



A.D. MDLXII

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA



Scienze e Biotecnologie
dei Sistemi Agrari e Forestali
e delle Produzioni Alimentari

Indirizzo Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo

Ciclo XXVII

**Sviluppo di tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella
prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee**

dr. Gianmario Mou

Direttore della Scuola prof. Alba Pusino

Referente di Indirizzo prof. Ignazio Floris

Docente Guida prof. Raffaella Lovreglio

Anno accademico 2013/2014



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA**



**Scienze e Biotecnologie
dei Sistemi Agrari e Forestali
e delle Produzioni Alimentari**

Indirizzo Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente mediterraneo

Ciclo XXVII

La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in “Scienze e Biotecnologie dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari” dell’Università degli Studi di Sassari, a.a. 2013/2014 - XXVII ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 - Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività 1.3.1 “Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell’ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell’energia e dello sviluppo sostenibile, dell’agroalimentare e dei materiali tradizionali”.

Gianmario Mou gratefully acknowledges Sardinia Regional Government for the financial support of her PhD scholarship (P.O.R. Sardegna F.S.E. Operational Programme of the Autonomous Region of Sardinia, European Social Fund 2007-2013 - Axis IV Human Resources, Objective 1.3, Line of Activity 1.3.1.)

Sommario

Ringraziamenti	5
<i>Introduzione: Il nuovo approccio della lotta agli incendi</i>	6
Capitolo 1: La Sardegna, aspetti territoriali ed ambientali.....	10
<i>Lineamenti orografici della Regione Sardegna</i>	10
<i>Caratteristiche orografiche della Regione Sardegna</i>	11
<i>Caratteristiche vegetazionali della Regione Sardegna</i>	12
<i>Inquadramento climatico della Regione Sardegna</i>	17
<i>Suscettibilità delle cenosi forestali al passaggio del fuoco</i>	26
Capitolo 2: Le motivazioni degli incendi boschivi in Sardegna secondo la percezione degli esperti	28
<i>Introduzione</i>	28
<i>Il fenomeno degli incendi in Sardegna</i>	29
<i>Analisi dell'area di studio</i>	33
<i>Concentrazione e diffusione del problema degli incendi in Sardegna (1970 – 2012)</i>	33
<i>Distribuzione del fenomeno a livello provinciale in Sardegna</i>	38
<i>Distribuzione geografica</i>	40
<i>Analisi delle cause degli incendi in Sardegna</i>	44
<i>Le formazioni vegetali più esposte all'azione del fuoco</i>	47
<i>Le attività investigative post-incendio</i>	49
<i>Materiali e metodi</i>	54
<i>Risultati e discussione</i>	58
<i>Conclusioni</i>	65
Capitolo 3: Applicazione sperimentale di interventi di fuoco prescritto per la gestione dei combustibili in ambiente mediterraneo.....	66
<i>Introduzione</i>	66
<i>Il fuoco prescritto nelle legislazioni regionali</i>	68
<i>Le esperienze in Italia</i>	70
<i>Applicazioni della tecnica in Sardegna e Campania</i>	73
<i>Analisi delle aree di studio</i>	73
<i>Materiali e metodi</i>	76
<i>Trattamento del popolamento oggetto di studio con la tecnica del col fuoco prescritto</i>	85
<i>Risultati</i>	95
<i>Umidità del combustibile</i>	104

<i>Studio del comportamento</i>	105
<i>Conclusioni</i>	113
Seconda area di studio: San Mauro Cilento. (Sa)	117
<i>Introduzione</i>	117
<i>Analisi degli incendi e delle cause degli incendi boschivi nel Parco Nazionale Del Cilento e Vallo del Diano</i>	118
<i>Cenni sugli aspetti geomorfologici del Parco Nazionale del Cilento e Vallo del Diano</i>	118
<i>Cenni sugli aspetti vegetazionali del Parco Nazionale del Cilento e Vallo del Diano</i>	119
<i>Descrizione area di studio</i>	120
<i>Definizione degli obiettivi</i>	122
<i>Analisi delle variabili meteorologiche del giorno del trattamento</i>	123
<i>Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento da trattare</i>	123
<i>Raccolta e stima del calcolo del carico del combustibile potenzialmente pericoloso;</i>	124
<i>Elaborazione delle prescrizioni</i>	125
<i>Trattamento del popolamento oggetto di studio con la tecnica del col fuoco prescritto;</i>	126
<i>Raccolta e calcolo del carico del combustibile rimasto dopo il trattamento;</i>	130
<i>Valutazione in campo dei parametri di comportamento del fronte di fiamma</i>	130
<i>Risultati</i>	131
<i>Conclusioni</i>	138
Capitolo 4: Caratterizzazione strutturale del combustibile in <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> (Poir.) Dur. & Schinz)	141
<i>Introduzione</i>	141
<i>Materiali e metodi</i>	144
<i>Conclusioni</i>	154
Bibliografia	157

Ringraziamenti

Ringrazio in primis il mio tutor la Prof.ssa Raffaella Lovreglio per avermi guidato nel mio percorso di ricerca con saggi consigli ed avermi seguito costantemente nella realizzazione della tesi di dottorato, trasmettendomi, contemporaneamente, la sua esperienza professionale ed umana. Devo altresì ringraziare il Prof. Vittorio Leone per i suggerimenti ed i consigli.

Desidero inoltre ringraziare il Corpo Forestale e Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna in particolare nelle persone di Dott. Giuseppe Delogu e il Sign. Ettore Deiana per avermi guidato nelle attività in campo permettendo la raccolta dei dati e per il prezioso supporto nello sviluppo della fase di progettazione ed operativa dell'esperimento di fuoco prescritto.

Un ringraziamento sincero va al Dott. Davide Ascoli che ha seguito costantemente il lavoro di ricerca e svolto con me la realizzazione degli esperimenti di fuoco prescritto; preziosi sono stati con lui i momenti di confronto, e scambi di idee che mi hanno permesso di esplorare da vicino i sistemi di analisi e i sistemi sperimentali. Vorrei inoltre esprimere la mia gratitudine ai miei colleghi di lavoro, Dott. Marco Mura, e il Dott. Mario Contarini che hanno “gioito e pianto” nei momenti felici e meno felici di questo percorso. A tutti i miei amici e amiche sui quali ho sempre potuto fare affidamento nei momenti di gioia o di sconforto del percorso di Dottorato, un sincero grazie.

Non posso dimenticare l'immenso debito di gratitudine verso i miei genitori, i quali hanno sostenuto le scelte personali e professionali più importanti della mia vita e non hanno mai mancato di incondizionato amore, ascolto e attenzione, spronandomi sempre ad andare avanti per la mia strada. Un ringraziamento speciale va a Jessica, la quale mi è stata vicina in ogni istante senza mai farmi mancare la gioia di averla accanto cercando sempre di confortarmi e rallegrarmi nei momenti

meno felici. Marzia e Renato per i quali devo niente di meno che gli stessi ringraziamenti dedicati ai miei genitori.

Introduzione: Il nuovo approccio della lotta agli incendi

In passato l'unico approccio di contrasto agli incendi boschivi utilizzato era quello di lotta diretta, che si attivava attraverso l'intervento di mezzi terrestri e mezzi aerei, basando l'efficacia del contrasto al fenomeno solo sul rapido intervento da parte di una struttura per effettuare l'estinzione.

Di recente, è emerso anche all'interno dei vari progetti di ricerca europei come Saltus, Fire Torch, Fire Paradox e Fume, che i vari tipi di incendio sono riferibili in gran parte a modifiche dell'uso del suolo, come l'accumulo della necromassa nei boschi a causa dell'abbandono delle tradizionali attività di gestione dei boschi, e la progressiva espansione dei centri abitati nelle aree limitrofe ai boschi con la conseguenza di un aumento del rischio.

In queste aree, definite di interfaccia, risulta più difficile il contrasto e la lotta del fenomeno richiedendo un aumento di risorse dedicate alla lotta attiva.

Queste osservazioni inducono un passaggio da quello che è definito l'approccio del *fire control*, a favore del nuovo approccio basato sulla difesa del territorio dal fuoco mediante la gestione selvicolturale, possibile solo attraverso una conoscenza approfondita del fenomeno (*fire management*).

Il cambiamento della visione è anche temporale, passando da un approccio di controllo degli incendi nel breve termine verso una politica di lungo periodo, agendo sulle cause strutturali degli stessi e integrando il problema di lotta agli incendi con il tema della gestione forestale.

Le motivazioni di ordine socioeconomico e ambientale di cui gli incendi sono manifestazione inducono azioni che mirano ad evitare che la mancanza o l'inadeguatezza di una, o più, delle

componenti del sistema agisca da fattore limitante, riducendone l'efficienza complessiva (Leone et al. 2000).

La gestione strutturale in termini di quantità e struttura dei combustibili forestali è l'unico strumento preventivo utile alla diminuzione del rischio, non potendo intervenire né sul fattore meteorologico né su quello topografico.

La protezione totale del territorio risulta, infatti, di difficile realizzazione, sia in termini operativi che economici; è pertanto opportuno prevederla solo per particolari aree ridotte del territorio, che presentano particolare importanza e peculiarità specifiche.

Oggi, grazie anche a nuovi software sempre più sofisticati e al reperimento sempre più facile di dati la lotta agli incendi avviene anche in modo preventivo, mediante strumenti informatici di vario tipo.

Queste attività sono considerate oggi un grande supporto per un'organizzazione di attività antincendio più completa ed articolata.

Per perseguire gli obiettivi di prevenzione e lotta agli incendi, è indispensabile organizzare una pianificazione antincendio opportuna ed efficace, secondo le seguenti modalità:

1. Forme di lotta preventiva (Analisi delle cause che portano all'innescarsi di un fenomeno, mappe del pericolo, ecc.);
2. Interventi preventivi attivi (sorveglianza continua, impiego di mezzi e uomini, ecc.);
3. Interventi colturali di "selvicoltura preventiva", con lo scopo di ridurre la combustibilità delle formazioni forestali per accrescerne la resistenza all'avanzamento del fuoco;
4. Lotta attiva con mezzi terrestri ed aerei.

Lo schema riportato in fig.1 riassume i vari steps per l'attività organizzativa nella campagna AIB (Lovreglio 2012).

L'incendio è un fenomeno non controllato di combustione; il fuoco, viceversa, è una combustione generata artificialmente e controllata in vista di specifici obiettivi di pianificazione o di gestione. La selvicoltura di prevenzione consiste in un insieme di regole la cui finalità è la riduzione e/o modifica del combustibile vegetale per accrescere la resistenza all'avanzamento del fuoco, associando ad essa interventi culturali mirati a migliorare la resilienza dell'ecosistema interessato.

La modifica della distribuzione e quantità di combustibile è possibile creando una discontinuità orizzontale e/o verticale, riducendo così la velocità di propagazione dell'incendio.

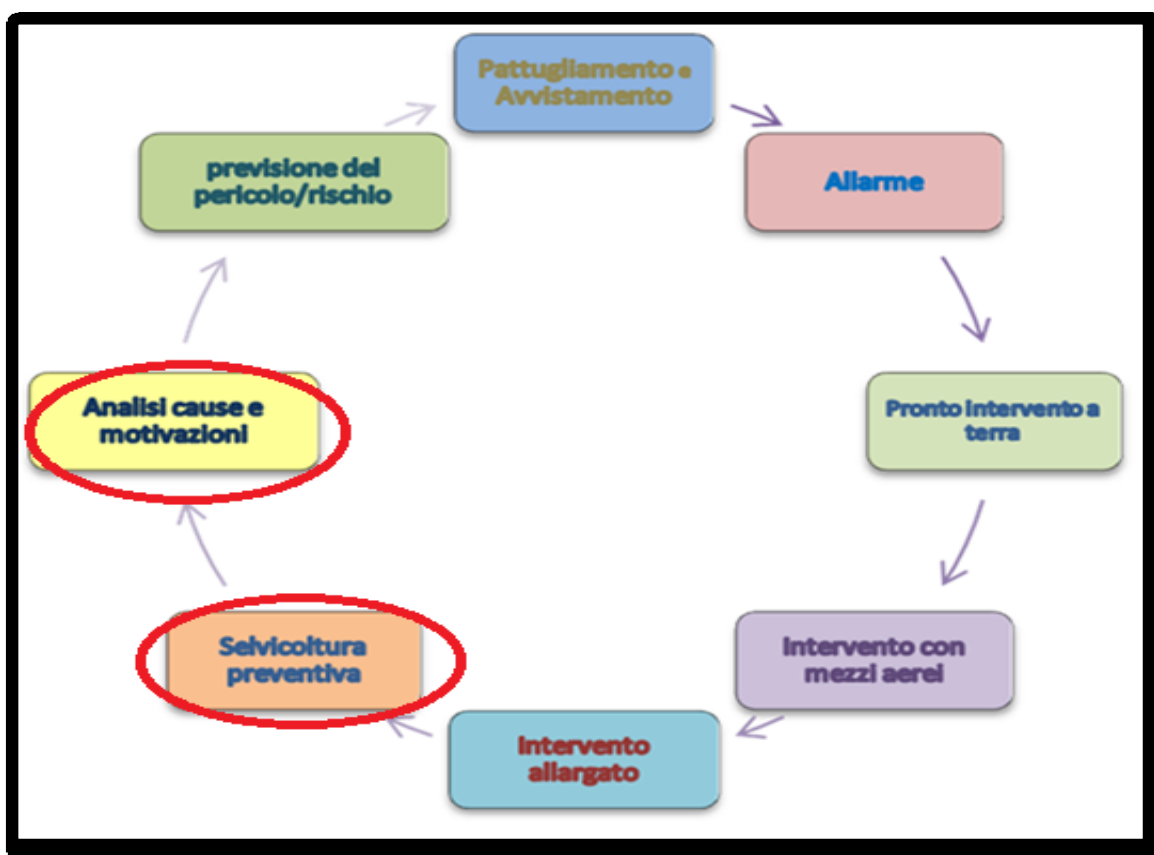


Figura 1: Schema riassuntivo dei vari steps per l'attività organizzativa nella campagna AIB

Tale attività può essere ottenuta con l'impiego di diverse tecniche:

- 1) diradamenti;

- 2) decespugliamento meccanico;
- 3) decespugliamento manuale;
- 4) potatura manuale;
- 5) uso del fuoco prescritto;
- 6) pascolo controllato;
- 7) applicazione di erbicidi;
- 8) apertura di viali parafuoco;
- 9) manutenzione e controllo degli elettrodotti.

