteristiche paragonabili a quelle dei modelli di combustibile statunitensi; al contempo però, i comportamenti del fuoco che esse determinano, seppur simili a quelli dei modelli, possono essere considerati distinti.

## 4.4 Casi di studio

### 4.4.1 Monte Grande 2003

L'incendio avvenuto sul Monte Grande si è sviluppato durante la notte tra il 15 e il 16 agosto 2003. L'impossibilità di intervenire efficacemente nello spegnimento, ha fatto in modo che il fuoco si evolvesse incontrollato fino alle prime ore del mattino: l'inizio dell'intervento da terra è avvenuto a partire dalle 5.30, mentre il primo elicottero è arrivato intorno alle 7.00. Tenendo conto di questo, il caso studio del Monte Grande può essere considerato un buon sito di prova per valutare la previsione del comportamento del fuoco ottenuto attraverso FARSITE. Per questi motivi, si è deciso di far durare le simulazioni dalle 21.00 (orario di innesco) del 15 agosto alle 7.00 del giorno successivo, momento in cui l'azione di spegnimento ha cominciato ad essere più intensa, grazie soprattutto all'intervento dei mezzi aerei. Tuttavia, per capire l'importanza dell'opera di estinzione nel determinare il perimetro finale dell'incendio, è stata condotta una ulteriore simulazione, supponendo la libera evoluzione del fuoco fino alle 17.00 (orario ufficiale di fine del fuoco). Nelle simulazioni in FARSITE, per i parametri di input del combustibile sono stati utilizzati: la classe di combustibile 6 sia con valori medi che con valori mediani, il modello 10 e i dati del punto di campionamento C61 (Tabella 4.25).

Input di combustibile	Carico combustibili morti (Mg/ha)	Carico combustibili vivi (Mg/ha)	Fuel bed (cm)
-----------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---------------

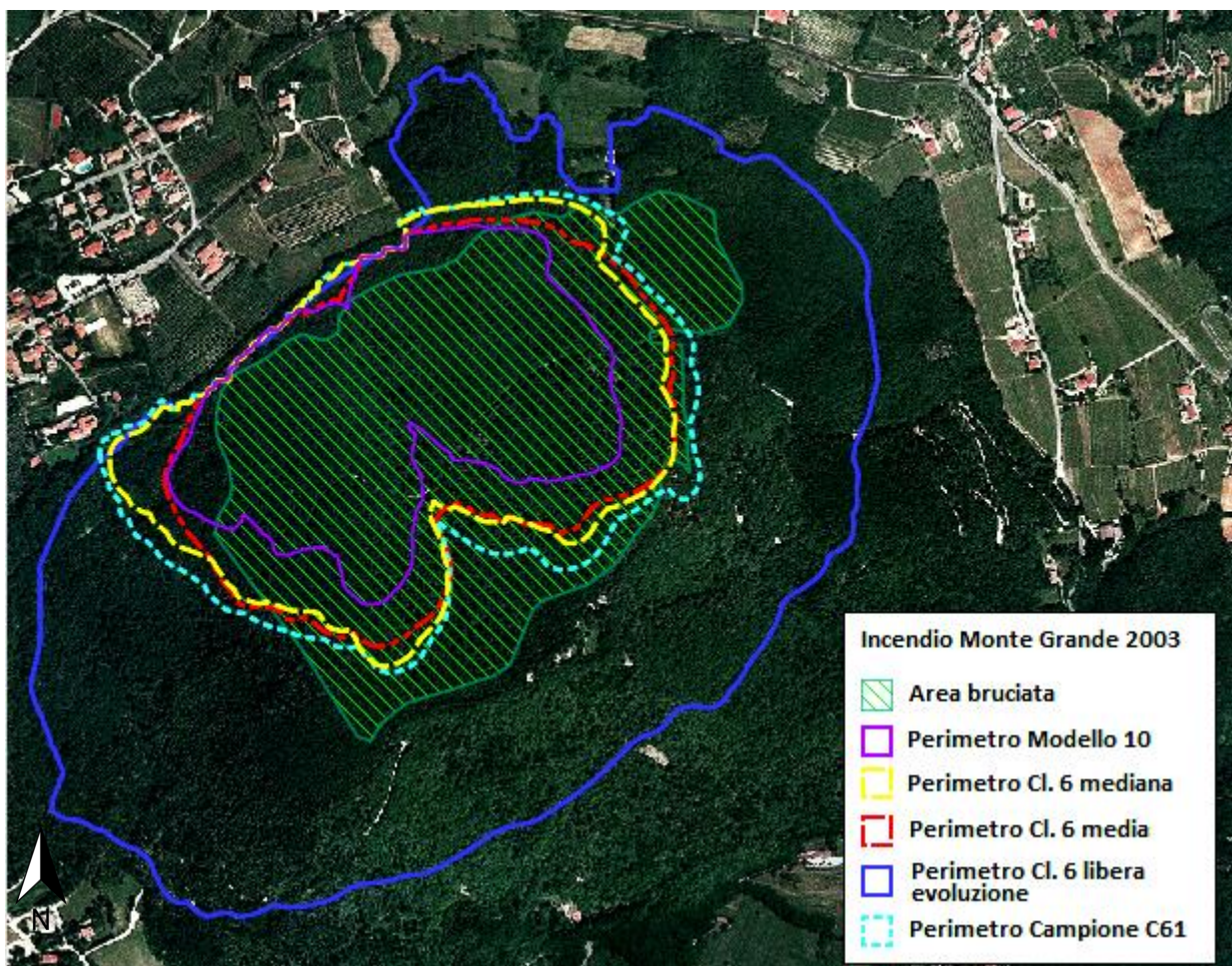


	1 h	10 h	100 h	Erba viva	Arbusti	
Modello 10	6,75	4,48	11,23	0,00	0,85	25,00
Classe 6 mediana	4,53	4,3	1,33	0,02	3,37	37,00
Classe 6 media	4,91	5,6	3,68	0,07	4,63	40,00
Campione C61	5,16	1,61	0,21	0,00	0,85	32,00

**Tabella 4.25** – Variabili di input di combustibile utilizzati nelle differenti simulazioni.

In questo caso di studio si è assunto che l'umidità di estinzione fosse pari al 30% anziché 25%: il software FARSITE infatti, valutando l'esposizione nord del versante e la maggiore umidità relativa nelle ore notturne, avrebbe simulato un incendio con tassi di propagazione e lunghezza di fiamma inferiori rispetto alla realtà.

In Figura 4.27 vengono mostrati i risultati della simulazione per quanto riguarda i perimetri derivanti dalle simulazioni, relativamente al modello 10, alla classe 6 mediana e media (con termine alle 7.00 e alle 17.00) e al campione C61.



**Figura 4.27** – Confronto tra l'area bruciata e i perimetri derivanti dalle simulazioni attraverso FARSITE per l'incendio sul Monte Grande. Riproduzione su immagine satellitare (Scala 1:10.000).



Come si nota in Figura 4.27, le aree ottenute attraverso FARSITE presentano un minore sviluppo del fuoco verso monte rispetto al perimetro finale dell'incendio, a causa dell'interruzione delle simulazioni alle ore 7.00. Tuttavia è già possibile rilevare l'effetto dell'intervento di spegnimento nel condizionare l'avanzamento delle fiamme: nella parte bassa del versante l'area simulata risulta infatti sovrastimata poiché le forze antincendio si concentrarono inizialmente a protezione dell'abitato di Rovolon posto a soli 300 metri più a valle dell'area interessata dal fuoco (v. Figura 3.20). Al contrario, il perimetro della simulazione con termine alle ore 17.00 risulta eccessivamente sovrastimato, non tenendo conto dell'opera di estinzione del fuoco.

La stima della concordanza (*agreement*) tra l'area dell'incendio reale e le aree simulate con FARSITE viene riportata in Tabella 4.26.

Input combustibile	K di Cohen	Errore standard	Valutazione concordanza	S di Sørensen	a	b	c
Modello 10	0,547	0,009	moderata	0,631	1587	219	1640
Classe 6 mediana	0,709	0,007	buona	0,779	2364	477	863
Classe 6 media	0,732	0,007	buona	0,794	2319	297	908
Classe 6 (libera evoluzione)	0,300	0,005	sufficiente	0,559	3227	5097	0
Campione C61	0,740	0,007	buona	0,807	2607	628	620

**Tabella 4.26** – Valutazione statistica dei risultati di FARSITE relativi al perimetro finale dell'incendio sul Monte Grande. Le lettere si riferiscono al numero di punti stimati correttamente ed erroneamente: a= concordanza di area bruciata; b= zona sovrastimata; c= zona sottostimata.

Attraverso il K di Cohen è stato misurato l'accordo globale tra le aree bruciate e non bruciate nella simulazione e nella realtà; invece attraverso il coefficiente di Sørensen è stata valutata l'esclusiva associazione tra le aree bruciate (effettiva e simulate). I coefficienti di analisi mostrano risultati positivi sia per il modello 10 sia per entrambe le classi 6. Come ci si attendeva, la migliore performance di simulazione è stata ottenuta utilizzando i dati del campione C61, grazie alla maggior precisione nel descrivere le caratteristiche del combustibile presente nella zona; tuttavia è stato conseguito un risultato molto simile (buona concordanza) anche con le classi 6. Rispetto a queste ultime, invece, l'applicazione del modello standard fornisce una sottostima dell'area percorsa dal fuoco: il maggior carico di combustibile 1 h (Tabella 4.25) rende il modello 10 più sensibile alle variazioni di umidità atmosferica; di conseguenza, poiché l'umidità aumenta durante la notte, la velocità di propagazione, e quindi anche la superficie bruciata, risultano minori.

La scelta di non far coincidere l'orario di spegnimento effettivo dell'incendio con la fine della simulazione appare confermata dalla bassa concordanza ottenuta nella prova con tale impostazione. L'ampia sovrastima della superficie bruciata convalida indirettamente i risultati precedenti, dimostrando quanto gli interventi di spegnimento abbiano inciso sulla propagazione delle fiamme. Di seguito, vengono riportati i valori degli output forniti da FARSITE, relativi alla velocità di propagazione, alla lunghezza di fiamma e all'intensità lineare del fronte di fiamma (Tabella 4.27).

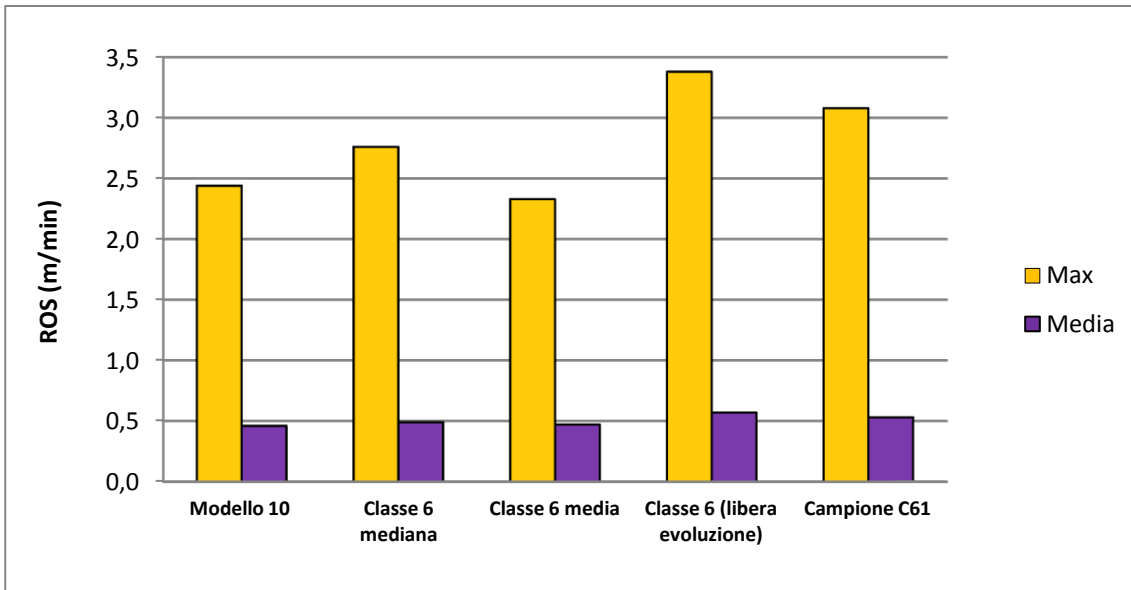
Input M. Grande	Velocità di propagazione (m/min)				Lunghezza di fiamma (m)				Intensità fronte di fiamma (kW/m)			
	Min	Max	Media	Var	Min	Max	Media	Var	Min	Max	Media	Var
Modello 10	0,04	2,44	0,46	0,19	0,10	1,64	0,46	0,10	1,63	481,80	70,54	7708,79
Classe 6 mediana	0,04	2,76	0,49	0,18	0,14	2,03	0,58	0,11	2,80	685,56	101,76	11308,30
Classe 6 media	0,04	2,33	0,47	0,14	0,12	2,16	0,62	0,13	2,60	729,96	112,00	14421,88
Classe 6 (libera evoluzione)	0,04	3,38	0,57	0,12	0,12	3,05	0,88	0,12	2,60	1223,46	193,11	15274,53
Campione C61	0,05	3,08	0,53	0,33	0,12	1,81	0,50	0,10	3,15	538,59	70,21	8600,42

**Tabella 4.27** – Risultati della simulazione del comportamento del fuoco in FARSITE. Per ogni output si riportano i seguenti valori: Min= minimo; Max= massimo; Media; Var= varianza.