Questa tesi di dottorato di ricerca si inserisce in due degli steps riportati in figura 1. (Evidenziati in rosso).

Le tematiche affrontate riguardano:

- a) l'individuazione delle cause e motivazioni di incendio, attraverso l'utilizzo del metodo Delphi, che sfrutta la conoscenza del fenomeno e del territorio in esame da parte di un panel di esperti;
- b) due casi di lotta preventiva mediante l'utilizzo del fuoco prescritto in due Regioni Italiane, con l'approfondimento delle conoscenze biologiche e di comportamento di una delle specie più suscettibili e infiammabili in ambiente mediterraneo, l'*Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz.

Entrambi gli argomenti, apparentemente non collegati tra loro, riguardano iniziative programmate ed attuate dalla Regione Autonoma della Sardegna, da sempre impegnata in iniziative di studio e di sperimentazione d'avanguardia, come quella del fuoco prescritto, per contenere il flagello degli incendi che sistematicamente ne devastano il territorio, con gravi ripercussioni di carattere ambientale ed economico.

Capitolo 1: La Sardegna, aspetti territoriali ed ambientali

Lineamenti orografici della Regione Sardegna

Il territorio è caratterizzato in gran parte dalla presenza di rilievi che conferiscono all'isola un aspetto prevalentemente collinare – montuoso. L'altitudine media è di 338 m s.l.m; il rilievo più alto, *Punta La Marmora*, con i suoi 1.834 m è situato nel massiccio del Gennargentu nella parte centro orientale dell'isola.

Dal punto di vista geologico la Sardegna è ricca di formazioni litologiche e morfologiche come le formazioni metamorfiche del Paleozoico appartenenti al massiccio del Gennargentu, i “Tacchi” del Giurassico calcareo – dolomitici localizzati nella parte orientale, le catene montuose del Marghine, del Goceano e i Monti di Alà Dei Sardi, che con direzione Sud – Ovest – Nord – Est formano quasi una barriera naturale dividendo l'isola settentrionale dal resto del territorio. Nella parte settentrionale spicca, in forma isolata, il massiccio granitico del Limbara. Nella parte meridionale, invece, sono da ricordare, le formazioni montuose dell'era Paleozoica, rappresentate dal Monte Linas, dal Monte Arcosu e dal Monte dei Sette Fratelli. L'aspetto collinare del paesaggio sardo è conferito dagli altopiani, tra i quali segnaliamo quelli granitici del Nuorese e di Buddusò, quelli calcarei dell'Anglona e del Lugudoro ed i pianori della Planargia di origine, quest'ultimi, oligo – mioceniche. Di origine più recente sono, invece, gli altopiani basaltici, cosiddetti della Giara, che caratterizzano il paesaggio della Sardegna centro – meridionale. Analoga costituzione litologica contraddistingue i più estesi altopiani della Sardegna, l'altopiano di Abbasanta e di Campeda, della Sardegna centro – settentrionale. Nell'isola sono presenti anche due estese pianure: la piana del Campidano a sud e la piana della Nurra a nord.

I corsi d'acqua sono caratterizzati, a causa della loro ridotta lunghezza, da un regime idrologico irregolare e torrentizio. Le portate, infatti, sono legate agli eventi pluviometrici con piene nei mesi piovosi autunno – invernali e magre nella stagione estiva. Sono da ricordare il Tirso, che nasce nel territorio del comune di Buddusò e sfocia nel Golfo di Oristano; il Flumendosa che nasce dal massiccio del Gennargentu e sfocia dopo 122 km nella costa orientale dell'isola; il Coghinas che nasce dal gruppo montuoso del Marghine e sfocia nella costa settentrionale.

Caratteristiche orografiche della Regione Sardegna

La carta geo-pedologica, in fig. 2, mostra la distribuzione areale dei vari raggruppamenti di suoli con caratteri simili in funzione dei possibili usi. I suoli sono classificati secondo il sistema elaborato dal Servizio del Suolo degli Stati Uniti (Soil Taxonomy U.S.D.A.). La carta è organizzata secondo Unità di Paesaggio o fisiografiche, definite da caratteristiche geologiche, morfologiche, climatiche e vegetazionali e quindi omogenee nelle loro caratteristiche pedologiche. In ciascuna Unità di Paesaggio è quindi possibile riconoscere le unità di mappa o cartografiche in essa presenti. Ognuna di queste unità di mappa presenta precise caratteristiche morfologiche e di uso del suolo ed è caratterizzata dalla presenza di uno o più tipi pedologici.

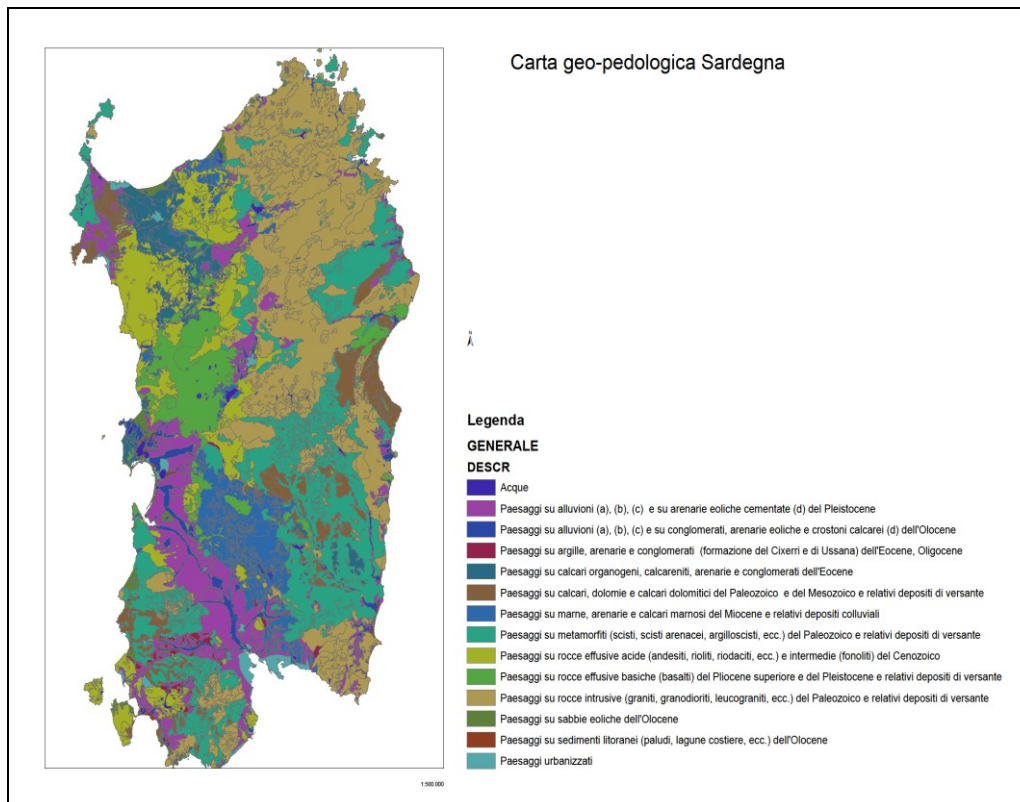


Figura 2: Carta geo-pedologica della Sardegna

Caratteristiche vegetazionali della Regione Sardegna

Le prime informazioni sulla vegetazione dell'Isola furono riportate da La Marmora (1839) al quale si aggiunsero i contributi di Valsecchi (1964); Diana – Corrias (1973); Lorenzoni (1974); Wikus – Pignatti (1977). Con Arrigoni (1968) l'inquadramento vegetazionale dell'isola viene studiato in relazione al clima. Valsecchi (1980) utilizza il metodo fitosociologico per fornire un quadro dettagliato sulle conoscenze della vegetazione Sarda. Camarda & Satta (1995) e Fogu & Mossa (2001) aggiornano dal punto di vista sintassonomico e bibliografico i dati relativi alla vegetazione della Sardegna. Di seguito si riporta in sintesi la monografia “Vegetazione Forestale e serie di vegetazione della Sardegna” di Bacchetta et al. (2009).

In Gallura, (settore Nord-Orientale), la vegetazione prevalente è costituita dalle formazione a prevalenza di *Quercus suber* L., a volte in purezza, a volte consociata con *Quercus ilex* L., e/o *Quercus pubescens* Mill.

Lo strato arbustivo più o meno sviluppato a seconda dell'antropizzazione del bosco è formato prevalentemente da *Cistus ssp*, *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L., *Myrtus communis* L., *Lavandula stoechas* L. Salendo di quota le leccete si arricchiscono di elementi mesofili come *Ilex aquifolium* L. e *Sanicula europaea* L.

Altra situazione, invece, si presenta a est del Nuorese, la regione delle Baronie, caratterizzata da rilievi calcarei e scistosi, tra i quali spicca la dorsale calcarea del Monte Albo. Questa zona è distinta dalla presenza di leccete calcifughe con *Erica arborea* L. sui substrati metamorfici, mentre sui calcarei, sono presenti leccete calcicole con *Rhamnus alaternus* L. a quote basse e *Acer momspessulanum* L. a quote più alte. I settori scistosi con morfologia pianeggiante sono occupati da *Q.suber* L. mentre quelli collinari, alle quote più basse, vedono la presenza di boscaglie ad *Olea europaea var. sylvestris* Mill. Nel settore montuoso centrale si trova il complesso principale del Gennargentu dove si insediano micro boschi dominati da *Juniperus nana* Willd. e garighe di quota in cui si trovano endemismi come *Genista pichisermolliana* Vals. *Genista salzmanni* DC., *Thymus catharinae* Camarda, *Astragalus genargentea* Moris, *Ruta lamarmorae* Bacch., Brullo & Giusso e *Armenia sardoa* Spreng. Le aree montane e submontane sono caratterizzate dalla presenza di boschi a dominanza di querce caducifoglie. A quote più basse sono presenti leccete talvolta con *Fraxinus ormus* L. e *Ostrya carpinifolia* Scop. Nei settori più occidentali del Gennargentu, nelle aree più elevate dell'Ogliastra e ancor più nei territori della Barbagia di Belvì sono frequenti i castagneti in forma di boschi ceduati, alternati a boschi di querce caducifoglie e *Corylus avellana* L. Il settore a sud del Gennargentu, delimitato parzialmente dalla valle del Flumendosa è caratterizzato da altopiani calcarei, detti "Tacchi" e