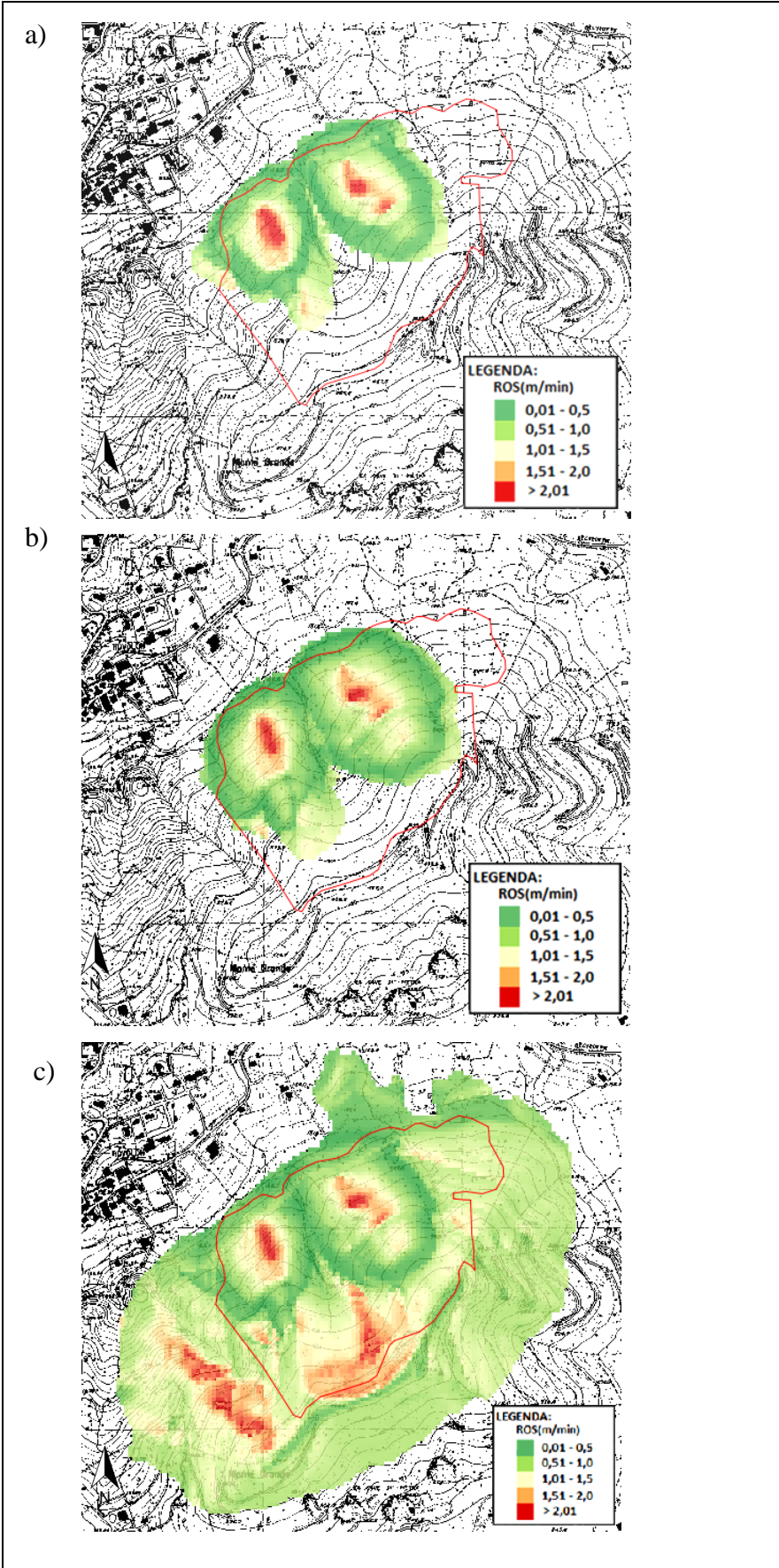
Negli output riportati si può notare in particolare che le classi 6 mediana e media non presentano rilevanti differenze; inoltre i relativi valori medi di comportamento del fuoco appaiono superiori rispetto al modello 10 standard.

In ognuna delle simulazioni effettuate le velocità medie di propagazione del fronte di fiamma appaiono simili e risultano inferiori a 0,6 m/min, valore che, secondo la classificazione in Tabella 3.10 viene considerato basso. Le prestazioni ottenute con i diversi input di combustibile differiscono invece per quanto riguarda la velocità massima (Figura 4.28) che varia da 2,33 m/min (classe 6 media) a 3,08 m/min (campione C61). Inoltre, negli esempi riportati in Figura 4.29 è possibile notare una diversa distribuzione della velocità di propagazione del fuoco: l'utilizzo del modello 10 comporta una velocità media minore con un valore massimo maggiore rispetto alla classe 6 media (Tabella 4.27).

Nel caso della simulazione con durata prolungata, i valori di velocità aumentano fino ad un massimo di 3,38 m/min (Tabella 4.27). In Figura 4.29c si può notare che le velocità più elevate siano raggiunte in corrispondenza dei cambi di pendenza del versante. Bisogna ricordare che il maggior tasso di propagazione ottenuto in questa simulazione è dovuto principalmente all'effetto della minor umidità dell'aria nelle ore diurne. Perciò si può ipotizzare che la possibilità di intervenire sull'incendio in condizioni di bassa umidità abbia permesso di limitare l'avanzamento del fuoco con maggiore efficacia.

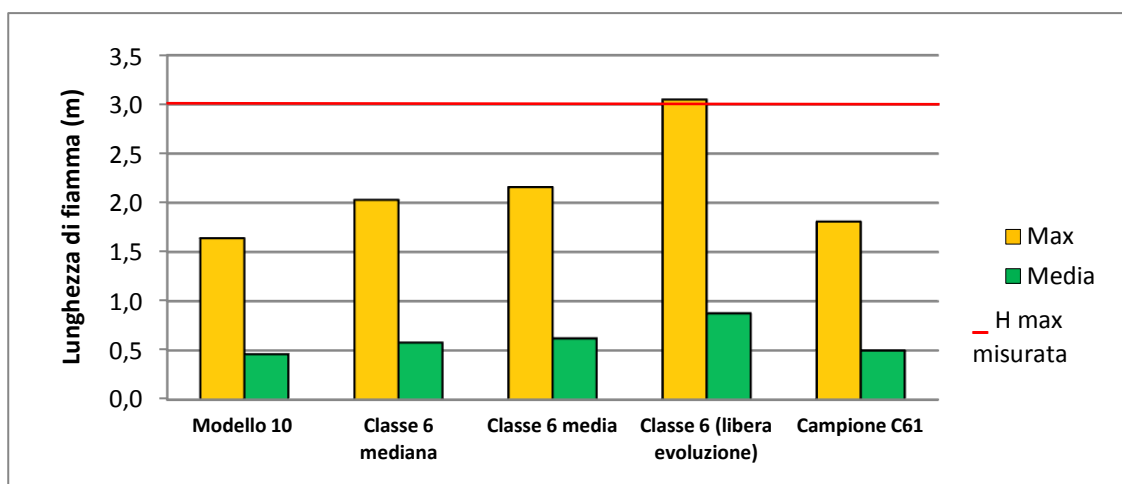


**Figura 4.28** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'incendio sul Monte Grande, relativi alla velocità di propagazione del fronte di fiamma.



**Figura 4.29** – Esempi delle simulazioni della velocità di avanzamento del fuoco nell’incendio del Monte Grande (2003), rispettivamente con il modello di combustibile 10 (a) e la classe 6 media con interruzione alle 7.00 (b) e alle 17.00 (c); scala 1:20.000.

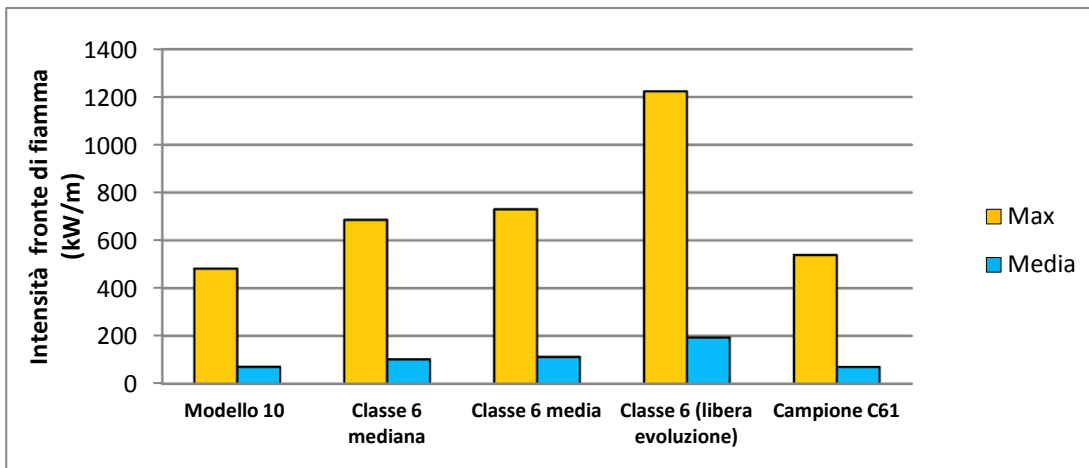
I risultati delle simulazioni si diversificano maggiormente se si considera la lunghezza di fiamma (Figura 4.30): i valori medio e massimo ottenuti con l’utilizzo delle classi 6 appaiono superiori per la maggiore profondità del fuel bed rispetto al modello di combustibile 10 e al campione C61.



**Figura 4.30** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell’incendio sul Monte Grande, relativi alla lunghezza di fiamma.

Secondo le schede del Servizio Forestale Regionale, durante l’incendio è stata registrata un’altezza massima delle fiamme pari a 3 metri. Tenendo in considerazione la pendenza del versante (50%), i valori forniti da FARSITE sembrano sottovalutare la reale lunghezza delle fiamme. Tuttavia, il valore massimo di 3,05 m ottenuto con la simulazione prolungata, fa supporre una buona corrispondenza tra la classe 6 e il tipo di combustibile presente nell’area bruciata; si ritiene infatti che i valori massimi siano stati rilevati nelle ore diurne del 16 agosto.

Per quanto riguarda l’intensità lineare del fuoco, i valori medi previsti dalle simulazioni non risultano elevati (Figura 4.31), perciò sono ascrivibili alla classe di gravità bassa (v. Tabella 3.11). Anche per questo parametro l’utilizzo delle classi 6 determina valori maggiori rispetto al modello 10 e al campione C61.



**Figura 4.31** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'incendio sul Monte Grande, relativi all'intensità lineare del fronte di fiamma.

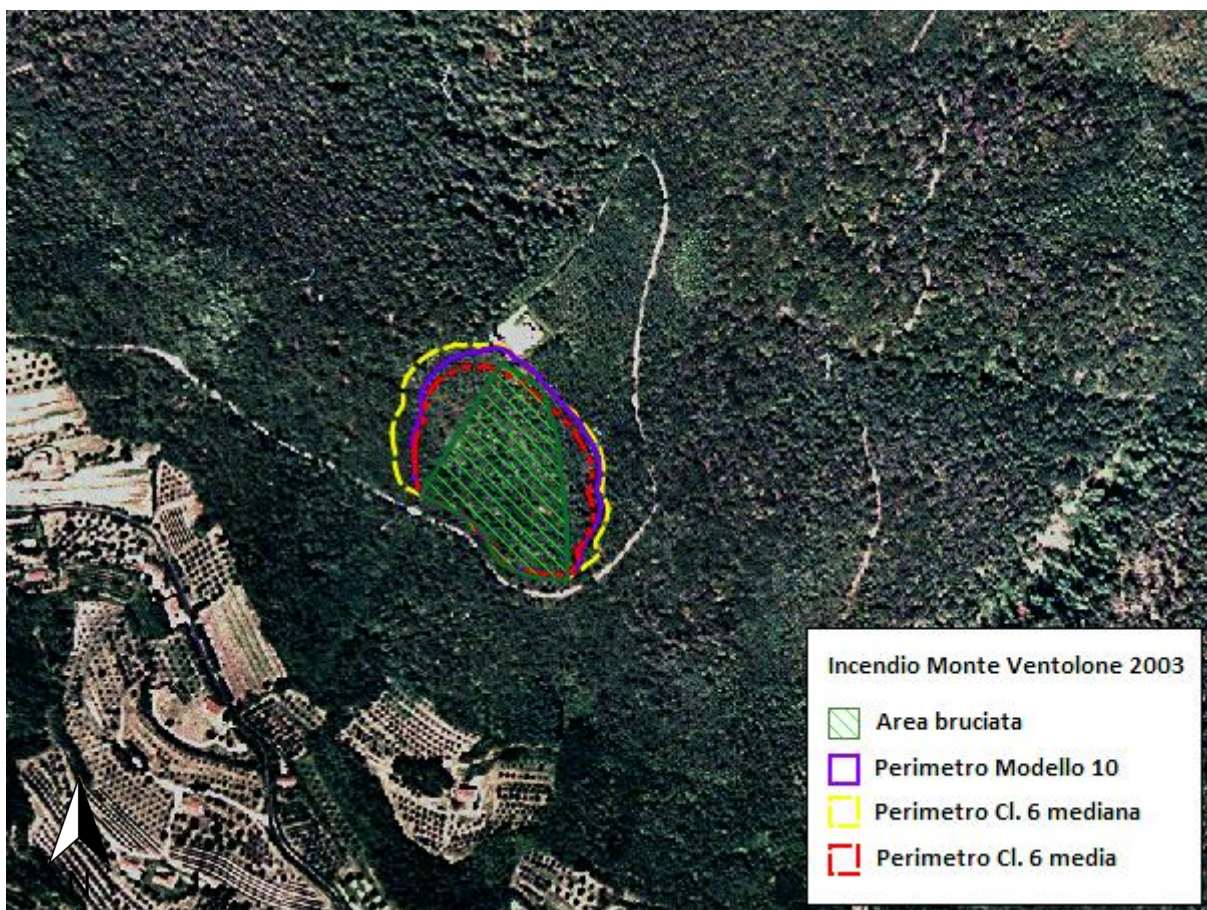
#### 4.4.2 Monte Ventolone 2003

L'incendio avvenuto sul Monte Ventolone il 9 agosto 2003 ha interessato un'area complessiva di 1,5 ettari; la superficie bruciata è risultata molto più piccola rispetto all'incendio precedentemente analizzato, ma appare in linea con la media degli incendi nei Colli Euganei degli ultimi vent'anni (v. Tabella 3.2). Diversamente dal caso precedente inoltre, le fiamme si sono sviluppate durante le ore diurne, perciò in condizioni differenti: l'umidità relativa dell'aria registrata dalla stazione meteorologica di Este al momento dell'innescò (ore 15.30) è stata del 20%. L'azione antincendio è stata condotta in modo efficace portando allo spegnimento del fuoco alle 22.30 dello stesso giorno.

In FARSITE sono stati assegnati, come dati di input, il modello di combustibile 10 standard, la classe 6 mediana e la classe 6 media (v. Tabella 4.25); l'umidità di estinzione è stata impostata al 25%. Per tenere in considerazione l'influenza degli interventi di spegnimento si è stabilito di far durare l'incendio simulato fino alle 17.30 (due ore). Inoltre la strada asfaltata che conduce sulla cima del monte è stata definita come barriera (v. Figura 3.17).

In Figura 4.32 viene mostrata l'area effettiva dell'incendio e i perimetri risultanti dalle simulazioni.





**Figura 4.32** – Confronto tra l'area bruciata e i perimetri derivanti dalle simulazioni attraverso FARSITE per l'incendio sul M. Ventolone. Riproduzione su immagine satellitare (Scala 1:5.000).

In Tabella 4.28 si riportano i parametri statistici relativi alle simulazioni condotte con il modello di combustibile 10 e le classi 6 mediana e media.

Input combustibile	K di Cohen	Errore standard	Valutazione concordanza	S di Sørensen	a	b	c
Modello 10	0,766	0,031	buona	0,770	87	52	0
Classe 6 mediana	0,685	0,034	buona	0,690	87	78	0
Classe 6 media	0,818	0,029	molto buona	0,821	87	38	0

**Tabella 4.28** – Valutazione statistica dei risultati di FARSITE relativi al perimetro finale dell'incendio avvenuto sul Monte Ventolone nel 2003. Le lettere si riferiscono al numero di punti stimati correttamente ed erroneamente: a= concordanza di area bruciata; b= zona sovrastimata; c= zona sottostimata.

La comparazione tra i tre modelli di combustibile mostra che le migliori prestazioni sono state ottenute utilizzando la classe 6 media, considerati gli alti valori degli indici di concordanza. L'applicazione del modello standard ha portato a una sovrastima dell'area bruciata rispetto alla classe 6 media a causa del maggior carico di combustibile 1 h che, disidratandosi rapidamente con

basse percentuali di umidità relativa, aumenta la velocità di propagazione del fronte di fiamma; invece la differenza di prestazioni tra la classe 6 media e la classe 6 mediana è data soprattutto dal diverso contenuto di combustibili 10 h (v. Tabella 4.25).

Le simulazioni hanno previsto un comportamento delle fiamme simile alla realtà assumendo la stessa direzione e ricoprendo la stessa area dell'incendio (Figura 4.32). Tuttavia, nella valutazione dei risultati bisogna tener conto di due fattori. In primo luogo si ritiene che la sovrastima di superficie, rispetto all'area realmente bruciata, non sia trascurabile perché questo risultato viene pervenuto prima dello spegnimento effettivo del fuoco. In secondo luogo, durante l'incendio l'intervento di spegnimento si concentrò nella protezione dell'impianto radiotelevisivo (posto sulla cima del monte) e della linea elettrica che attraversa il versante Sud-Ovest; nel perimetro dell'area bruciata in Figura 4.32 si possono notare facilmente queste linee di difesa. Da ciò si comprende che l'efficacia dell'intervento umano ha condizionato inevitabilmente lo sviluppo del fronte di fiamma. Complessivamente quindi, i risultati delle simulazioni possono essere valutati in modo positivo, pur portando ad una sovrastima dell'area percorsa dal fuoco; la classe di combustibile 6 media, prevedendo una superficie bruciata più piccola, ha fornito la performance migliore.

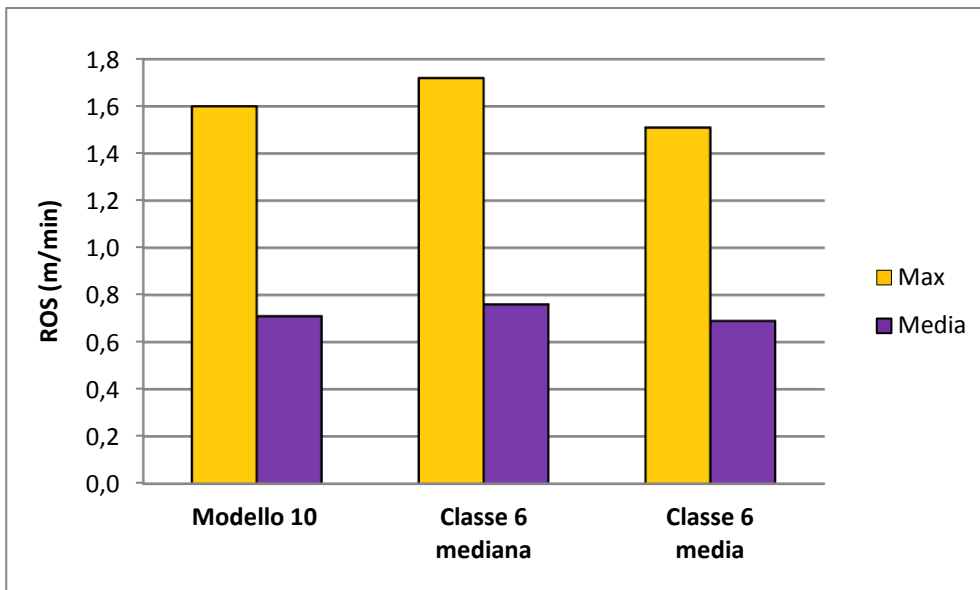
Per quanto riguarda gli altri parametri di comportamento del fuoco forniti da FARSITE, si riportano i risultati in Tabella 4.29.

Input M. Ventolone	Velocità di propagazione (m/min)				Lunghezza di fiamma (m)				Intensità fronte di fiamma (kW/m)			
	Min	Max	Media	Var	Min	Max	Media	Var	Min	Max	Media	Var
Modello 10	0,30	1,60	0,71	0,10	0,55	1,41	0,83	0,04	70,65	385,17	167,78	5644,57
Classe 6 mediana	0,34	1,72	0,76	0,10	0,63	1,65	0,95	0,06	95,63	486,40	214,71	7677,40
Classe 6 media	0,33	1,51	0,69	0,08	0,67	1,71	1,01	0,07	110,00	516,04	235,77	9805,48

**Tabella 4.29** – Risultati della simulazione del comportamento del fuoco in FARSITE. Per ogni output si riportano i seguenti valori: Min= minimo; Max= massimo; Media; Var= varianza.

La velocità media di propagazione del fronte di fiamma simulata in FARSITE per l'incendio del Monte Ventolone appare simile se si forniscono come input le classi 6 o il modello 10 (Figura 4.33); per la classe 6 media i valori risultano appena inferiori. I valori massimi di velocità di propagazione sono: 1,72 m/min per la classe 6 mediana, 1,60 m/min per il modello 10 e 1,51 m/min per la classe 6 media; secondo la classificazione, proposta in Tabella 3.10, tassi di avanzamento del fronte di fiamma inferiori a 2 m/min sono da considerarsi lenti.

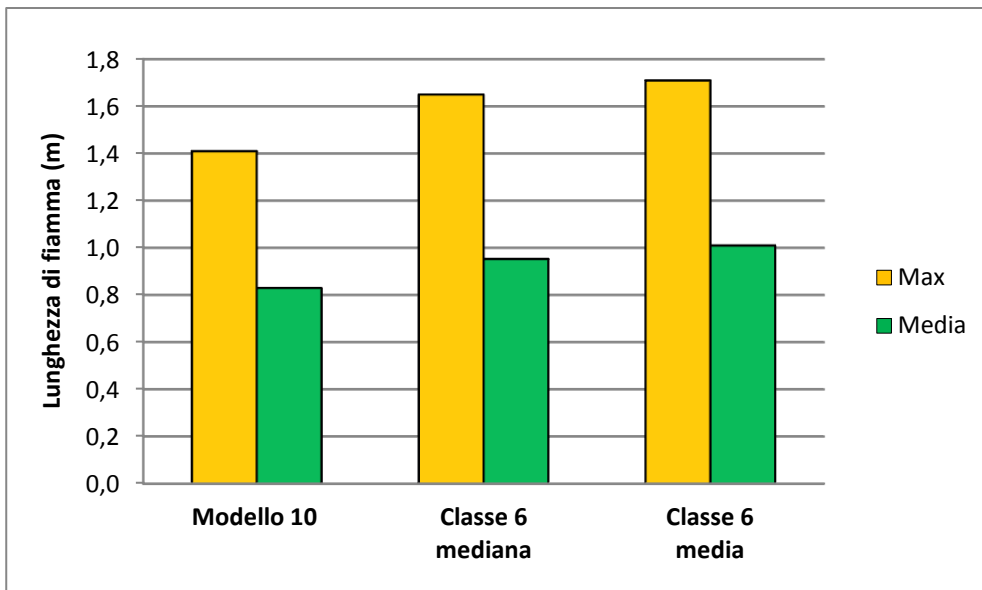




**Figura 4.33** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'incendio sul Monte Ventolone, relativi alla velocità di propagazione del fronte di fiamma.