“Tonneri”, che poggiano sul basamento cristallino e sulle formazioni metamorfiche nelle regioni del Sarcidano, Barbagia di Seùlo, Ogliastra e Quirra. In tali superfici dominano le formazioni a leccio, secondariamente si rinvengono boschi di querce caducifoglie e sughera e nelle aree dei tacchi d’Ogliastra si trovano le formazioni a carpino nero. Più tabulare è la regione del Gerrei, di media altitudine, compresa tra il basso Flumendosa ed il massiccio granitico dei Sette Fratelli. In questa sub-regione dominano formazioni termo-xerofile ad olivastro e filliree, ginepreti a *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* L., si riscontrano poi, boschi di leccio e formazioni edafoigrofile costituite da oleandri, ontani e salici a *Salix purpurea* L. La regione geografica del Sulcis-Iglesiente, situata nella Sardegna sud-occidentale, è dal punto di vista geologico, il territorio più antico dell’isola. La parte più meridionale del Sulcis è caratterizzata dalla presenza di formazioni a leccio su tutti i substrati, dal livello del mare sino alle aree cacuminali che, nelle zone più elevate, si arricchiscono di *Ilex aquifolium* L. e *Acer monspessulanum* L. Tra il massiccio dell’Iglesiente e i rilievi sud-orientali si interpone l’ampia depressione del Campidano, una grande pianura alluvionale, fiancheggiata ad est dalle colline mioceniche calcareo-marnose della Marmilla e della Trexenta. A nord del Campidano domina l’edificio vulcanico riolitico del Montiferru che si prolunga nei vasti tavolati basaltici di Campeda, della Planargia e di Abbasanta. In questi territori le ampie superfici tabulari sono occupate da sugherete mesofile e querceti con *Ilex aquifolium* L., *Sanicula europaea* L. e *Polystichum setiferum* Forssk. Sono inoltre presenti formazioni relittuali quasi pure a *Taxus baccata* L. e *Ilex aquifolium* L. Infine, tra il Sassarese, il Lugudoro e la Gallura è localizzata l’Anglona, costituita da un insieme di tavolati trachitici e trachandesitici. In quest’area molto eterogenea dal punto di vista litologico, si alternano formazioni calcicole e acidofile. Tra le prime dominano formazioni miste di *Quercus ilex* con querce caducifoglie, *Fraxinus ornus* L., *Viburnum tinus* L. e *Spartium junceum* L.; tra le acidofile, invece, le sugherete sui tavolati trachitici e i querceti caducifogli sui versanti andesitici. Nei settori collinari più prossimi alla fascia costiera si rinvengono *microboschi* misti a

Olea europaea var. *sylvestris* L., con numerosi elementi termofili. Su queste formazioni ha avuto un forte impatto l'attività agro-pastorale. Tra gli elementi tipici di questa fascia possiamo indicare *Ceratonia siliqua* L., *Pistacia lentiscus* L., *Rhamnus alaternus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *Calicotome villosa* (Poir.) Link e *Asparagus albus* L. Il perimetro costiero della Sardegna e delle isole adiacenti si sviluppa per circa 1.900 km. Le coste in gran parte alte e rocciose hanno un andamento per lunghi tratti rettilineo. Le coste rocciose, che comprendono oltre i tre quarti dei litorali Sardi, presentano una cospicua varietà di forme in rapporto alla grande diversità delle rocce che le compongono. Il paesaggio della fascia costiera è caratterizzato dalla presenza di elementi termofili litoranei come *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* L., *Chamaerops humilis* L., *Pinus halepensis* Mill. e *Euphorbia dendroides* L., che costituiscono boscaglie e macchie seriali. In particolare le pinete sono tutte concentrate nella parte sud-occidentale dell'Isola nell'Arcipelago Sulcitano e nella fascia costiera compresa tra Buggerru a nord e Porto Botte a sud. I ginepreti sono invece diffusi in tutta la fascia costiera e su tutti i substrati litologici. Alle alte coste si intercalano i litorali sabbiosi di varie dimensioni. Il paesaggio delle dune costiere è dominato da specie psammofile quali *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* L. che caratterizza le boscaglie delle dune stabilizzate. Discorso a parte meritano le formazioni legate agli ambienti acquatici, siano essi d'acqua dolce o salmastra. Nelle aree costiere di tutta la Sardegna rivestono particolare importanza le formazioni alofite e alonitrofile caratterizzanti gli stagni, le lagune e i laghi salsi. I corsi d'acqua e i bacini interni sono caratterizzati da una vegetazione diversificata. Nelle aree dove dominano i substrati non carbonatici i boschi sono prevalentemente costituiti da *Alnus glutinosa* L. Dove, invece, si ha sedimentazione massiccia e le acque perdono velocità si rinvencono boscaglie a *Salix purpurea* L. I pioppeti e i saliceti a *Salix alba* L. tendono a prevalere invece nelle aree carbonatiche o dove le acque divengono più eutrofiche. Boschi e boscaglie planiziali a *Populus alba* L., *Fraxinus oxycarpa* Vahl e *Ulmus minor* Mill. Subsp. *minor* si rinvencono anche in talune aree impaludate, specie nella Sardegna meridionale.

Boscaglie e macchie a *Nerum oleander* L., *Vitex agnus-catus* L. e *Tamarix* sp. pl. si rinvencono lungo corsi d'acqua a regime torrentizio a periodi di secca prolungati. Sotto l'aspetto legato al fenomeno incendi l'isola presenta diverse tipologie vegetazionali derivanti dalle varie combinazioni di specie arboree e arbustive e dalle conseguenti caratteristiche strutturali.

La superficie forestale della Regione ammonta complessivamente a 862.538,58 ettari con un indice di boscosità pari al 35,81% ed è, in base alla metodologia di rilevamento adottata dall'ISTAT, distinta in "superficie forestale boscata" e "superficie forestale non boscata" (Piano AIB, 2011-13, Regione Autonoma della Sardegna).

Tabella 1: Superficie boscata e non nelle 8 provincie (Piano AIB Regione Sardegna 2011-2013)

Provincia	Superficie Territoriale ha	Superficie Boscata ha	Indice di boscosità %
CAGLIARI	456.964,08	153.131,58	33,51
SASSARI	428.498,06	107.463,00	25,08
NUORO	392.776,46	169.750,0	43,21
ORISTANO	302.407,82	94.739,00	31,33
CARBONIA- IGLESIAS	149.941,06	70.100,00	46,75
MEDIO CAMPIDANO	151.700,01	37.191,00	24,52
OGLIASTRA	185.656,44	97.473,00	52,5
OLBIA- TEMPIO	340.417,80	132.691,00	38,98
TOTALE	2.408.361,73	862.538,58	

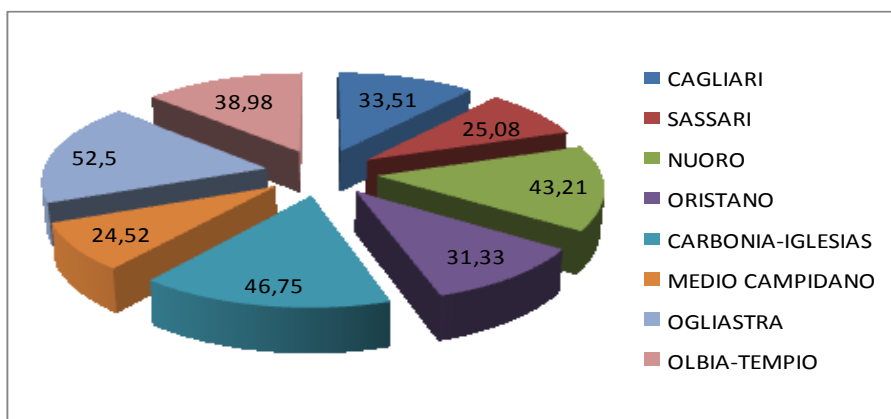


Figura 3: Indice di boscosità nelle otto province della Regione Sardegna

Inquadramento climatico della Regione Sardegna

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come Mediterraneo interno, caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde. Da un punto di vista più generale, il Mediterraneo può essere considerato come una fascia di transizione tra le zone tropicali, dove le stagioni sono definite in accordo alla quantità di pioggia, e le zone temperate, dove le stagioni sono caratterizzate dalle variazioni di temperatura. Di conseguenza esso presenta grandi variazioni inter-stagionali di precipitazione accompagnate da variazioni di temperatura, senza però che le une le altre raggiungano i valori estremi tipici delle due aree climatiche. Nonostante il clima possa definirsi bi-stagionale, dai dati delle stazioni termopluviometriche costiere e quelli delle stazioni interne e montane, oltre i 1.000 m di quota, si registrano rilevanti variazioni sia nei dati di temperatura che in quelli delle precipitazioni. Si osserva, inoltre, una maggiore abbondanza delle precipitazioni sul versante occidentale dell'Isola rispetto a quello orientale, ed un loro graduale incremento, a parità di altitudine, procedendo verso nord. La posizione geografica e l'insularità sono i fattori generali del clima della Sardegna, mentre alla complessa orografia si deve la diversificazione nei suoi vari territori.

Sostanzialmente il contrasto stagionale porta alla presenza di due sole stagioni con pronunciati periodi di transizione tra quella invernale a quella estiva. Attraverso l'analisi di una grande mole di dati relativi ad alcuni parametri fisici di interesse climatologico misurati in Sardegna è possibile valutare l'andamento medio mensile ed annuale della pressione, del vento, della temperatura (massima, minima e media), dell'umidità (specificata e relativa) e delle precipitazioni (piovosa e nevosa). I dati utilizzati sono in genere rilevati su base giornaliera e provengono complessivamente da 259 stazioni appartenenti a diversi enti: il *Servizio Idrografico Nazionale* (245), l'*Aeronautica Militare* (12), l'*Istituto di Agronomia e Coltivazioni Erbacee* della Facoltà di Agraria di Sassari (2) ed altri. Quanto al periodo scelto, si utilizzano dati, in genere, riferiti a 30-40-50 anni. Al riguardo, vi sono diversi studi climatici in Sardegna dei quali il primo studio completo fu pubblicato da Serra (1958) poi da Arrigoni (1968).

Nel 1991, gli studi climatici in Sardegna vengono ulteriormente ampliati in seguito all'istituzione del SAR (Servizio Agrometeorologico della Sardegna). Il SAR oggi è sostituito dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna (ARPAS). Le attività del SAR sono state trasferite al Dip. Specialistico Regionale Idrometeorologico che dispone di circa 60 stazioni dislocate in tutto il territorio e sui dati pubblicati dall'ARPAS si cercherà di dare un quadro esaustivo, considerando ciascun parametro climatico riferito, in tal senso, al periodo 1951-1980.

- **Piovosità**

Lo studio delle piogge da un punto di vista statistico presenta alcune difficoltà legate all'estrema irregolarità del fenomeno. A tal fine verranno riportati solo alcuni dati delle medie mensili e annuali per permettere di fare considerazioni sull'aspetto climatologico della Sardegna.

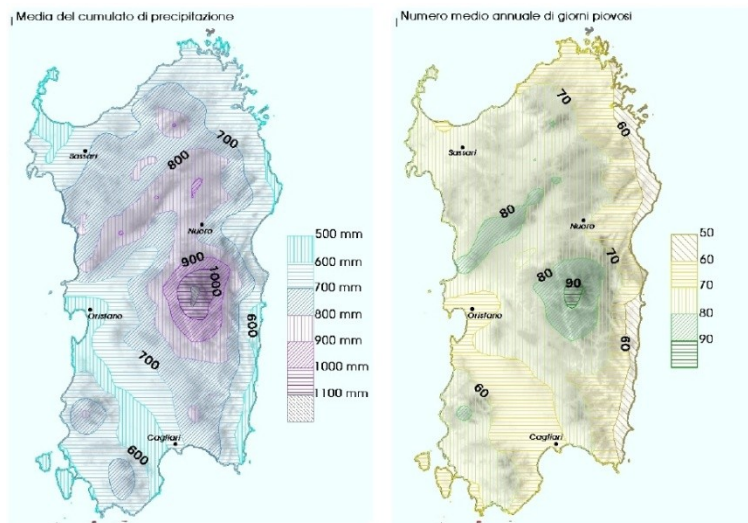


Figura 4: Cumulato medio annuo delle precipitazioni e numero medio di giorni piovosi (Fonte: Arpas)

In fig. 4 è riportato l'andamento medio annuale delle precipitazioni. Sono evidenti quattro zone piovose: le aree a ridosso del Gennargentu, la parte centrale della Gallura, l'altopiano di Campeda e infine l'Iglesiente. La Nurra e il Campidano si presentano come zone secche, assieme ad una terza, di più difficile delimitazione, localizzabile nella fascia centrale del Nord – Sardegna, con valori inferiori ai 600 mm annui. Per quel che riguarda le medie mensili si osserva la presenza di due stagioni: una relativa al periodo che va da ottobre ad aprile, e l'altra che si estende da maggio a settembre. Il passaggio fra le due stagioni è particolarmente marcato fra settembre ed ottobre, in corrispondenza del quale, per le zone piovose, si va da valori di 40-60 mm a valori di 80-160 mm. Il massimo cumulato di precipitazione si ha a dicembre, il quale, assieme agli altri mesi compresi tra novembre e febbraio, ha un andamento che segue quello

annuale; si evidenziano quindi quattro zone piovose già citate, cui si aggiunge una quinta, il Sarrabus, e due zone secche.

Le precipitazioni del periodo vanno da poco più di 600 mm/anno dell'estremo Sud dell'isola a oltre 1.000 mm/anno nelle zone montane del centro-Nord; le zone in cui piove più spesso sono, appunto, il Gennargentu, il Limbara e l'altopiano di Campeda, dove si hanno mediamente più di 80 giorni piovosi l'anno. Un'altra caratteristica delle piogge è la maggior frequenza nelle zone esposte al regime Nord-occidentale con anche 100 giorni all'anno di pioggia contro i 10-20 giorni della costa orientale, in particolare in Baronia, Ogliastra, Gerrei e Sarrabus.

Il periodo di aridità estiva è mediamente di tre mesi e in numerose aree costiere, specie della Sardegna meridionale supera anche quattro mesi.

Il fatto che la Sardegna presenti una piovosità in media scarsa e irregolare rispetta in sostanza alcune regole dettate dalla circolazione atmosferica generale e dalla variazione di latitudine delle principali figure alto pressorie e depressionarie, in relazione alla posizione della terra rispetto al sole. Dal mese di maggio la Sardegna comincia ad entrare nella fascia di alte pressioni, Nord Africane, a cui si associa un campo di pressione livellato a tutte le altezze e un clima generalmente monotono, con frequenti giornate serene. Dal mese di settembre in poi la fascia di alte pressioni si abbassa di latitudine permettendo alle alte depressioni Atlantiche di entrare nel mediterraneo occidentale e stabilizzare il tempo sull'isola. Il periodo in cui la fascia di alte pressioni, si trova più meridionale è quello di dicembre – gennaio, periodo in cui l'isola è maggiormente interessata da figure depressionarie, portatrici di piogge e temporali. Un ruolo importantissimo nella distribuzione delle piogge lo giocano i rilievi, ma è da considerare anche la posizione dell'isola rispetto alle traiettorie prevalenti delle depressioni, portatrici di piogge. E' semplice intuire come le zone con la piovosità minore siano quelle più lontane dai rilievi e con la posizione più meridionale (Sardegna Arpa, 2011).

- **Temperature**

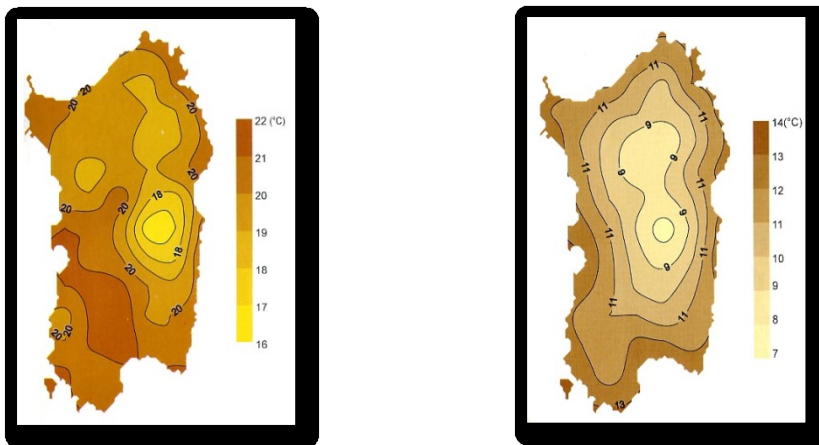


Figura 5: Valore medio annuale di temperatura massima e minima (Sardegna Arpa)

Esaminando fig. 5 emerge che la distribuzione spaziale della media annuale delle temperature massime risente fortemente dell'orografia. Sono infatti chiaramente individuabili le pianure del Campidano e della Nurra, così come le aree montuose. Analizzando i valori mensili si può notare che le variazioni tra un mese ed il successivo permettono di individuare due precisi periodi di marcate transizioni marzo – aprile e settembre – novembre, che delimitano le due stagioni climatiche tipiche delle regioni mediterranee, così come due periodi (luglio e agosto, dicembre e febbraio) con temperature medie sostanzialmente costanti. Questi risultati saranno confermati anche dalle temperature minime e dalle precipitazioni. Riferendoci a questi due periodi si nota che nella stagione invernale l'effetto dominante è quello dovuto al mare (con conseguente continentalità delle zone interne), in quanto evidentemente la sua influenza ha un effetto stabilizzante rispetto ai fenomeni transienti caratteristici di tale stagione. Mentre nella stagione estiva domina l'effetto stabilizzante delle aree anticicloniche e si evidenzia un gradiente Nord – Sud nei valori di temperatura. Naturalmente a questi effetti si sommano sempre quelli

dovuti alla struttura orografica, la cui complessa distribuzione è la principale fonte di variabilità locale di tutti i fenomeni meteorologici che interessano l'isola.

Dall'analisi del numero medio di giorni con temperature superiori ai 35°C sia per tutto l'anno, che per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre è evidente che l'incidenza maggiore è legata alla continentalità delle zone interessate mentre non si notano differenze dovute alla variazione della latitudine.

La vicinanza con l'Africa rende comunque l'isola soggetta a frequenti irruzioni di aria calda che condizionano i minimi nel trimestre invernale ma che nei restanti mesi, può portare al raggiungimento di temperature molto elevate. Altro fattore che influenza le medie mensili è soprattutto la vicinanza del mare. Questa, infatti, riesce a spostare di qualche settimana il periodo di freddo più intenso nelle coste occidentali così come il sopraggiungere del periodo caldo. La distribuzione spaziale dei valori di temperatura minima evidenzia una maggiore stabilità di questo parametro durante i mesi. Tale stabilità è legata alla presenza del mare cui si sovrappone un leggero effetto dovuto alla variazione della latitudine e ai rilievi orografici centro – orientali. Nonostante questa regolarità inter-mensile, osservando la variazione media tra un mese ed il successivo, si nota che le due stagioni caratteristiche sono ancora ben evidenti. La temperatura media minima più bassa si registra soprattutto nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo con valori che vanno da 5-6°C a valori di 7-11°C.

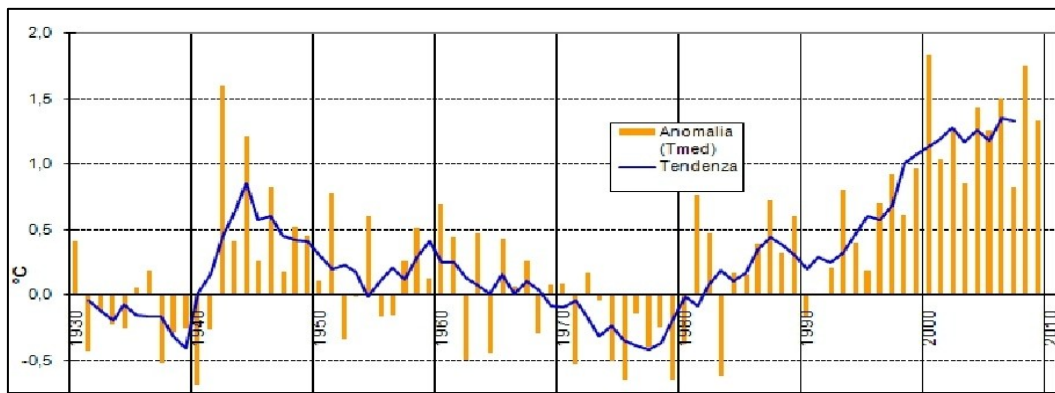


Figura 6: Temperature suddivise in anomale e tendenza in Sardegna dal 1930 al 2009 (Arpa Sardegna)

Il confronto coi valori storici a partire dal 1930 (Fig. 6) mostra chiaramente che le temperature degli anni recenti si trovano ormai a +1.2/+1.3°C rispetto alla normale climatologica, cioè al valore medio del 1961 – 1990.

- **Regime dei venti.**

Per vento si intende la velocità dell'aria misurata, convenzionalmente con l'anemometro, rispetto ad una superficie parallela a quella terrestre. Il dato si compone di due parti: una direzione espressa in gradi sessagesimali, e una velocità, espressa in m/s. Si considera ad esempio il verso di provenienza di 90° quando il vento arriva da est, mentre è di 270° quando arriva da ovest. Lo stato del vento in superficie è determinato, oltre che dalla situazione sinottica generale, anche dall'orografia complessa della Sardegna. Nelle località costiere è molto attivo il regime delle brezze che, essendo causate dalla differenza di temperatura fra terra e mare, sono di natura locale e in particolare nelle ore centrali della giornata. Per quanto riguarda l'analisi completa dei dati provenienti dalle diverse stazioni, si fa notare che calcolare separatamente le medie della direzione e della velocità può causare dei problemi, non solo pratici ma anche di interpretazione. Pertanto le direzioni sono state suddivise in ottanti, corrispondenti agli otto venti della Rosa dei Venti classica, e la velocità in tre fasce:

Vento di intensità moderata ($1.5 < v < 8.0$ m/s)

Vento di intensità intermedia ($8.0 < v < 13.5$ m/s)

Vento di forte intensità (> 13.5 m/s)

I dati di cui si dispone vengono messi a disposizione dall'ARPA Sardegna che calcola la frequenza combinando la velocità, direzione e posizione della stazione di rilevamento per un periodo che va dal 1951 al 1993 relativi al vento di massima intensità misurato nell'arco delle 24 ore e rappresentano l'istante della giornata in cui tale fenomeno ha raggiunto il suo massimo, per cui il dato si riferisce all'intera giornata e non quello misurato istante per istante. La figura 7 riporta la distribuzione del vento nelle varie direzioni, indipendentemente dalla velocità. Come si evidenzia, in Sardegna, sono poco frequenti la calma di vento ed estremamente rari i giorni completamente privi di questo fenomeno. Si nota, inoltre, che i venti dominanti sono il Ponente e il Maestrale (Ovest e Nord-Ovest), in particolare per quel che riguarda il vento di forte intensità (fascia III). Sempre dalla stessa figura, si rileva che alcune stazioni sono particolarmente esposte a vento di intensità elevata provenienti da direzioni diverse ed in particolare: l'Asinara (Levante e Scirocco), Capo Bellavista (Grecale) e Capo Frasca (Scirocco).

Per i venti d'intensità intermedia (fascia II), oltre al solito Ponente e Maestrale, si osserva che anche i venti di provenienza Meridionale ed Orientale (Ostro, Scirocco e Levante) giocano un ruolo importante un po' in tutte le stazioni.

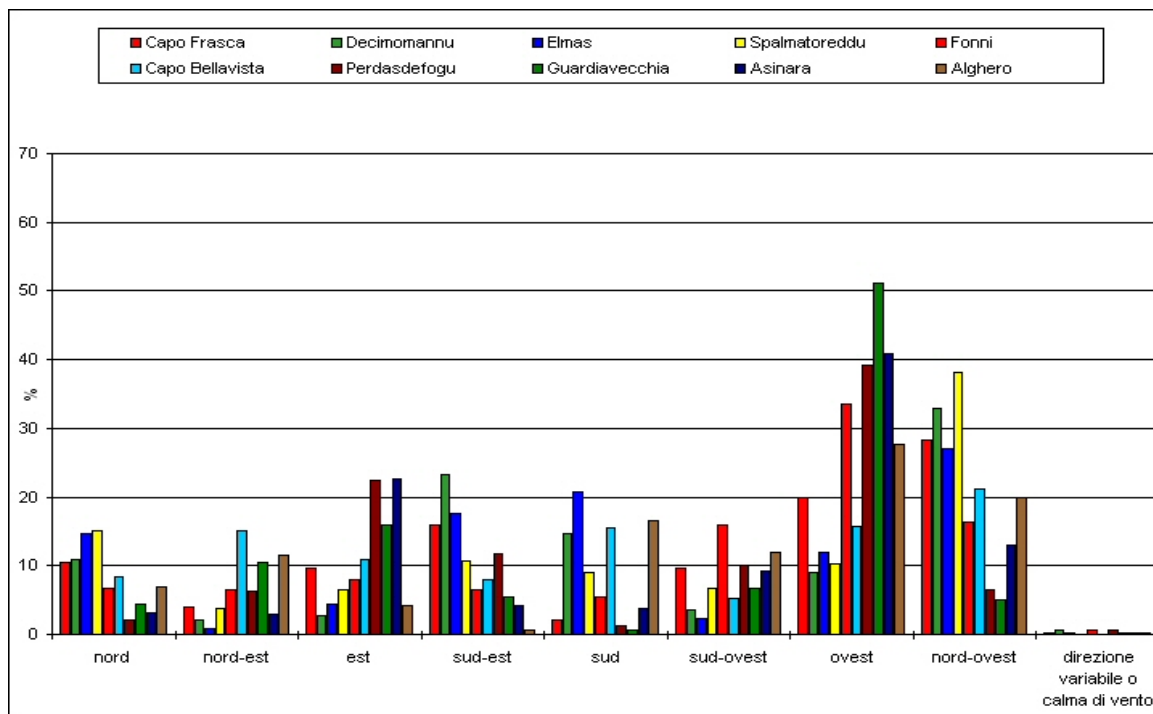


Figura 7: Direzione di provenienza del vento massimo (Dati raggruppati per direzione; Sardegna Arpa)

Diverso, invece, il caso dei venti di debole intensità (fascia I), che possono essere fortemente influenzati da fattori locali, quali brezze, la geografia del luogo e la dislocazione della stazione. E' questo il motivo per cui si osserva una distribuzione pressoché omogenea dei fenomeni.