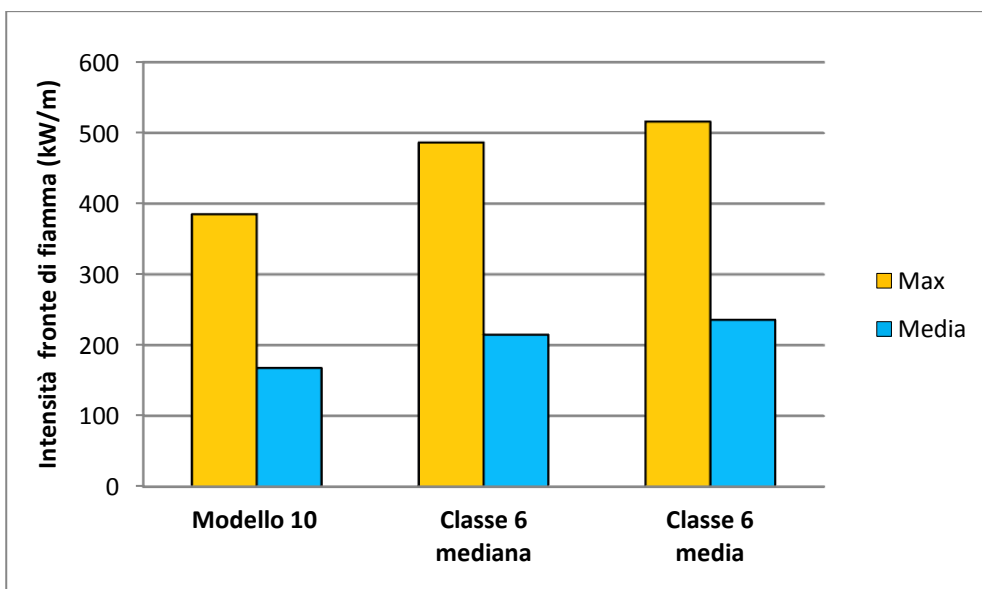
Valutando la lunghezza e l'intensità del fronte di fiamma, si rilevano valori maggiori con l'applicazione in FARSITE delle classi di combustibile 6 rispetto al modello 10 (Tabella 4.29). I due parametri sono direttamente collegati secondo l'equazione [3.10] (Byram, 1959); la maggiore altezza del fuel bed ed il minor carico di combustibile riducono la compattezza dello strato di combustibile facendo sì che esso bruci con fiamme più alte e quindi con maggiore intensità.

Per questo incendio non era disponibile il dato relativo all'altezza massima raggiunta dalle fiamme, tuttavia nella scheda del Servizio Forestale Regionale viene indicata una propagazione di tipo radente; ciò fa presupporre una ridotta lunghezza di fiamma. Effettivamente i risultati riportano valori caratteristici di un incendio superficiale con massimi inferiori ad 1,8 m e valori medi di 1,01 m per la classe 6 media, di 0,95 m per la classe 6 mediana e di 0,83 m per il modello 10. Anche per questo parametro si ritiene che le differenze fra le tre simulazioni siano poco rilevanti (Figura 4.34).



**Figura 4.34** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'incendio sul Monte Ventolone, relativi alla lunghezza di fiamma.

Riguardo all'intensità lineare del fronte di fiamma i valori che risultano dalle simulazioni appaiono paragonabili a quelli di un incendio radente di bassa intensità (Alexander, 1982), con media pari a 235,77 kW/m per la classe 6 media, 214,71 kW/m per la classe 6 mediana e a 167,78 kW/m per il modello 10 (Figura 4.35); la gravità è perciò classificabile come bassa (v. Tabella 3.11).



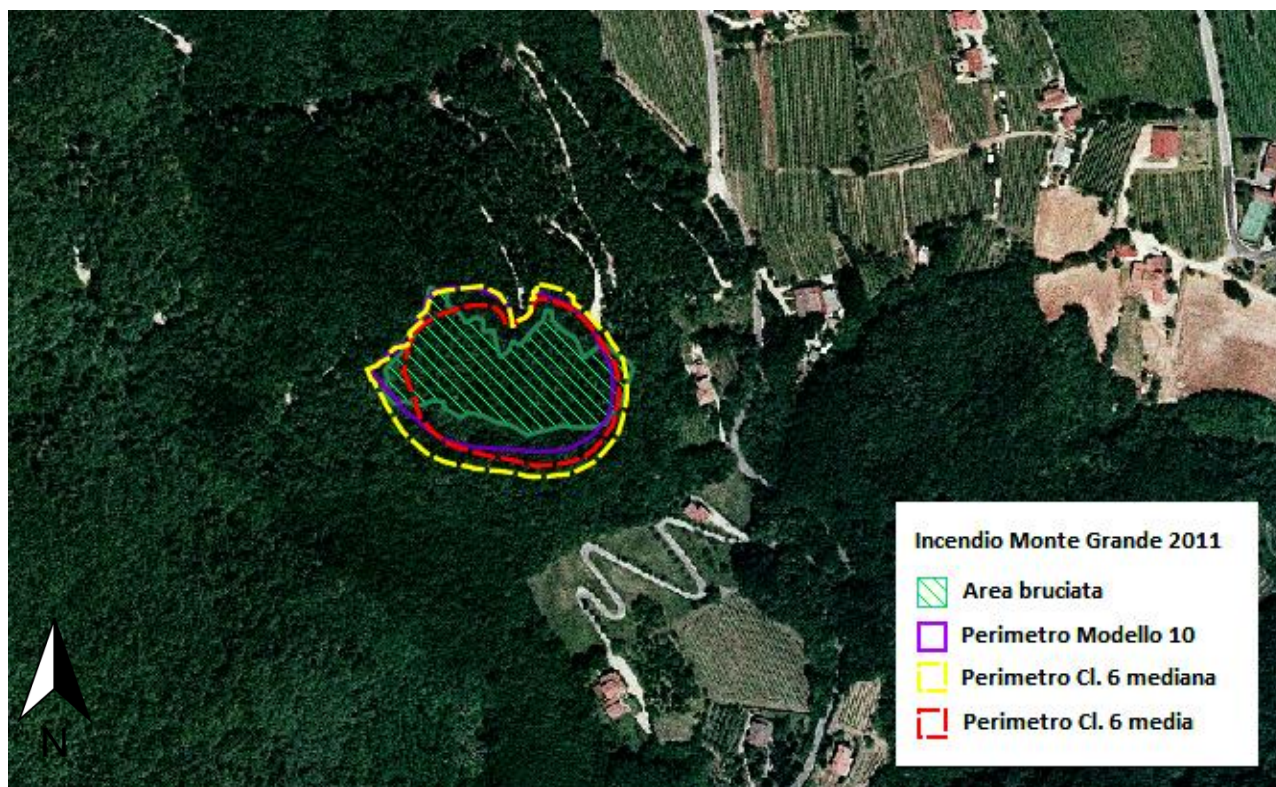
**Figura 4.35** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'incendio sul Monte Ventolone, relativi all'intensità lineare del fronte di fiamma.

#### 4.4.3 Monte Grande 2011

Il rogo verificatosi il 10 luglio 2011 sul versante est del Monte Grande, ha bruciato una superficie complessiva di 0,97 ettari. Si è trattato perciò di un incendio di piccole dimensioni, posto sotto

controllo dalle forze antincendio nell'arco di poche ore. L'innesco è avvenuto alle ore 11.00 circa, lo spegnimento definitivo alle ore 18.00.

In FARSITE sono stati assegnati, come dati di input, entrambe le classi di combustibile 6 (mediana e media) e il modello 10. Si è stabilito di far durare l'incendio simulato dalle 11.00 alle 13.00, momento in cui è stato possibile effettuare il primo intervento con l'elicottero. La strada forestale che sale da via Bettone fino in cima al monte è stata definita come barriera. In Figura 4.36 viene mostrata l'area effettiva dell'incendio e i perimetri risultanti dalle simulazioni.



**Figura 4.36** – Confronto tra l'area bruciata e i perimetri derivanti dalle simulazioni attraverso FARSITE per l'incendio sul Monte Grande. Riproduzione su immagine satellitare (Scala 1:5.000).

Si può notare che le simulazioni hanno previsto in modo sostanzialmente corretto la direzione di propagazione delle fiamme (Figura 4.36). Inoltre i risultati relativi ai perimetri finali dell'incendio, previsti nelle tre simulazioni, sono paragonabili a quelli osservati nel caso di studio precedente, a parità di durata (cfr. Figura 4.32).

In Tabella 4.30 si riportano i parametri statistici relativi alle simulazioni condotte con il modello di combustibile 10 e le classi 6 mediana e media.

Input combustibile	K di Cohen	Errore standard	Valutazione concordanza	S di Sørensen	a	b	c
Modello 10	0,774	0,043	buona	0,776	45	23	3

Classe 6 mediana	0,693	0,045	buona	0,696	48	42	0
Classe 6 media	0,761	0,044	buona	0,763	45	25	3

**Tabella 4.30** – Valutazione dei risultati di FARSITE relativi al perimetro finale dell'incendio avvenuto sul Monte Grande nel 2011. Le lettere si riferiscono al numero di punti stimati: a= concordanza di area bruciata; b= zona sovrastimata; c= zona sottostimata.

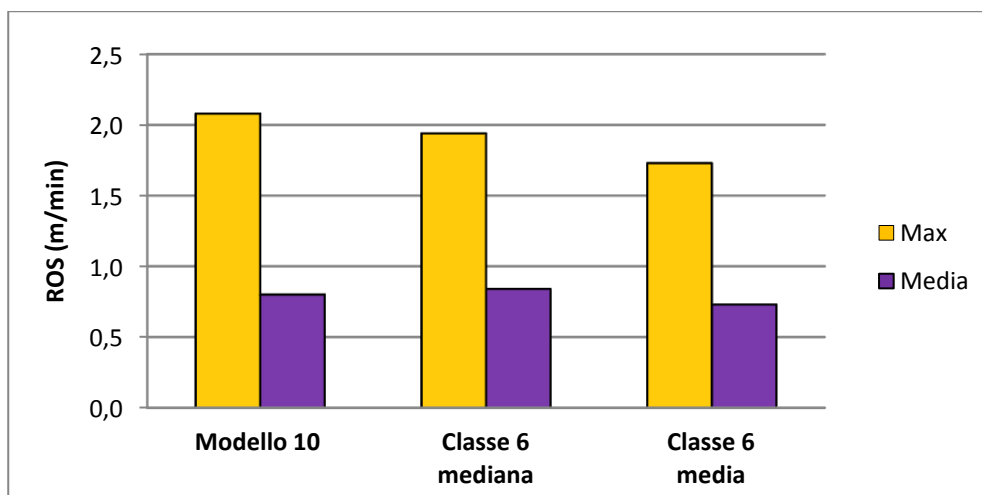
Sebbene le simulazioni forniscano una buona valutazione di concordanza, si ritiene che, soprattutto con l'utilizzo del modello 10 e della classe 6 mediana, venga sovrastimata eccessivamente l'area bruciata (Figura 4.36), dato che tali risultati sono stati ottenuti prima dello spegnimento effettivo dell'incendio. Per tale motivo si considera migliore la previsione conseguita con la classe 6 media.

Di seguito, vengono presentati i valori degli output forniti da FARSITE, relativi alla velocità di propagazione, alla lunghezza di fiamma e all'intensità lineare del fronte di fiamma (Tabella 4.31).

Input	Velocità di propagazione (m/min)				Lunghezza di fiamma (m)				Intensità fronte di fiamma (kW/m)			
	Min	Max	Media	Var	Min	Max	Media	Var	Min	Max	Media	Var
Monte Grande												
Modello 10	0,23	2,08	0,80	0,20	0,46	1,56	0,83	0,07	48,81	446,45	171,73	9383,54
Classe 6 mediana	0,31	1,94	0,84	0,17	0,58	1,67	0,96	0,08	78,58	509,67	215,82	12446,44
Classe 6 media	0,27	1,73	0,73	0,13	0,61	1,83	1,03	0,10	87,68	562,74	242,66	14663,01

**Tabella 4.31** – Risultati della simulazione del comportamento del fuoco in FARSITE. Per ogni output si riportano i seguenti valori: Min= minimo; Max= massimo; Media; Var= varianza.

Inoltre in Figura 4.37 vengono confrontati i risultati delle tre simulazioni relativamente al ROS.

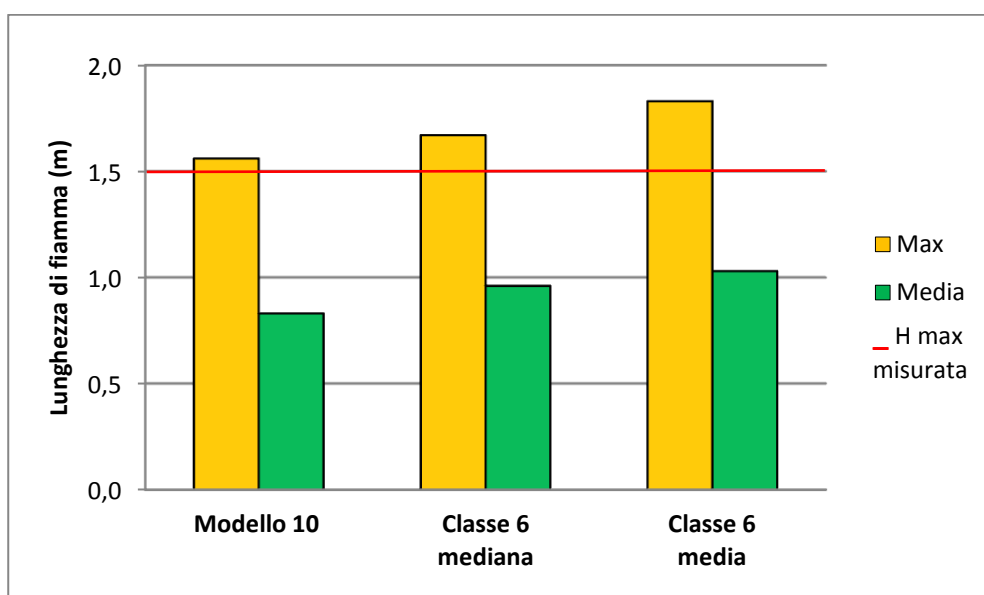


**Figura 4.37** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'evento sul Monte Grande, relativi alla velocità di propagazione del fronte di fiamma.

In Figura 4.37 si può osservare come le velocità medie di avanzamento del fuoco ottenute nelle tre simulazioni siano simili; inoltre l'utilizzo della classe 6 mediana comporta una velocità di

propagazione di poco superiore rispetto al modello 10 e alla classe 6 media. I tassi di propagazione previsti non raggiungono comunque velocità elevate (v. Tabella 3.10).

Nella scheda del Servizio Forestale Regionale viene riportata un'altezza delle fiamme pari a 1,5 m ed anche un'altezza media di scottatura sul tronco degli alberi di 0,8 m. Considerando quanto riportato in Figura 4.38, appare quindi che le simulazioni non si discostino molto dai valori reali. Inoltre, tenendo conto della riduzione dell'altezza delle fiamme dovuta all'elevata pendenza del versante (superiore al 50%), si ritiene che i risultati relativi alla lunghezza di fiamma ottenuti applicando la classe 6 media siano da considerarsi migliori (media: 1,03; massima: 1,83).

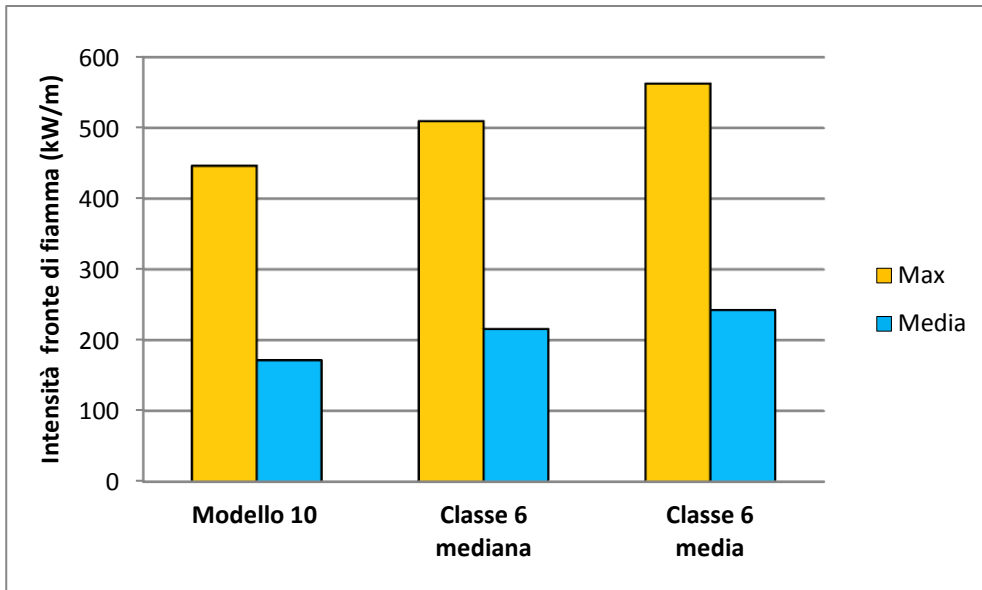


**Figura 4.38** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'evento sul Monte Grande, relativi alla lunghezza di fiamma.

In base ai valori di lunghezza di fiamma e a quelli dell'intensità lineare del fronte di fiamma, le simulazioni in FARSITE suggeriscono una propagazione del fuoco di tipo radente e di bassa intensità (Alexander, 1982), confermando quanto riportato nella scheda descrittiva dell'incendio.

Per entrambi questi parametri i risultati, ottenuti con l'utilizzo del modello 10, appaiono minori rispetto alle classi di combustibile 6 proposte in questo studio.

Per il modello 10 sono stati simulati valori di intensità delle fiamme compresi tra 48,81 e 446,45 kW/m, con media di 171,71 kW/m; per le classe 6 mediana i valori variano tra 78,58 e 509,67, con media di 215,82; infine per la classe 6 media si sono ottenuti i valori maggiori, compresi tra 87,68 e 562,74 kW/m, con media di 242,66 kW/m (Figura 4.39). Anche in questo caso dunque, la gravità è classificabile come bassa (v. Tabella 3.11).



**Figura 4.39** – Confronto fra i risultati delle simulazioni dell'evento sul Monte Grande, relativi all'intensità lineare del fronte di fiamma.

Nei tre casi di studio le migliori performance di simulazione in FARSITE sono state ottenute mediante la classe di combustibile 6 media rispetto alla classe 6 mediana e soprattutto al modello 10 standard. In generale, per la simulazione con la classe 6 media risulta che la velocità del fuoco sia minore, mentre la lunghezza e l'intensità di fiamma siano maggiori se confrontate con quelle ottenute mediante il modello 10. Complessivamente si ritiene che entrambe le classi di combustibile 6 abbiano una maggiore efficacia predittiva del comportamento del fuoco nel territorio euganeo rispetto al modello 10 standard, poiché specificatamente sviluppate per ricostruire le condizioni vegetazionali locali.

## 5. CONCLUSIONI

La gestione degli incendi boschivi richiede una conoscenza approfondita dei parametri che li contraddistinguono, finalizzata a ridurre la pericolosità e gli effetti, e massimizzare l'efficienza dell'attività di spegnimento. In questo studio si è voluto evidenziare, in special modo, il ruolo fondamentale dei combustibili nel determinare le modalità di propagazione del fuoco. Negli ultimi anni la quantificazione dei parametri caratteristici del combustibile forestale ha assunto infatti particolare rilevanza nel contesto della previsione del comportamento atteso del fronte di fiamma in un determinato ambito territoriale (Bovio *et al.*, 2014). Negli Stati Uniti e in alcuni paesi europei, la stima del carico di combustibile e la definizione di classi di combustibile sono questioni a cui viene data notevole importanza, al fine di migliorare l'efficacia di prevenzione e le strategie di gestione degli incendi boschivi (Bacciu, 2009). Tuttavia in Italia la descrizione e la modellazione dei combustibili forestali sono state affrontate con riferimento solo ad aree limitate e con indagini di carattere generale. Considerando la mancanza di valori di riferimento per il territorio italiano, l'assenza di una metodologia di classificazione uniforme e le conseguenti difficoltà di campionamento, spesso vengono utilizzati dati e classi di combustibile sviluppati in altre nazioni.

Allo scopo di migliorare queste conoscenze, il presente studio ha fornito un'analisi dei combustibili presenti nell'area dei Colli Euganei, delineando in via preliminare quattro classi di combustibile, adatte a descrivere il potenziale comportamento del fuoco nel contesto territoriale specifico.

Nella fase di analisi dei dati si è osservato che i parametri caratteristici del combustibile sono difficilmente correlabili con gli indici del soprassuolo quali diametro, altezza, area basimetrica e copertura. Questo risultato è dovuto verosimilmente all'elevata eterogeneità ambientale riscontrabile nei boschi campionati, la quale implicherebbe, per tale tipologia di analisi, un numero di rilievi ben maggiore di quelli effettuati. La stessa metodologia di campionamento del combustibile (Brown *et al.*, 1982) non è risultata sufficientemente adatta a tale scopo, poiché indirizzata essenzialmente alla previsione della propagazione degli incendi. In accordo con quanto riportato da Keane (2013), si evidenzia perciò che questo ed altri sistemi finalizzati alla descrizione del comportamento del fuoco raramente possono avere altri utilizzi gestionali.

Per quanto riguarda le analisi relative ai dati suddivisi secondo le tipologie forestali (castagneti, orno-ostrieti e ostrio-querzeti), non si sono rilevate differenze significative rispetto ai carichi delle diverse componenti del combustibile. Come già riscontrato in Fernandes (2009), una importante implicazione di questi risultati è che il comportamento del fuoco non può essere dedotto automaticamente dalla tipologia forestale. Al contrario, la valutazione dei dati distinti secondo le tre principali forme di governo selvicolturale, riscontrate nelle aree di campionamento (ceduo con



matricine, fustaia e bosco di neoformazione), ha dimostrato che il tipo di gestione può influire direttamente sulla disponibilità di carico di combustibile e quindi sul comportamento del fronte di fiamma (v. Tabella 4.9).

Nelle aree campionate è stato verificato l'impiego del sistema Prometheus (Prometheus S.V. Project, 1999) per la classificazione del combustibile. Tale criterio di classificazione, precedentemente utilizzato in Italia solo in ambiente mediterraneo (Bacciu, 2009), si è rivelato di facile e funzionale applicazione in campo; ha portato ad individuare quattro classi di combustibile, sulla base di indagini di tipo strutturale e qualitativo, corrispondenti alle classi Prometheus 3, 5, 6 e 7. La successiva analisi del comportamento potenziale del fuoco tramite il software FARSITE (Finney, 2004) per ciascuna classe di combustibile, ha messo in luce l'importanza della struttura del soprassuolo (uno dei principali parametri di classificazione) nella previsione della propagazione del fronte di fiamma. Appare perciò opportuno, in sede di campionamento, una valutazione attenta e non soggettiva di questo parametro.

Sulla base delle evidenze sperimentali, si ritiene che il metodo di classificazione adottato possa interpretare validamente il diverso comportamento del fuoco derivante dalle caratteristiche strutturali del bosco. Si propone perciò di provare ad estenderne l'applicazione ad aree più ampie di quelle indagate, in particolare in ambienti forestali alpini, al fine di verificarne l'adattabilità e l'affidabilità come strumento operativo per la descrizione speditiva (ed economica) del combustibile. Sarebbe effettivamente auspicabile individuare un metodo unico di classificazione del combustibile, valido per tutto il territorio Italiano, che possa rendere omogenei e confrontabili i dati frammentari disponibili.