Sommando i valori dei venti provenienti da Ovest e da Nord-Ovest, si vede che per tutte le stazioni, quando il vento è di intensità superiore ai 13.5 m/s, esso proviene da una delle due direzioni per il 40% delle volte, raggiungendo picchi del 60-70% per stazioni quali Perdasdefogu, Guardiavecchia (La Maddalena), Spalmatoreddu (Carloforte) e Decimomannu. Nelle situazioni in cui domina il Maestrale è poco presente il Ponente e viceversa. Tale differenza è generalmente attribuibile all'esposizione della stazione, piuttosto che alla situazione sinottica che causa il vento forte. Il Maestrale, durante l'inverno è freddo e spesso violento, mentre d'estate mitiga le temperature, ma data la sua elevata velocità è pericoloso per la propagazione di eventuali incendi, lo scirocco invece è dannoso in primavera, in quanto

intensifica l'evapotraspirazione. Considerando la distribuzione del vento nelle tre fasce nei vari mesi dell'anno, si può osservare che, per quasi tutte le stazioni, il vento di intensità elevata (fascia III) è più frequente nei mesi invernali (dicembre-marzo) che in quelli estivi, con un marcato cambio di stagione fra aprile e maggio ed un altro più diluito fra settembre e novembre. Per il vento di velocità intermedia (fascia II), si nota invece un regime sostanzialmente opposto, con maggiore presenza di vento di questa fascia nei mesi estivi (giugno- settembre), con cambi di stagione poco marcati.

Suscettibilità delle cenosi forestali al passaggio del fuoco

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

L'infiammabilità esprime la facilità con cui un combustibile si accende e brucia in presenza di fiamme (Stacey et al., 2012). L'infiammabilità delle singole specie vegetali che costituiscono una cenosi forestale è determinata dalle proprietà fisiche e chimiche (oli, resine, cere) delle loro componenti, soprattutto quelle di piccola dimensione (foglie, steli, aghi, parti legnose sottili), e dalla loro disposizione spaziale. Ad esempio, le specie del genere *Pinus* contengono resine altamente volatili e ciò influenza significativamente l'intensità e la velocità di propagazione del fuoco. L'infiammabilità di una cenosi forestale è inoltre il risultato di interazioni complesse in cui le proprietà delle singole specie si combinano con la struttura spaziale del soprassuolo, che a sua volta influisce su parametri quali il profilo del vento, l'umidità del combustibile morto e vivo e l'umidità del suolo. In particolare, la quantità e la distribuzione del combustibile fine morto (combustibili morti a rapida essiccazione con diametro inferiore a 6 mm, quali erba, foglie, aghi

di pino e piccoli ramoscelli, definiti combustibili a 1H; Stacey et al., 2012) sono le caratteristiche strutturali maggiormente determinanti per l'innesco e la propagazione del fuoco in foresta.

L'intensità e la pericolosità degli incendi sono strettamente collegate al tipo di vegetazione ed aumentano con l'incremento della presenza di arbusti nella cenosi forestale, in particolare dei cisti, che sono altamente infiammabili, invadenti e non particolarmente appetiti dal bestiame, capaci di mantenere la predisposizione all'incendio delle cenosi in cui abbondano. La suscettibilità connessa con l'infiammabilità è associata alla presenza di terpeni ed altre sostanze aromatiche che, d'altra parte, rendono la pianta inappetibile e quindi resistente al pascolamento ma favoriscono la combustione. Altri composti infiammabili sono i metaboliti secondari: i terpenoidi (terpeni e isoprenoidi), che costituiscono il più vasto gruppo di composti vegetali e risultano diffusi nelle conifere e in diverse piante aromatiche ricche di oli essenziali tipiche della macchia Sarda. Nei boschi di latifoglie in purezza (*Quercus suber* L., *Quercus ilex* L., *Quercus pubescens* Willd) sono pertanto più limitate le possibilità di fuochi altamente dannosi.

Le formazioni forestali a prevalenza di macchia mediterranea e le formazioni del genere Pinus, indicate tra le più suscettibili al passaggio del fuoco, sono molto rappresentate nella Regione Sardegna, ed estendendosi rispettivamente secondo l'INFC 2005 per 515.352 e 67.514 ha aumentano considerevolmente la pericolosità potenziale a livello Regionale.

Capitolo 2: Le motivazioni degli incendi boschivi in Sardegna secondo la percezione degli esperti

Introduzione

Gli incendi boschivi sono prevalentemente un fenomeno di origine antropica, che dipende direttamente dal comportamento sociale, volontario o involontario dell'uomo.

Nonostante i progressi nella conoscenza circa gli aspetti fisici del fenomeno, le sue cause rimangono in molti frangenti poco note. Comprendere le ragioni per cui gli incendi si sviluppano è un fattore cruciale nel determinare come intervenire per prevenire o ridurre la loro diffusione e progettare specifici interventi di prevenzione incendi. Questo aspetto è quasi impossibile da pianificare se rimangono sconosciute le cause e le motivazioni degli incendi. Una tecnica promettente per migliorare la conoscenza delle cause e motivazioni, che sono alla base del fenomeno, è il metodo Delphi, una metodologia di studio capace di generare idee e facilitare il consenso tra individui che hanno particolari conoscenze da condividere riguardo un determinato argomento. Il metodo Delphi usa una serie di questionari somministrati ad un panel di esperti accuratamente selezionati.

In questo capitolo si riportano i risultati dell'applicazione del metodo Delphi nelle otto province della Regione Sardegna, finalizzato a fornire una più chiara e profonda conoscenza della matrice del fenomeno, la lettura di statistiche più precise e affidabili e l'esclusione, dalla classificazione delle motivazioni del CFVA (Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale), di quelle predominanti sconosciute e non identificate limitando così l'interpretazione della realtà del problema e delle sue specifiche connotazioni nel territorio sardo. La Sardegna rappresenta un vero e proprio epicentro per gli incendi boschivi, che sono una presenza endemica e ricorrente: l'immagine dell' "isola di fuoco e di pietre ", come proposto dallo scrittore Gavino Ledda (1975), sintetizza le sue caratteristiche più rilevanti.

Le statistiche sugli incendi in Sardegna elaborate dal Corpo Forestale di Vigilanza Ambientale presentano un elevato numero di cause sconosciute. In molti casi le cause sono classificate come sconosciute involontarie - volontarie o genericamente sconosciute, senza specificarne un motivo. Al fine di ridurre il numero di eventi sconosciuti, che ostacola davvero l'approccio preventivo voluto, è stato testato, in collaborazione con il Servizio Forestale Regionale (CFVA) un approccio nuovo per estrapolare informazioni sulle cause. Una delle possibili alternative è il metodo Delphi, tecnica di comunicazione strutturata, che si basa sulla conoscenza del fenomeno da parte di un panel di esperti. In questo studio, oggetto di pubblicazione scientifica, è stato realizzato un sondaggio Delphi nelle otto province della Regione Sardegna.

Il fenomeno degli incendi in Sardegna

La regione Sardegna registra la più alta incidenza di incendi boschivi tra le Regioni italiane. I dati statistici e le fonti storiche mostrano che circa 600.000 ettari di bosco sono stati bruciati negli ultimi 120 anni (D'Angelo et al.,1998).

Nel periodo tra gli anni 1970-2010 i dati documentati (Regione Autonoma della Sardegna, 2011), riportano i seguenti parametri (media \pm SD e CV, coefficiente di variazione) :

Numero incendi 3.341 ± 1.113 (0,34)

Superficie percorsa totale (ha) $38,336 \pm 27,619$ (0.70)

Superficie boschiva bruciata (ha) $7,701 \pm 6,847$ (0.87)

Grandi superfici percorse sono di solito associate a periodi di prolungata siccità e ondate di calore, mentre superfici ridotte interessate dal fuoco si verificano in presenza di precipitazioni primaverili.

La storia della Sardegna riporta esempi remoti di uso ricorrente del fuoco su vasta scala, a partire dalla strategia della “*terra bruciata*” adottata dai Cartaginesi fino dal 238 BP e poi dai Romani.

Data l'importanza sociale e l'impatto dei danni del fuoco, la Sardegna è stato uno dei primi paesi in Europa in cui gli incendi rurali e forestali furono severamente perseguiti. Un modello di tali Corpus Juris è la Carta de Logu, una serie di codici di diritto umanitario emanato intorno 1392 da Eleonora d'Arborea, Regina del Giudicato (Regno) di Arborea (provincia di Oristano di oggi), che ha istituito il concetto di responsabilità collettiva degli abitanti del villaggio. Una serie di ricerche hanno affrontato il fenomeno intrigante delle cause di incendio nell'isola (Angioni 1993; Saba 2004; Susmel 1974) e da un punto di vista descrittivo di massima, ha portato a distinguere una causa endemica, quale causa ricorrente a cui si aggiungono ondate successive di altre motivazioni.

La causa endemica rimane associata al modello specifico di uso del suolo dell'isola negli ultimi secoli, cioè a una co - presenza di agricoltura e pastorizia principalmente di ovini, favorita dalla presenza dominante dei pascoli.

Il fuoco era considerato uno strumento importante nel compito di far rinvigorire le specie erbacee per il consumo del bestiame durante la primavera e l'estate (Whited 2000).

A causa della frammentazione del territorio e l'eterogeneità della copertura del suolo, tipica di ambienti mediterranei, a volte era favorita la propagazione del fuoco dalle praterie alle zone con arbusti e alle aree boschive. (Enne et. al., 2002).

Il pascolo in Sardegna è stato ammesso su terre comunali fino al 1823, quando l'*editto delle chiudende* ha privatizzato migliaia di ettari, mettendo queste terre sotto il controllo di outsider o in mani private. Ricchi proprietari terrieri acquistarono vaste superfici a pascoli, precedentemente comunali, e hanno cercato di limitare i diritti di uso nelle loro terre, molte delle

quali furono poi vendute o affittate accentuando risentimenti tra pastori e agricoltori (Whited, 2000). Questo risentimento contrassegnò un'ondata di incendi (Beccu, 2000), che ha assunto caratteri sociali pericolosi. Incendi di protesta contro l'espropriazione delle terre comunali o diritti tradizionali erano una reazione piuttosto frequente in tutti i paesi del Mediterraneo (Vallejo, 2005).

Dopo il 1861 (Regno d'Italia), le risorse forestali della Sardegna (circa 558.555 ettari, di cui 81 % erano principalmente fustaie, anche se molto degradate) sono state travolte da un uso e prelievo incontrollato di legname.

Nel periodo 1879-1883 sono stati percorsi da fuoco circa 53.000 ettari di bosco, (73,65 % del valore totale nazionale) (Beccu, 2000).

La pastorizia è considerata la principale causa di incendi a cavallo tra la fine del XIX e l'inizio del secolo XX (Enne et al. 2002), quando il numero di ovini stava rapidamente crescendo con incremento pari al 160 %.

Negli anni '60 - '70 del XX secolo, un complesso processo di modifiche ha coinvolto questo mondo arcaico, con la trasformazione del diversificato paesaggio agro - silvo - pastorale in una sorta di monocultura pastorale, sfiorando incrementi del numero di ovini del 365 % (Meloni, 2012) in aumento fino a 3500 % in alcuni comuni pastorali emblematici come Gavoi e Fonni.

Il numero di ovini è cresciuto da 2,3 milioni a circa 4 milioni (Enne et al 2002), anche ma non esclusivamente, sotto l'effetto delle sovvenzioni dell'Unione Europea.

Questo incremento è stato accompagnato da una complessa evoluzione delle terre abbandonate, che rapidamente hanno dovuto affrontare l'invasione di specie invasive principalmente *Cistus* spp. In tali condizioni il comportamento del pascolo delle pecore, che preferiscono l'erba agli arbusti, portò gli agricoltori a eliminare dai pascoli gli arbusti preferibilmente utilizzando il

fuoco per motivi economici, anche in situazioni di elevate pendenze del suolo e su terreni pietrosi dove erano difficoltose e costose le altre pratiche di coltivazione mediante aratura (Pulina et al 1997, Molina e Sanroque 1996).

Gli incendi non erano solo la conseguenza della gestione delle risorse, ma anche l'espressione di conflitti e di azioni di ritorsione tipiche della società pastorale, arricchite da nuove condizioni in cui la tendenza all'appropriazione di risorse collettive era inevitabile.