Questo studio ha previsto inoltre una valutazione delle classi di combustibile attraverso il confronto del comportamento del fuoco in incendi realmente verificatisi nei Colli Euganei, con quello degli stessi incendi ricostruiti attraverso la simulazione in FARSITE (Finney, 2004). Tuttavia la scelta dei tre incendi sperimentali ha portato ad esaminare unicamente la classe 6, la quale risulta anche la più frequente nelle aree di rilievo. La classe di combustibile 6 che identifica i "boschi con suolo coperto da combustibili di medie dimensioni" (Arroyo *et al.*, 2006) è stata applicata come input nelle simulazioni, utilizzando sia i dati medi sia i dati mediani delle aree campionate; quindi i risultati sono stati confrontati con il modello di combustibile statunitense (Albini, 1976; Anderson, 1982) avente le caratteristiche più simili, ovvero il modello 10. Tale corrispondenza è stata rilevata anche nei boschi di latifoglie della Lessinia (Goatin, 2011). L'analisi dei parametri di combustibile ha messo in evidenza l'esistenza di differenze più o meno accentuate, che hanno determinato un distinto comportamento del fuoco nelle simulazioni. Occorre però osservare che i dati presentati in questo studio si riferiscono a situazioni puntuali del territorio euganeo, mentre i valori dei modelli



di combustibile rappresentano medie a livello continentale o nazionale, che comprendono al loro interno una varietà di popolamenti maggiore rispetto a quelli analizzati in questo contesto.

I risultati di FARSITE ottenuti attraverso l'applicazione delle classi 6 (mediana e media) sono apparsi migliori rispetto a quelli del modello 10 standard, poiché maggiormente concordanti con i valori reali disponibili, tra i quali la superficie bruciata e la lunghezza delle fiamme. In particolare, con l'utilizzo della classe 6 media è stata osservata una maggiore efficacia predittiva del comportamento del fuoco in tutti i casi di studio analizzati.

Tuttavia è necessario sottolineare alcune criticità importanti riscontrate nella fase di utilizzo del software di simulazione, di seguito elencate:

- La cartografia di base disponibile per la Regione Veneto, necessaria alla costruzione del file *Landscape (.LCP)* è risultata non sufficientemente aggiornata o precisa per quanto riguarda la percentuale di copertura delle chiome e le tipologie forestali.
- Nella creazione del *Custom model*, i dati di input, relativi al rapporto superficie/volume, all'umidità di estinzione e al potere calorifico del combustibile, sono stati ricavati da valori standard presenti in letteratura. Questi aspetti richiedono un ulteriore approfondimento in quanto potrebbero non rispecchiare i parametri effettivi del territorio indagato.
- Per ottenere risultati realistici in FARSITE è fondamentale che i parametri meteo, comprendenti l'umidità relativa dell'aria, la temperatura e il vento, siano forniti da una stazione meteorologica vicina all'area che si intende analizzare. Hanson *et al.* (2000) dimostrano che le performance del simulatore possono essere notevolmente influenzate dalla risoluzione e dall'accuratezza dei dati del vento. Miglioramenti dell'accuratezza delle simulazioni possono essere ottenuti utilizzando mappe ad alta risoluzione del campo del vento (Arca *et al.*, 2009).
- Non è facile individuare incendi storici adatti alla sperimentazione: in questo studio è stato presentato il caso particolare dell'incendio del Monte Grande, verificatosi tra il 15 e il 16 agosto 2003, in cui è stato possibile analizzare l'evoluzione del fuoco in assenza di interventi di spegnimento.
- Le informazioni disponibili sulla dinamica degli incendi storici sono risultate in alcune circostanze poco adeguate ad una ricostruzione precisa del comportamento del fuoco. A tale scopo sono importanti: la localizzazione del punto di innesco e le indicazioni sulle operazioni e le strategie di spegnimento. Si propone dunque di integrare la scheda di rilevamento incendi utilizzata dal Servizio Forestale Regionale con le informazioni necessarie alla ricostruzione del comportamento del fuoco.

Per una valutazione più accurata della capacità predittiva delle classi di combustibile, si riconosce infine la necessità di analizzare un numero maggiore di incendi, al fine di cogliere la varietà di condizioni ambientali riscontrabili nel territorio euganeo.

In conclusione, la metodologia proposta ha evidenziato, nel limite delle sue non trascurabili criticità, che la classe di combustibile 6 appare rappresentativa dell'effettivo carico di combustibile presente nell'area percorsa dagli incendi storici analizzati. In base a questa prima verifica, essa sembra poter descrivere, dal punto di vista del complesso dei combustibili di superficie, le tipologie forestali indagate. Le differenze di comportamento emerse dal confronto tra la classe 6 proposta in questo studio e il modello di combustibile 10, giustificano la realizzazione di una classe di combustibile locale e ribadiscono la necessità di creare classi di combustibile specifiche, adatte alle realtà forestali nazionali. Alcuni studi condotti in ambienti forestali differenti (Carlini *et* Capitoni, 2001; Salis, 2007; Cruz *et* Fernandes, 2008) suggeriscono infatti che la precisione delle simulazioni può essere migliorata attraverso l'utilizzo di una classe di combustibile locale.

La disponibilità di classi di combustibile, utilizzabili come input in un software di previsione del comportamento del fuoco, risulta quindi un valido supporto in processi decisionali di gestione degli incendi (Fernandes *et al.*, 2006). Tuttavia l'utilizzo del simulatore durante gli interventi di lotta agli incendi appare allo stato attuale complicato notevolmente dall'elevata mole di dati da produrre, in tempo reale, per l'implementazione delle simulazioni (Arca *et al.*, 2009).

Alla luce di quanto esposto in questo lavoro, emerge la necessità di ulteriori studi sia per la verificare sia l'adeguatezza di altre classi di combustibile a descrivere la propagazione del fronte di fiamma, sia per approfondire l'utilizzo di software di simulazione finalizzati alla gestione del fuoco. Si ritiene, dunque, che questi aspetti non siano da trascurare, specialmente in un territorio come quello veneto, considerato il ruolo che gli incendi hanno ricoperto in passato e che potrebbero ricoprire in futuro.

## 6. BIBLIOGRAFIA

AA. VV., 1992 – Fuel and Fire Effects Monitoring Guide. U.S. Fish & Wildlife Service.

ALBINI F.A., 1976 – Estimating wildfire behaviour and effects. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Gen. Tech. Rep. INT-30, Ogden, UT.

ALEXANDER M.E., 1982 – Calculating and interpreting forest fire intensities. Canadian Journal of Botany 60, 349–357. doi:10.1139/B82-048.

ANDERSON H.E., 1982 – Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report. INT-122, Ogden, UT.

ANDREWS P.L., 1986 – BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem Part 1. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report. INT-194, Ogden, UT.

ANDREWS P.L., BEVINS C.D., SELI R.C., 2008 – BehavePlus fire modelling system, version 4.0: User's Guide. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-106WWW Revised, Ogden, UT, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

ARCA B., DUCE P., LACONI M., PELLIZZARO G., SALIS M., SPANO D., 2007 – Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. International Journal of Wildland Fire, 16, 563-572.

ARCA B., DUCE P., PELLIZZARO G., BACCIU V., SALIS M., SPANO D., 2009 – Simulazione della Propagazione degli Incendi su Vegetazione a Macchia Mediterranea. Ed. Regione Toscana: “Incendi Boschivi: Prevenzione, Lotta e Controllo con i nuovi Strumenti Tecnologici”. Collana Ricerca Trasferimento Innovazione, n° 8: 79-84.

ARROYO L.A., HEALEY S.P., COHEN W.B., COCERO D., MANZANERA J.A., 2006 – Using object-oriented classification and high-resolution imagery to map fuel types in a Mediterranean region. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences (2005-2012), 111(G4).

ARROYO L.A., PASCUAL C., MANZANERA J.A., 2008 – Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing. *Ecol Manage* 256:1239-1252.

ASCOLI D., BOVIO G., CECCATO R., MARZANO R., 2007 – Comportamento del fuoco e gestione della biomassa nei viali tagliafuoco: valutazione sperimentale del carico di combustibile compatibile con l'attacco diretto. *L'Italia Forestale e Montana* LXII (5/6), 369-383.

ASTOLFI G., COLOMBARA F., 1990 – La geologia dei Colli Euganei. Edizioni Canova, Treviso.

BACCHINI M., MASIERO G.B., 2014 – Comunicazione Personale.

BACCIU V.M., 2009 – Maquis Fuel Model Development to Support Spatially-Explicit Fire Modeling Applications. Doctoral Thesis, Università Degli Studi Di Sassari.

BIASETTO G., 17/08/2003 – Ferragosto infernale sul Grande e sul Venda. In: *IL MATTINO DI PADOVA*, a pag. 3 della sezione Nazionale.

BOVIO G., MELONI F., ZERBINI M., 2007 – I combustibili forestali. [www.ricercaforestale.it](http://www.ricercaforestale.it).

BOVIO G., ASCOLI D., 2013 – La tecnica del fuoco prescritto. In: *Scienza e innovazione per i sistemi forestali e ambientali*. Università di Torino. Ed. Aracne.

BOVIO G., CORONA P., LEONE V., 2014 – Gestione selvicolturale dei combustibili forestali per la prevenzione degli incendi boschivi. Compagnia delle foreste, Arezzo.

BROWN J.K., 1974 – Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service General Technical Report, INT-16, Intermountain Forest and Range Experimental Station, Ogden, UT.

BROWN J.K., OBERHEU R.D., JOHNSTON C.M., 1982 – Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. INT-129, Ogden, UT.

BURGAN R.E., ROTHERMEL, R.C., 1984 – BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem. Gen. Tech. Rep. INT-167. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

BURGAN R.E., 1987 – Concepts and interpreted examples in advanced fuel modeling. General Technical Report GTR-INT-238. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station.

BYRAM G.M., 1959 – Combustion of forest fuels. In: Forest fire: control and use. Ed. Davis, K. P, Pages 61-89, New York, NY: McGraw-Hill.

CAIN, M.D., 1984 – Height of stem-bark char underestimates flame length in prescribed burns. Fire Manage. Notes 45(1): 17-21.

CARLINI M., CAPITONI B., 2001 – Un modello di combustibile applicato alle formazioni boscate dell'Italia centrale. Linea Ecologica – Economia Montana numero 5, 41-48.

CAVALLI R., GIOLO E., LEMESSI A., ULLIANA G., 2002 – Gli incendi boschivi nel Veneto. Analisi statistica del fenomeno nel decennio 1991/2000. Grafiche Zoppelli, Dosson di Casier (TV).

CESTI G., 2005 – I combustibili negli incendi di vegetazione: monografia 1. – Regione Autonoma Valle d'Aosta, Regione Lombardia, Regione del Veneto, Regione Sardegna, Regione Sicilia, Dipartimento della Protezione Civile.

CHENEY N.P., 1990 – Quantifying bushfires. Mathematical and Computer Modelling, 13 (12): 9-15.

CHUVIECO, E., COCERO, D., RIAÑO D., MARTIN, P., MARTINEZ-VEGA J., RIVA J.d.L, PEREZ F., 2004 – Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. Remote Sensing of Environment 92, 322-331.

CONGALTON R.G., 1991 – A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of the Environment 37, 35-46.

CONGALTON R.G., GREEN K., 1999 – Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publishers, CRC Press: Boca Raton.

CRUZ M.G., FERNANDES P.M., 2008 – Development of fuel models for fire behavior prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. International Journal of Wildland Fire 17:2. 194-204.

DEL FAVERO R., LASEN C., 1993 – La vegetazione forestale del Veneto. II Edizione, Progetto Editore, (PD).

DEL FAVERO R., 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.

DEL FAVERO R., 2001 – Progetto Boschi del Parco Regionale dei Colli Euganei. Grafica Atestina, Este (PD).

DUCE P., PELLIZZARO G., ARCA B., BACCIU V., SALIS M., SPANO D., SANTONI P.A., BARBONI T., LEROY V., CANCELLIERI D., LEONI E., FERRAT L., PEREZ Y., 2011 – Fuel types and potential fire behavior in Sardinia and Corsica islands: a pilot study. International Conference on Fire Behaviour and Risk, Alghero, Italy, 4-6 October 2011.

FARSITE TUTORIAL AND USER GUIDE. Ver. 4.1.055 – Rocky Mountain Research Station USDA Forest Service, MT. FARSITE.