Nel decennio 1980-90 ulteriori modifiche del paesaggio segnano lo scenario degli incendi: decrescono le superfici bruciate, con uno spostamento rilevante del fenomeno dalle aree interne tradizionalmente pastorali verso le zone costiere (dove le attività turistiche crescevano) (Meloni, 2012); e le nuove motivazioni sembrano essere legate allo sviluppo turistico della zona e ai nuovi interessi economici (FAO, 1999; Meloni, 2012).

Tra gli altri motivi si aggiunsero incendi appiccati dagli occupati stagionali impiegati dai-servizi comunali di lotta AIB, col fine di avere o stabilizzare il loro reddito; oppure la creazione di pericolosi incendi in aree turistiche per indurre i proprietari a vendere i loro beni (Meloni, 2012), speculativo (fuoco come arma di ritorsione, Kuhlken 1999).

Si può affermare pertanto che da sempre l'incendio nello spazio rurale costituisce per la Sardegna uno dei rischi ambientali maggiori per il danno sia sotto il profilo paesaggistico e del dissesto idrogeologico, che dal punto di vista economico. Il periodo di maggiore insorgenza e sviluppo degli incendi nel territorio dell'isola include la stagione estiva e ultimamente anche i primi mesi autunnali. Al di là delle molteplici cause che stanno a monte del problema degli incendi, appare evidente che i danni provocati al patrimonio forestale, l'incremento del dissesto idrogeologico, l'alterazione del paesaggio, la continua minaccia alle strutture, ai centri abitati e alle persone, l'accentuarsi del fenomeno della desertificazione conseguenti all'incendio, rendano

il fenomeno uno dei principali fattori di impoverimento del territorio.

Analisi dell'area di studio

La Sardegna ha una superficie territoriale di 24.083,61 km². Con la legge regionale 12 luglio 2001, n. 9 alle già esistenti province di Cagliari, Nuoro, Oristano e Sassari se ne aggiunsero altre quattro. Le nuove province sono divenute poi operative a seguito delle elezioni provinciali dell'8 e 9 maggio 2005 e sono quelle di:

- Olbia-Tempio (*con capoluoghi Olbia e Tempio Pausania*)
- Ogliastra (*con capoluoghi Lanusei e Tortolì*)
- Carbonia-Iglesias (*con capoluoghi Carbonia e Iglesias*)
- Medio Campidano (*con capoluoghi Sanluri e Villacidro*)

L'applicazione del metodo Delphi in tutte le predette province si è svolto convocando in apposite riunioni forestali del CFVA in esse operanti.

Per facilitare e rendere più elevato possibile il numero degli esperti del CFVA che partecipassero al sondaggio Delphi gli incontri hanno riguardato tutti gli ispettorati forestali Regionali, col fine di far emergere tutte le differenze sulle cause degli incendi boschivi legate alle peculiarità e diversità del territorio Regionale.

Concentrazione e diffusione del problema degli incendi in Sardegna (1970 – 2012).

Il rilevamento dei dati relativi agli incendi avviene, in Sardegna, in diverse fasi: la prima di questa attività, esclusiva del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale, è la catalogazione degli eventi. A tale scopo vengono utilizzati appositi modelli, denominati INCE 1 e INCE 2, compilati

dalle Stazioni Forestali e di Vigilanza Ambientale o Unità Operative di Comparto (U.O.C.) per ogni incendio verificatosi nella giurisdizione di competenza. La seconda fase avviene presso la SOUP-COR sala operativa unificata permanente - Centro Operativo Regionale, dove i dati confluiscono in un database strutturato in modo tale da analizzare e comparare l'evoluzione del fenomeno negli ultimi anni con le ricerche effettuate a partire dagli anni 70 (Meloni et al., 2004). Occorre precisare che la rilevazione degli incendi considera tutti gli eventi che si verificano sul territorio a prescindere della dimensione finale della superficie percorsa e se il fuoco ha o meno interessato area boscata; i dati trasmessi all'Istat o pubblicati dal CFS, riferiti sia all'intero territorio nazionale che alle singole regioni Italiane, spesso riguardano solo gli eventi che hanno percorso superfici boscate e costituiscono, quindi, una parte delle rilevazioni (Fonte: CFVA).

La conoscenza dei dati storici relativi agli incendi nell'isola rappresenta lo strumento per analizzare il fenomeno e valutarne le cause, così da attuare la migliore strategia finalizzata a ridurre il numero di eventi e mitigarne i danni. Dall'esame dei dati contenuti nelle diverse relazioni annuali predisposte dal CFVA si evince che il fenomeno degli incendi in Sardegna ha un andamento ciclico. La frequenza degli eventi e le aree delle superfici interessate seguono approssimativamente lo stesso andamento nel tempo; anche se il numero degli incendi appare in lieve ma progressiva diminuzione negli ultimi anni, la superficie boschiva percorsa non segue lo stesso andamento. L'anno 2009 è stato un anno tragico per quanto riguarda il numero di eventi (2.571) e la superficie percorsa dal fuoco (40.729 ha), che infatti risulta superiore a quella degli anni passati (Tab. 2). Ciò è ritenuto effetto del periodico verificarsi di particolari condizioni climatiche che determinano presupposti favorevoli allo sviluppo degli incendi. La campagna 2008 ha registrato 1.737 interventi e la superficie totale percorsa è stata di soli 6.681 ettari di cui 1.859 di bosco. Questo dato è da annoverare tra i migliori degli anni 2000-2012. L'anno 2010 inverte la tendenza; se è vero che il numero degli incendi aumenta addirittura di 1200 unità,

tanto da equivalersi all'anno 2011, la superficie totale percorsa risulta notevolmente diminuita come pure la superficie forestale. L'analisi del numero di incendi registrati nel 2011 conferma l'andamento tendenzialmente stabile degli ultimi 2 anni del numero delle insorgenze.

Tabella 2: Statistica incendi in Sardegna 1971 – 2012 (RAS, Piano AIB 2011-2013)

Anno	Incendi N°	Sup. totale	Sup.boscata. ha
1971	2.346	46.760	10.529
1972	3.641	33.362	3.253
1973	3.963	31.885	2.581
1974	3.739	37.273	4.232
1975	4.428	46.046	6.145
1976	3.717	21.096	2.610
1977	3.859	43.320	8.631
1978	4.906	53.443	7.407
1979	4.735	59.739	7.420
1980	5.604	73.982	8.732
1981	5.926	120.137	14.453
1982	2.435	59.718	12.303
1983	1.639	124.215	37.504
1984	2.155	17.327	1.563
1985	4.895	56.983	9.121
1986	3.282	41.397	4.229
1987	3.809	35.749	7.607
1988	3.239	53.775	9.433
1989	1.770	26.014	6.883
1990	2.863	34.074	6.309

1991	4.378	48.895	5.464
1992	4.886	33.156	5.775
1993	4.534	79.262	24.396
1994	3.864	71.211	17.075
1995	1.336	3.569	953
1996	1.716	4.216	398
1997	2.492	9.595	2.867
1998	3.035	32.724	12.781
1999	2.720	26.432	6.886
2000	2.051	15.733	5.236
2001	3.484	20.059	5.385
2002	1.868	13.045	3.403
2003	2.941	22.580	8.000
2004	3.143	21.496	5.052
2005	3.044	13.400	3.176
2006	2.379	8.330	1.903
2007	3.325	34.295	12.053
2008	2.389	6.681	1.839
2009	2.571	40.729	12.281
2010	3.646	11.749	2.198
2011	3.253	18.461	3.672
2012	2.349	13.958	2.247
MEDIA	3.294	50.140	7.476
Deviazione Standard	1.109	91.011	6.758

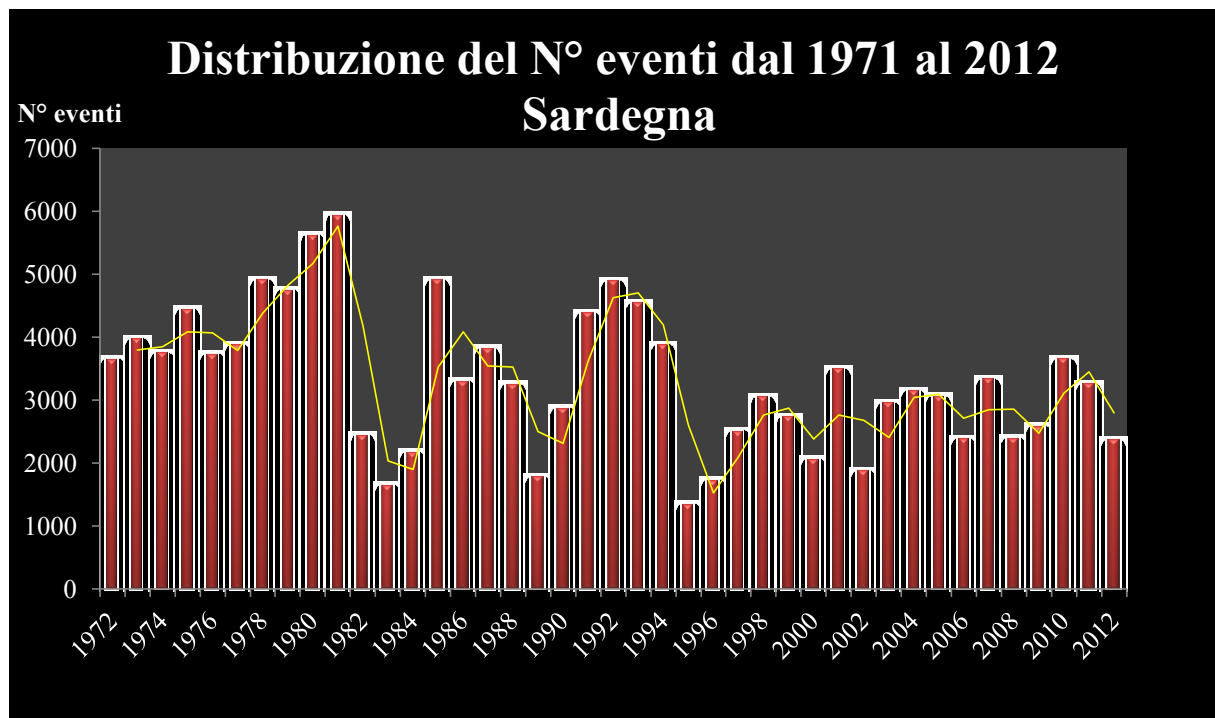


Figura 8: Distribuzione del numero incendi serie 1970-2012 in Sardegna (Fonte CFVA).

La suddivisione del lungo periodo in esame, in tre sotto periodi, permette di evidenziare tre andamenti ben distinti (Fig. 8):

- nel periodo 1971 – 1981 tendenza alla crescita esponenziale del numero di eventi;
- nel secondo periodo 1982 – 1994 una inversione della tendenza fa assestare il dato del numero di incendi su 3337 incendi/anno;
- nell'ultimo periodo, relativo all'intervallo 1995 – 2012, il numero di incendi, a parte qualche impennata (2007, 2009), tende a stabilizzarsi, come se avesse raggiunto il proprio limite fisiologico.

Distribuzione del fenomeno a livello provinciale in Sardegna.

Un'analisi sintetica riferita al periodo 1990-2011 può evidenziare come il fenomeno si evolve nel tempo e nello spazio. I dati statistici (Tab.3) si riferiscono a quelli messi a disposizione del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale attraverso l'attività svolta dalle 7 unità operative territoriali denominate Servizi Territoriali Ispettorati Ripartimentali (STIR) che hanno sede nelle rispettive provincie dell'isola: Cagliari, Iglesias, Lanusei, Nuoro, Oristano, Sassari, Tempio Pausania. A queste ultime fanno capo le 80 stazioni forestali sparse nel territorio.

Tabella 3: Dati 1990 – 2011 incendi per Provincia in Sardegna (Fonte CFVA).