FAVERO M., 2009 – Indagine su un castagneto sottoposto ad intervento di recupero post-incendio sui Colli Euganei (PD). Tesi di Laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Padova.

FERNANDES P.M., REGO F., 1996 – Changes in fuel structure and fire behaviour with heathland aging in Northern Portugal. In: 13th Fire and Forest Meteorology Conference. Lorne, Australia. International Association of Wildland Fire.

FERNANDES P.M., 2001 – Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. Forest Ecology and Management, 144: 67-74.

FERNANDES P.M., LUZ A., LOUREIRO C, FERREIRA-GODINHO P., BOTHELHO H., 2006 – Fuel modelling and fire hazard assessment based on data from the Portuguese National Forest Inventory. Forest Ecology and Management 234S.

FERNANDES P.M., 2009 – Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. Annals of Forest Science, 66(4).

FINNEY M.A., 2004 – FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Oregon, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

FINNEY, M.A., 2006 – An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: Andrews P.L., Butler B.W. (Eds.), Fuels management – how to measure success: conference proceedings. RMRS-P-41. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Portland, Oregon, pp 213-220.

GHERLONE F., 2010 - Determinazione di metodi indiretti di stima del carico di combustibile applicabili al fuoco prescritto in brughiera. Tesi di laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Torino.

GIAKOUMAKIS N.M., GITAS I.Z., SAN-MIGUEL J., 2002. Object-oriented classification modelling for fuel type mapping in the Mediterranean, using LANDSAT TM and IKONOS imagery: Preliminary results. In: Forest Fire Research and Wildland Fire Safety, pp. 1-13, Millpress, Rotterdam, Netherlands.

GIORDANO G., 1976 – Tecnologia del legno 3, le prove e i legnami di più frequente impiego. UTET, Torino.

GOATIN N., 2011. Modelli di combustibile nei boschi termofili della Lessinia (VR) per la predizione del comportamento del fronte di fiamma. Tesi di laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Padova.

GREGORETTI G., 2004 – Elementi di statistica per idrologia. [http://147.162.181.35/materiale/tesaf/gregoretti/statistica\\_idrologia.pdf](http://147.162.181.35/materiale/tesaf/gregoretti/statistica_idrologia.pdf).

HANSON H.P., BRADLEY M.M., BOSSERT J.E., LINN R.R., YOUNKER L.W., 2000 – The potential and promise of physics-based wildfire simulation. Environmental Science & Policy 3, pp 161-172.

HARMON M.E., BROWN S., GOWER S.T., 1993 – Consequences of tree mortality to the global carbon cycle. In: Vinson, T.S., Kolchugina, T.P. (Eds.), Carbon Cycling in Boreal and Subarctic Ecosystems, Biospheric Response and Feedbacks to Global Climate Change. Symposium Proceedings. USEPA, Corvallis, OR, pp. 167-176.

HUTCHINGS S.S., SCHMAUTZ J.E. 1969 – A field test of the relative-weight estimate method for determining herbage production. *J. Range Manage*, 22(6):408-411.

ICONA, 1990 – Elaboracion de un plan comercial de la defensa contro incendios forestales. Area de Defensa contra Incendios Forestales, Madrid.

INFLAME project, 1998 – Fire behavior prediction modelling and testing. European Commission, Directorate General XII Science, Research and Development. Contract ENV4-98-0700.

KEANE, R.E., BURGAN, R.E., VAN WAGTENDONK, J., 2001 – Mapping wildland fuel for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, CIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire* 10, 301-319.

KEANE, R.E., 2013 – Describing wildland surface fuel loading for fire management: a review of approaches, methods and systems. *International Journal of Wildland Fire*, 22(1).

KEELEY J.E., FOTHERINGHAM C.J., 2002 – Impact of past, present, and future fire regimes on North American Mediterranean shrublands. In: Swetnam T.W., Montenegro G., Veblen T.T. (Eds.), *Fire Regimes and climatic changes in temperate and boreal ecosystems of the Western Americans*. Springer-Verlag: New York, pp. 214-258.

LANORTE A., DESANTIS F., AROMANDO A., MONTESANO T., LASAPONARA R., 2010 – Monitoraggio satellitare per la previsione del rischio d'incendio Boschivo Sperimentazione pre-operativa in Basilicata. Ilmiolibro.

LEONE V., BOVIO G., CESTI G. e LOVREGLIO R., 2008 – Il Direttore delle Operazioni di Spegnimento degli incendi boschivi: manuale tecnico. Corpo Forestale dello Stato, Università degli Studi della Basilicata.

LUTES D.C., KEANE R.E., CARATTI J.F., KEY C.H., BENSON N.C., SUTHERLAND S., GANGI L.J., 2006 – FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. General Technical Report RMRS-GTR-164- CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.



MARCHETTI M., 1994 – Pianificazione antincendi boschivi: un sistema informativo forestale per la modellistica, la cartografia, le cause, i danni. Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato, Collana Verde, 93.

MAZZETTI A., 1992 – La flora dei Colli Euganei. Editoriale Programma, Padova.

PARRESOL, B.R., BLAKE, J. I., THOMPSON, A.J., 2012 – Effects of overstory composition and prescribed fire on fuel loading across a heterogeneous managed landscape in the southeastern USA. *Forest Ecology and Management*.

PARSONS R.A., 2014 – Comunicazione personale.

PROMETHEUS S.V. Project, 1999 – Management Techniques for optimization of suppression and minimization of wildfire effects. System Validation. European Commission, contract number ENV4-CT98-0716.

PYNE, S.J., ANDREWS, P.L, LAVEN, R.D., 1996 – Introduction to Wildland Fire. Second edn. John Wiley & Sons, Inc., New York.

RIAÑO D., 2002 – Analysis and mapping of fuel properties from remote sensing and G.I.S. – Tesis doctoral. Programa de doctorado interdepartamentales en ciencias ambientales, Universidad de Alcalá.

RIZZOLO R., 2014 – Dati non pubblicati.

REGIONE VENETO, 1999 – Piano Regionale Antincendi Boschivi. Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana. Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana.

REGIONE VENETO, 2009 – Tipologie di incendio. In: Manuale di formazione di base in materia di incendi boschivi. Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana Servizio Antincendi Boschivi.

REGIONE VENETO, 2011 – Statistiche degli incendi boschivi avvenuti nella Regione del Veneto dal 1990 al 2010. Unità di Progetto Protezione Civile Servizio Antincendi Boschivi. [www.regione.veneto.it](http://www.regione.veneto.it).

REGIONE VENETO, 2014 – Dati non pubblicati.

RICHARDS G.D. 1990 – An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 30: 1163-1179

RODRÍGUEZ Y SILVA F., MOLINA MARTÍNEZ J., 2010 – Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Laboratorio de defensa contra incendios forestales, Universidad de Córdoba.

ROLLINS, M.G., KEANE, R.E., PARSONS, R.A. 2004 – Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulation, and gradient modeling. *Ecol. Appl.* 14(1): 75-95. doi:10.1890/02-5145.

ROTHERMEL R.C., 1972 – A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-115, Ogden, Utah.

ROTHERMEL R.C., PHILPOT C.W., 1973 – Predicting changes in chaparral flammability. *Journal of Forestry* 71, 640-643.

ROTHERMEL R.C., 1983 – How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Gen.Tech. Rep. INT-143, Ogden, Utah.

SALAZAR, L.A., 1985 – Sensitivity of fire behavior simulations to fuel model variations. Research Paper PSW-178. Berkeley, CA, USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.

SALIS M., 2007 – Fire Behaviour Simulation in Mediterranean Maquis Using FARSITE (FIRE AREA SIMULATOR). Doctoral Thesis, Università degli Studi di Sassari.

SANDBERG D., OTTMAR R., CUSHON G., 2001 – Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire* 10, 381-387.

SCOTT J.H., REINHARDT E.D., 2001 – Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA For. Serv., Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.

SCOTT J.H., BURGAN R.E., 2005 – Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153 Fort Collins, CO.

SCOTTON M., 2014 – Comunicazione personale.

SMITH W.B., BRAND G.J., 1983 – Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs, and small trees. Res. Note NC-299. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 8 p. [20785].

SØRENSEN T., 1948 – A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 5:1-34.

SPREAD project, 2002 – Forest fire spread prevention and mitigation. European Commission, Contract number EVG1-CT-2001-00043.

SUSMEL L., FAMIGLIETTI A., 1968 – Condizioni ecologiche ed attitudini culturali dei Colli Euganei. *Annali del Centro di Economia Montana delle Venezie*. CEDAM, Padova.

TRITTON L.M., HORNBECK J.W., 1982 – Biomass equations for major tree species of the Northeast. U.S. For, Gen. Tech. Rep. NE-69:46.

VALESE E., 2009 – Applicazione del Canadian Forest Fire Weather Index System nel contesto della Grande Regione Alpina (GAR): potenzialità e problematiche. Tesi di Dottorato di Ricerca in Territorio Ambiente Risorse e Salute, Università degli Studi di Padova.

VAN WAGNER C.E., 1982 – Graphical estimation of quadratic mean diameters in the line intersect method. *Forest Science*. 28: 852-855.

VARIARA G., 2012 – Simulazione degli incendi di vegetazione con FARSITE (Fire Area Simulator): possibilità di utilizzo in Regione del Veneto. Tesi di laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Padova.

VARIARA G., 2014 – Potenzialità e limiti del software FARSITE per la simulazione del comportamento degli incendi boschivi. Tesi di laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Padova.

VÉLEZ M.R., 1990 – Algunas observaciones para una selvicultura preventive de incendios forestales. *Ecologia, Fuera de Serie*: 561-571.

VENETO AGRICOLTURA, 2001 – I suoli dei Colli Euganei. IMPRIMENDA, Padova.

WADDELL, K., 2002 – Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. *Ecological Indicators*, 1(3), pp. 139-153.

WOODALL C., MONLEON-MOSCARDO V.J., 2008 – Sampling protocol, estimation, and analysis procedures for the down woody materials indicator of the FIA program. Gen. Tech. Rep. NRS-22. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.

## 7. ALLEGATI

### **ALLEGATO A: Scheda per la raccolta dei dati in campo**

**Descrizione generale particella** codice scheda \_\_\_\_\_ Rilevatori \_\_\_\_\_

Ora inizio rilievo (inclusa preparazione dell'area):

Data		Località		Esposizione:	
Coordinate gis	X	Coordinate gps	X	Accuratezza gps	m
	Y		Y	Quota	m
<b>PENDENZA</b>	Particella: °	<b>Transetto:</b>	°	<b>Piano di campionamento:</b>	°

#### **POPOLAMENTO**

Categoria forestale		Gestione	
<b>Fase evolutiva</b>		<b>Età media</b>	
<b>Continuità verticale (SI/NO)</b>		<b>Rocce e sassi (%)</b>	
diametro medio alberi a 1,30 m (cm)		altezza media arbusti (m)	
altezza media alberi (m)		diametro medio arbusti al colletto (cm)	
altezza primi rami (m)		% alberi morti in piedi sul numero tot.	
<b>continuità orizzontale (SI/NO)</b>	arbusti	lettiera	

#### **STRATO ARBOREO\***

Copertura totale (%)

Specie	Copertura (%)	Specie	Copertura (%)
1	4		
2	5		
3	6		

#### **STRATO ARBUSTIVO\***

Copertura totale (%)

Specie	Copertura (%)	Specie	Copertura (%)
1	5		
2	6		
3	7		
4	8		

**STRATO ERBACEO \*****Copertura totale (%)**

Specie	Copertura (%)	Specie	Copertura (%)
1	5		
2	6		
3	7		
4	8		

Ora fine rilievo:

\* la % di copertura di ogni specie è stimata rispetto alla superficie occupata dallo strato arbustivo/erbaceo, NON rispetto alla superficie totale

**Rilievo materiale legnoso al suolo**

Ora inizio campionamento:

Transetto 20 m		Pendenza transetto:	%
<b>CLASSI DIAMETRICHE</b>		<b>Numero di pezzi rilevati</b>	
<b>CLASSE 1.</b> $\varnothing < 0,65 \text{ cm}$			
spp predom. =			
$\varnothing$ medio (cm) =			
<b>CLASSE 10.</b> $0,65 < \varnothing < 2,5 \text{ cm}$			
spp predom. =			
$\varnothing$ medio (cm) =			
<b>CLASSE 100.</b> $2,5 < \varnothing < 7,5 \text{ cm}$	<b>Diametro di ogni pezzo</b>		
spp predom. =	SANO		
	DECOMPOSTO		
<b>CLASSE 1000.</b> $\varnothing > 7,5 \text{ cm (trans. 20 m)}$			
Specie	Diametro	Lunghezza	
SANO			
DECOMPOSTO			