Anno	Cagliari	Carbonia Iglesias	Medio Campidano	Nuoro	Ogliastra	Olbia Tempio	Oristano	Sassari	Regione	% sul totale
1990	556	161	159	389	135	215	728	520	2863	4,35
1991	1433	344	432	394	181	389	731	474	4378	6,64
1992	1203	419	383	602	348	379	741	811	4886	7,42
1993	1092	316	353	699	353	289	765	637	4504	6,84
1994	973	226	347	578	342	235	655	508	3864	5,86
1995	287	102	78	153	86	95	288	247	1336	2,03
1996	412	71	191	225	178	119	274	246	1716	2,60
1997	605	161	211	349	194	163	476	333	2492	3,78
1998	777	248	237	373	350	164	527	359	3035	4,61
1999	444	279	287	457	175	146	442	490	2720	4,13
2000	388	204	152	324	165	170	344	304	2051	3,11
2001	622	305	212	631	250	266	555	643	3484	5,29
2002	415	197	138	283	130	110	329	266	1868	2,84
2003	771	258	274	364	184	239	427	424	2941	4,46
2004	847	245	313	417	185	188	489	459	3143	4,77
2005	743	311	356	365	205	222	451	391	3044	4,62
2006	561	169	212	308	194	200	376	359	2379	3,61

2007	744	244	347	428	228	223	660	451	3325	5,05
2008	535	168	194	271	168	159	592	302	2389	3,63
2009	635	238	285	265	161	170	530	287	2571	3,90
2010	1033	228	703	350	186	174	557	415	3646	5,53
2011	859	196	469	395	169	193	469	503	3253	4,94
Tot.	15935	5090	6333	8620	4567	4508	11406	9429	65888	100,00
Med	724,32	231,36	287,86	391,8	207,59	204,91	518,45	428,59	2994,91	

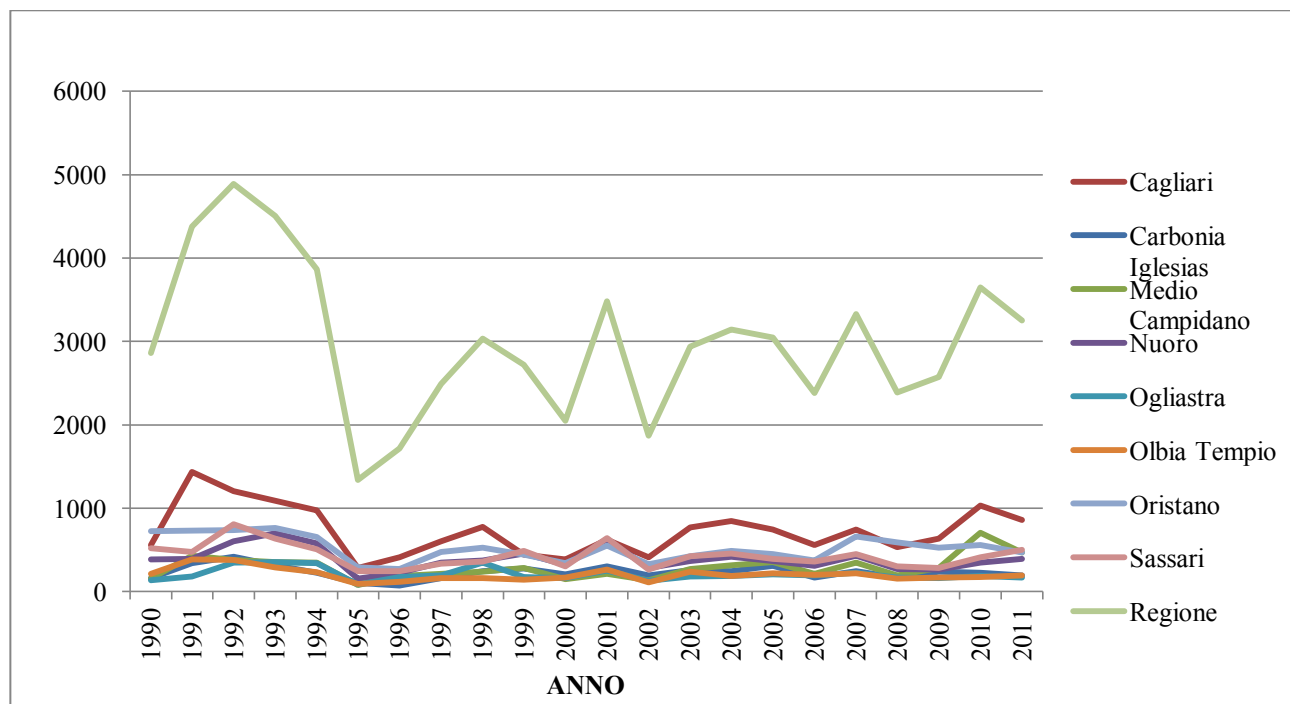


Figura 9: Numero incendi e trend del fenomeno 1990-2011 (Dati CFVA)

In 21 anni si sono registrati 65.888 incendi con una media per anno di 3000 eventi circa (Tab.3) che confrontati con la serie storica 1971-2011 denota una costante diminuzione delle superfici percorse e una relativa stabilità nel numero. L'effetto è sicuramente attribuibile non solo all'evoluzione che l'apparato di lotta al fuoco ha avuto in questi ultimi anni e all'attività di prevenzione e previsione finalizzata alla riduzione del numero di eventi ma anche all'incrinarsi della specificità del fenomeno non più arroccato solo in Barbagia, attorno al massiccio centrale,

ma con tendenza ad espandersi lungo le coste, anche verso zone interessate da insediamenti turistici, e verso gli altopiani e le pianure.

I primi anni '80 rappresentano un punto di svolta poiché sia in termini di numero che in termini di superficie percorsa si assiste ad una contrazione che appare più evidente nel periodo 1995-2011 (Fig.9). Il fenomeno della contrazione si manifesta soprattutto sulle superfici a pascolo ma, nel contempo, l'incidenza aumenta in quelle relative a bosco ponendo nuovi interrogativi circa la natura degli incendi.

Distribuzione geografica

Negli anni '70 la provincia di Nuoro era quella maggiormente interessata dagli incendi. A partire dal decennio degli anni '80 il fenomeno riguarda più la provincia di Cagliari seguita da quella di Oristano sia per superficie percorsa dalle fiamme che per il numero elevato di eventi, ciò a dimostrare l'evoluzione del fenomeno nel tempo e nello spazio. Il fatto che il problema risalti soprattutto in queste province è probabilmente dovuto all'incidenza, in modo particolare in queste aree, dell'attività agricola oltre che alle nuove opportunità di lavoro che influenzano la redistribuzione demografica nel territorio.

Tabella 4 Superfici percorse (ha) per Provincia (1990-2001)

Anno	Cagliari	Carbonia Iglesias	Medio Campidano	Nuoro	Ogliastra	Olbia Tempio	Oristano	Sassari	Regione	% sul totale
1990	4.095,49	783,22	1.606,16	7.540,59	533,29	1.096,79	7.825,80	10.591,71	34.073,05	6,14
1991	11.007,93	1.424,3	8.976,38	8.003,69	661,49	2.621,37	7.950,54	8.249,66	48.895,36	8,81
1992	5.260,79	3.020,11	3.056,8	6.103,12	1.970,29	1.381,89	3.435,13	8.927,91	3.3156,04	5,97
1993	11.491,72	4.861,35	6.560,71	22.583,14	3.035,04	7.636,23	8.963,76	14.130,25	79.262,2	14,27
1994	7.497,08	2.730,08	2.734,59	11.325,07	3.219,32	995,6	19.086,36	23.622,7	71.211,32	12,82
1995	744,92	521,17	169,21	321,7	79,5	317,82	787,45	627,35	3.569,12	0,64
1996	1.098,12	173,17	1.229,88	596,43	188,59	39,69	559,92	331,04	4.216,84	0,76
1997	1.952,94	121,72	617,15	2.983,26	773,96	829,69	1.047,06	1.268,25	9.593,96	1,73

1998	4.936,48	611,20	2.039,69	4.705,76	6.838,487	1.308,467	2.513,513	6.980,261	29.933,86	5,39
1999	2.512,998	1.526,82	3.847,95	4.187,06	388,47	1.306,43	4.560,40	5.180,46	23.510,63	4,23
2000	1.854,03	1.592,37	1.218,43	3.024,22	694,44	346,08	3.592,31	1.996,55	14.318,45	2,58
2001	3.485,234	930,60	1.700,37	4.757,34	778,04	2.025,93	1.818,72	3.422,88	18.919,14	3,41
2002	1.892,35	1.248,15	1.042,25	4.546,46	235,66	311,06	1.368,22	1.431,34	12.075,49	2,17
2003	5.642,115	1.108,55	1.955,51	2.262,89	1.296,69	3.338,59	3.486,33	3.199,78	22.290,47	4,01
2004	4.909,39	784,46	2.970,35	3.289,81	1.501,82	3.319,47	2.661,35	2.059,75	21.496,44	3,87
2005	3.548,404	1.208,17	1.703,95	1.549,78	257,88	1.222,11	2.680,02	1.246,08	13.416,41	2,42
2006	1.484,02	384,01	1.173,94	802,06	266,03	788,126	1.359,55	2.074,98	8.332,74	1,50
2007	5.384,051	1.823,27	6.184,47	12.114,73	1.318,57	223,19	3.236,67	4.073,33	3.4358,3	6,19
2008	1.854,63	317,94	808,50	787,67	119,12	113,16	1.985,14	695,21	6.681,39	1,20
2009	3.823,25	1.294,01	1.252,84	3.332,01	92,98	3.570,02	4.687,77	18.044,39	36.097,30	6,50
2010	4105,32	479,34	1.949,76	2637,338	357,36	337,52	1.211,30	671,31	11.749,28	2,12
2011	4.614,48	661,25	3.580,58	1.522,21	1.370,48	3.964,13	1.242,16	1.156,55	18.111,83	3,26
Tot.	93.195,73	27605,31	56.379,51	108.976,37	25.977,56	37.093,39	86.059,51	11.9981,78	55.5269,63	100
Med.	4.236,16	1.254,78	2.562,70	4.953,47	1.180,79	1.686,06	3.911,79	5.453,71	25.239,52	

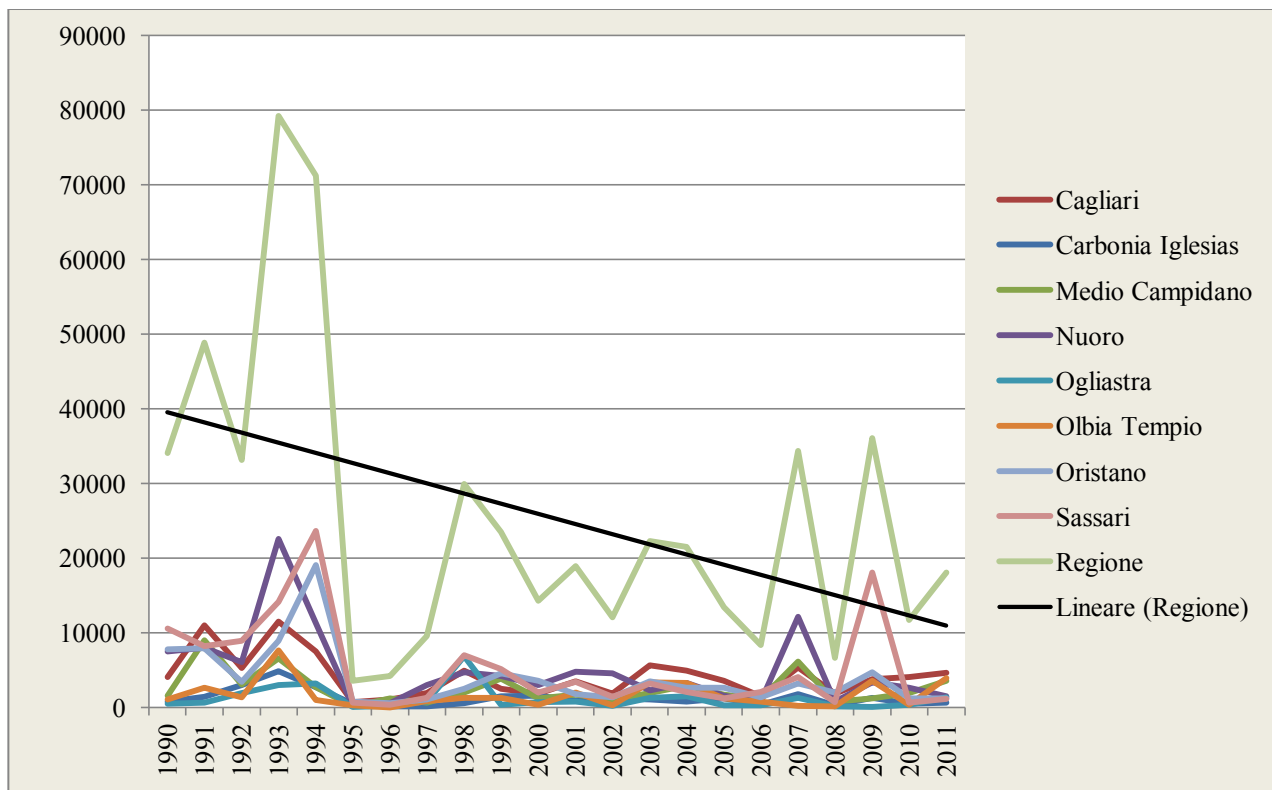


Figura 10: Superfici percorse e trend del fenomeno 1990-2011(Dati CFVA)

A parte gli anni 1993-94 da annoverarsi tra i più disastrosi della serie, nell'ultimo decennio gli anni più importanti per superficie percorsa sono stati il 2007 e il 2009. Nel 2009 nelle giornate del 23/24/25 luglio gli incendi hanno colpito tutta l'isola. In particolare il 23 luglio con l'incendio in provincia di Sassari è stato di vaste proporzioni, mentre nell'estate del 2007 gli incendi hanno lasciato buona parte del territorio della provincia di Nuoro (12.114 ha) in uno stato di profonda desolazione, quasi la metà del totale della superficie percorsa dal fuoco dell'intera Regione.