Ora fine campionamento:

## Rilievo Profondità Duff + Lettieria

Ora inizio campionamento:

Rilievo puntuale con righello previo scavo

PUNTO CAMPIONATO	Cm
1	Duff = ; Lettieria =
2	Duff = ; Lettieria =
3	Duff = ; Lettieria =
4	Duff = ; Lettieria =

Ora fine campionamento:

## Vegetazione erbacea, lettiera e rocce

Ora inizio campionamento

TELAIO (in senso orario partendo da quello in alto a destra)	ERBA Ottavi	LETTIERA Ottavi
<b>A</b> biomassa erbacea epigea morta=      % rocce=      %		
Specie presenti		
<b>B</b> biomassa erbacea epigea morta=      % rocce=      %		
Specie presenti		
<b>C</b> biomassa erbacea epigea morta=      % rocce=      %		
Specie presenti		
<b>D</b> biomassa erbacea epigea morta=      % rocce=      %		
Specie presenti		

Ora fine campionamento:

## Arbusti

Ora inizio campionamento:

<b>Area di saggio circolare 1 (1m di raggio)</b>				
<b>Biomassa arbustiva totale (%)</b>				
Specie presenti	Numero fusti per specie	Diametro basale (cm)	Altezza (cm)	Biomassa arbustiva morta (%)

<b>Area di saggio circolare 2 (1m di raggio)</b>				
<b>Biomassa arbustiva totale (%)</b>				
Specie presenti	Numero fusti per specie	Diametro basale (cm)	Altezza (cm)	Biomassa arbustiva morta (%)

Ora fine campionamento:

*N.B. Segnare il punto centrale con vernice*

note



***ALLEGATO B: Schede di descrizione delle classi di combustibile  
Prometheus applicate all'area forestale dei Colli Euganei (PD)***

## Combustibile di tipo 3: Cespuglieti di media altezza



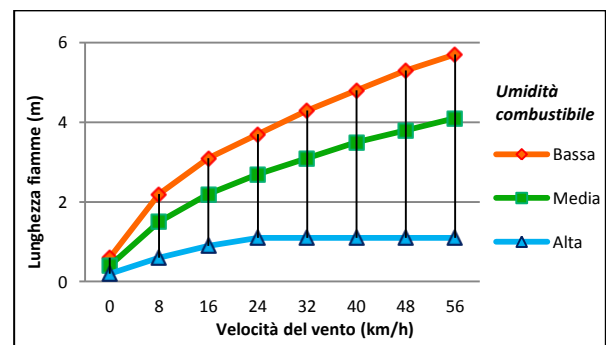
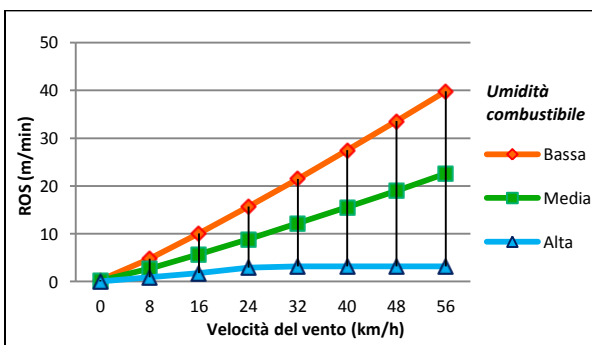
### Descrizione:

Vegetazione arbustiva di medie-grandi dimensioni (copertura arbustiva > 60 % , copertura arborea < 50%); superfici interessate dalla presenza di rinnovazione naturale di specie forestali.

Altezza della vegetazione compresa tra 0,6 e 2,0 m.

Possibilità di sviluppo di incendi radenti di media intensità.

Carico di incendio (Mg/ha)					Altezza strato combustibile (cm)	Umidità di estinzione %
Combustibili morti			Combustibili vivi			
1 h	10 h	100 h	erbaceo	legnoso		
3,70	4,30	0,00	1,53	6,03	54,00	25



## Combustibile di tipo 5:

### Boschi con suolo coperto da combustibili bassi e fini (principalmente lettiera)



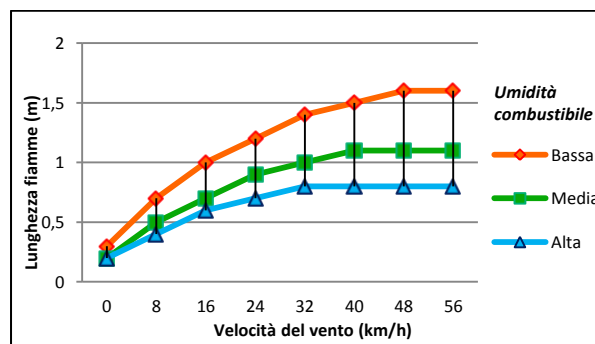
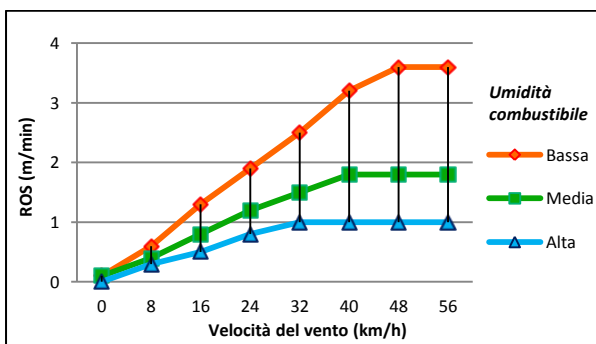
#### Descrizione:

Popolamenti arborei con combustibili di superficie costituiti da erba e lettiera (copertura arbustiva < 30 %).

La quantità di biomassa presente nel sottobosco risulta scarsa per motivi naturali (copertura colma dove l'assenza di insolazione inibisce la crescita di vegetazione al suolo) o per motivi antropici.

Si possono sviluppare incendi di tipo radente di bassa intensità e a lenta velocità di propagazione, ma vi si possono propagare incendi di chioma originatisi in aree prospicienti se le caratteristiche dello strato arboreo lo consentono.

Carico di incendio (Mg/ha)					Altezza strato combustibile (cm)	Umidità di estinzione %
Combustibili morti			Combustibili vivi			
1 h	10 h	100 h	erbaceo	legnoso		
5,60	8,15	2,37	0,53	1,64	10,00	25



## Combustibile di tipo 6:

### Boschi con suolo coperto da combustibile di medie dimensioni (arbusti bassi)



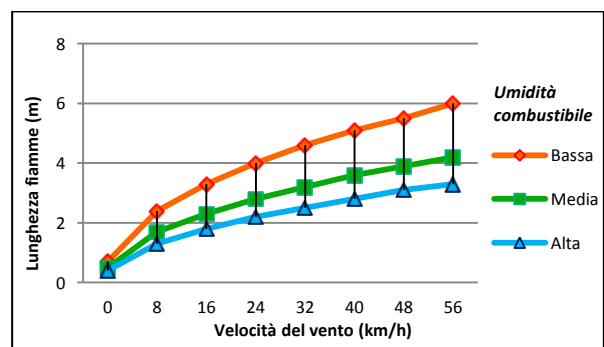
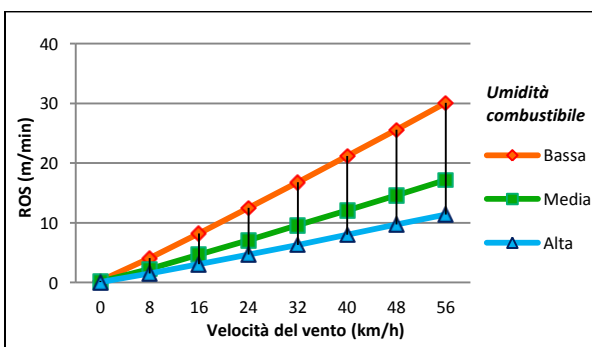
#### Descrizione:

Popolamenti arborei ( $h > 4$  m) con combustibili superficiali rappresentati da lettiera, erba e da uno strato arbustivo di piccole-medie dimensioni (copertura arbustiva  $> 30\%$ ), che determinano una discreta quantità di biomassa al suolo. La distanza fra lo strato arbustivo e l'inserzione delle chiome degli alberi è uguale o superiore a 0,50 m.

Il combustibile è costituito essenzialmente da piccoli arbusti, erba, lettiera e duff.

Si possono sviluppare incendi radenti di varia intensità che possono eventualmente passare in chioma se le caratteristiche del popolamento arboreo lo consentono.

Carico di incendio (Mg/ha)					Altezza strato combustibile (cm)	Umidità di estinzione %
Combustibili morti			Combustibili vivi			
1 h	10 h	100 h	erbaceo	legnoso		
4,91	45,6	3,68	0,07	4,63	40,00	25





## Combustibile di tipo 7:

### Boschi con suolo coperto da combustibili di grandi dimensioni (arbusti alti)



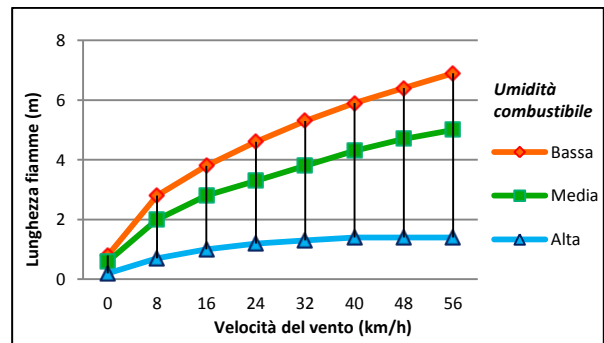
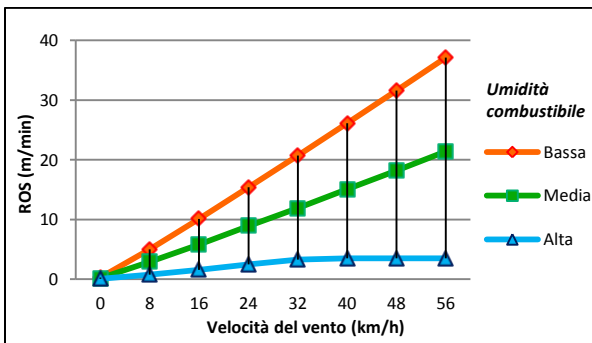
#### Descrizione:

Popolamenti arborei ( $h > 4$  m) con combustibili superficiali rappresentati da lettiera, erba e arbusti di medie-grandi dimensioni (copertura arbustiva  $> 30\%$ ), che determinano una elevata quantità di biomassa al suolo.

Il sottobosco è denso e alto, ciò determina che la distanza fra lo strato arbustivo e l'inserzione delle chiome degli alberi sia inferiore a 0,50 m.

Possibilità di sviluppo di incendi radenti di alta intensità che possono passare in chioma con estrema facilità se le caratteristiche del popolamento lo permettono.

Carico di incendio (Mg/ha)					Altezza strato combustibile (cm)	Umidità di estinzione %
Combustibili morti			Combustibili vivi			
1 h	10 h	100 h	erbaceo	legnoso		
3,97	8,41	1,45	0,10	7,53	56,00	25



## **RINGRAZIAMENTI**

*Alla fine di questi anni di studio desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato e hanno contribuito alla realizzazione di questa tesi.*

*Il ringraziamento più grande va alla mia famiglia, specialmente ai miei genitori e alle mie sorelle per il loro sostegno, per la pazienza, per l'incoraggiamento e per le possibilità che mi hanno sempre dato.*

*Grazie ai miei amici per aver reso questi anni universitari più felici e belli.*

*Un grazie particolare va a Rolando Rizzolo per i suoi indispensabili consigli e per avermi seguito con grande passione.*

*Inoltre vorrei ringraziare: il personale del Centro Meteorologico di Teolo e del Parco Regionale dei Colli Euganei per il materiale e i dati messi a disposizione; Massimo Bacchini e Giovanni Battista Masiero per le informazioni, i consigli e la documentazione forniti; Eva Valese per i suggerimenti riguardanti questa tesi.*

*Emanuele Rossetto*