Di particolare interesse è il confronto tra le percentuali delle superfici totali percorse dal fuoco e quelle boschive.

E' evidente che l'incidenza del fenomeno degli incendi boschivi sia prevalente nelle province con superficie boscata maggiore rispetto a quelle con superfici a diversa destinazione d'uso (Tab.5).

La provincia di Cagliari e Nuoro sono quelle più interessate dal fenomeno in termini di superficie totale percorsa. Nella prima il dato è legato all'elevato numero di incendi mentre, per la provincia di Nuoro, nonostante il numero di incendi sia di quasi la metà, la superficie percorsa risulta leggermente superiore. Risulta inoltre che anche la superficie boscata distrutta dal fuoco della provincia di Nuoro e Sassari, sempre per quel periodo, è superiore rispetto alle altre provincie, proprio perché queste due hanno un indice di boscosità superiore.

Tabella 5: Confronto tra superfici totali e boscate percorse da incendi in ha 1990-2011

Provincia	Totale superfici percorse ha	% del totale Regionale	di cui superfici boscate percorse ha	% boschi
Cagliari	93.195,73	16,78	16.609,47	10,85
Carbonia - Iglesias	27.605,32	4,97	11.913,68	17,00
Medio Campidano	56.379,51	10,15	4.831,35	12,99
Nuoro	108.976,4	19,63	34.703,84	20,44
Ogliastra	25.977,56	4,68	11.737,72	12,04
Olbia -Tempio	37.093,39	6,68	15.124,68	11,40
Oristano	86.059,51	15,50	15.920,88	16,80
Sassari	119.981,8	21,61	30.134,60	28,04
Totale	555.269,6	100	140.976,22	

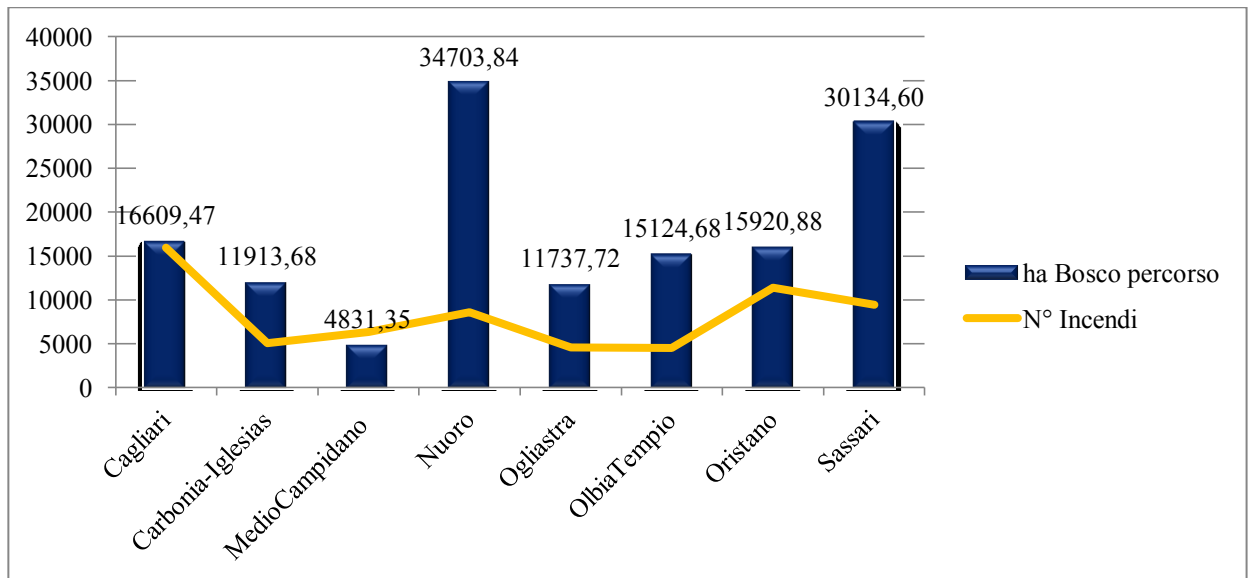


Figura 11: Confronto tra il numero incendi e la superficie boscata percorsa riferita agli anni 1990-2011

In questo intervallo di tempo le provincie di Nuoro (108.916) e Sassari (119.981) sono quelle interessate dalla maggiore estensione sia di superficie totale bruciata che per quella boschiva anche per effetto degli eventi catastrofici verificatisi negli anni 2007 e 2009 che hanno trascinato l'andamento generale verso valori elevati. Il motivo per la quale il numero di incendi risulta più elevato nella provincia di Cagliari è legato soprattutto all'esodo verificatosi a cavallo degli anni '70 e '80 dalle montagne centrali verso gli altopiani e la pianura per effetto delle trasformazioni territoriali (nuove forme di allevamento, sedentarizzazione aziendale da parte dei pastori, ecc.). Dopo questi due decenni si riscontra infatti una contrazione delle superfici destinate a pascolo rispetto a quelle utilizzate per la coltivazione dei cereali e foraggio pertanto il fenomeno è legato alla ripulitura dei terreni per lavori colturali e agricoli.

Analisi delle cause degli incendi in Sardegna

La statistica sugli incendi boschivi compilata annualmente dal CFVA (Corpo Forestale e Vigilanza Ambientale) sulla base dei dati raccolti per ogni singolo evento, conferma che l'agro-

pastoralismo gioca ancora un ruolo importante, con una correlazione positiva tra il numero degli ovini presenti in un dato territorio e superfici bruciate.

Le statistiche degli incendi in Sardegna presentano però un numero molto elevato di cause sconosciute.

Per tutto il periodo 1998-2010 lo spettro delle cause degli incendi 8,428 ufficialmente registrate viene sintetizzato in Tab.6 (Fonte CFVA).

Tabella 6: Cause degli incendi (1998-2010).

Numero	Cause	%
6.545	Sconosciute	77,65
1.086	Involontari	12,89
797	Volontari	9,45
8.428	Tutti	100

Le motivazioni degli incendi suddivise per le 8 province sarde sono riportate in Tab. 7.

Tabella 7: Cause degli incendi suddivise per provincia (1998-2010).

Cause/Provincia	CAGLIARI	CARBONIA IGLESIAS	MEDIO CAMPIDANO	NUORO	OGLIASTRA	OLBIA TEMPIO	ORISTANO	SASSARI	Σ Regione
Volontarie	201	76	50	252	106	66	81	75	907
Sconosciute-volontarie	618	196	96	1310	1347	321	684	742	5314
Involontarie	246	82	61	218	84	119	146	5	961
Sconosciute-involontarie	10	0	0	12	3	0	3	174	202
Sconosciute	255	44	42	521	209	110	83	221	1485

Sul tema delle cause e dei motivi degli incendi in Sardegna esiste una vasta letteratura scientifica ed è stato lungamente trattato in diverse occasioni nel corso degli anni, vedi:

- Atti del convegno voluto dal Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale intitolato Incendi boschivi e rurali in Sardegna (Analisi delle cause e proposte di intervento, Cagliari 2004);
- Analisi sul fenomeno degli incendi nella Regione le cause e gli aspetti sociali della fenomenologia svolta dall'Università di Cagliari, Dipartimento di Ricerche Economiche e Sociali (DRES 2004);
- Studio della società Atlantis S.p.A in collaborazione con il CFVA della Sardegna relativo ad un'analisi statistica ed econometria del fenomeno degli incendi in Sardegna (2004).

Anche per la Sardegna il fenomeno incendi è dovuto a fattori predisponenti legati all'insieme delle variabili che, con azione combinata, consentono l'innesco di un incendio e la sua propagazione riconducibili alle condizioni climatiche, geomorfologiche e alle caratteristiche vegetazionali soprattutto in relazione all'accumulo di biomassa e necromassa in una determinata area. Il clima caldo arido della Sardegna, concentrato nel periodo estivo, è uno dei fattori che favorisce una potenziale propagazione. Potenzialità che aumenta sensibilmente con le basse percentuali di umidità relativa e l'intensità dei venti, fenomeno quest'ultimo pressoché continuo in tutta l'isola. Nel corso dell'ultimo decennio, si è assistito, durante la stagione estiva, ad un aumento delle temperature medie e dei valori massimi. Le precipitazioni estive sono diventate sempre più rare. Il monitoraggio costante della situazione meteorologica è affidato dalla Regione all'ARPAS Agenzia Regionale per l'Ambiente della Sardegna che tra l'altro, elabora dati climatici relativi all'incidenza delle singole grandezze meteorologiche sul fenomeno degli incendi nel territorio. L'analisi dei dati forniti dall'ARPAS giornalmente, attraverso strumenti di previsione, permette di valutare il rischio e quindi stabilire il livello di allerta.

Le formazioni vegetali più esposte all'azione del fuoco

Le formazioni vegetali naturali più diffuse in Sardegna sono rappresentate da boschi xerotermici misti con prevalenza di specie a foglie coriacee e consistenti sempreverdi costituite da specie quercine: il leccio, la sughera e la roverella. Accanto a queste si trovano formazioni di conifere (*Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Aiton, *Pinus halepensis* Mill., *Pinus radiata*, D. Don) e di eucalipti. I boschi di conifere di origine artificiale che ricoprono vaste aree costiere e dell'entroterra sono quelle più vulnerabili seguite dalla macchia mediterranea a causa della presenza di resine, olii volatili ed essenze che contribuiscono a generare incendi violenti e incontrollabili. Le leccete sono sicuramente le meno suscettibili, soprattutto se esposte a settentrione dove la lettiera rimane sempre fresca al contrario della roverella che essendo una specie decidua presenta spesso una abbondante lettiera di foglie secche fortemente infiammabili. A questa panoramica bisogna aggiungere la quasi totale scomparsa delle attività di intervento umano nel territorio che ha portato nel giro di pochi anni all'estensione della macchia mediterranea, in particolare del cisto e di formazioni a prateria. Il pascolo nudo lasciato all'evoluzione naturale inesorabilmente si ricopre di arbusti e di macchia secondaria. La macchia bassa è il segno più evidente delle trasformazioni operate dall'uomo (Vadalà, 2009). I suoli aridi e meno rocciosi sono coperti da una formazione serrata che Le Lannou (1979) chiama *landa*, di cui il cisto è l'elemento dominante e altamente infiammabile mentre, le formazioni forestali incustodite, si riempiono di arbusti che possono essere fortemente pericolosi perché altamente combustibili. Importante fattore predisponente è il grado di antropizzazione del territorio. Secondo lo studio effettuato dalla Società Atlantis S.p.A. in collaborazione con il Corpo Forestale e di V.A. il fenomeno degli incendi nell'isola non deve prescindere dalla conoscenza del sistema socio-economico della Sardegna e dei vari contesti di cui è strutturato:

- contesto demografico
- contesto sociale
- contesto culturale
- contesto delle attività produttive.

In sintesi, le analisi effettuate confermano l'ipotesi generale secondo la quale il fenomeno incendiario è prevalentemente legato alla presenza dell'uomo sul territorio. L'incidenza della popolazione sul fenomeno si può riscontrare osservando l'andamento quantitativo degli eventi nel periodo 1991-2001 è andato riducendosi del 50% circa. Questo miglioramento, secondo lo studio, è da attribuirsi al processo di redistribuzione demografica, che ha portato ad un progressivo spopolamento delle zone interne dell'isola e ad una conseguente crescita della popolazione nelle città e nelle aree costiere. Questo risultato, continua lo studio, è positivo anche per effetto del cambiamento avvenuto a livello di struttura della popolazione. Il fenomeno era, infatti, maggiormente presente nelle aree:

- con più elevato indice di vecchiaia;
- con minore tasso di ricambio della popolazione;
- con classi centrali della struttura demografica della popolazione a peso maggiore rispetto a quelle estreme.

Ciò dimostra che, in alcuni casi, le pratiche incendiarie derivavano dall'influenza di una cultura di tipo tradizionale mantenuta e tramandata dalla popolazione più anziana (Indagine statistica sugli incendi in Sardegna, DRES, 2004). Influenza che nel tempo è diminuita quando le classi più giovani subentrano alle classi più anziane. Infatti, le prime, con un livello d'istruzione più elevato, risultavano essere portatrici di nuovi valori, aperte ai cambiamenti. Quindi, la crescita del livello di scolarizzazione produce effetti che contrastano il fenomeno. Altro fattore oggetto di studio che incide in maniera determinante sulla distribuzione e sull'intensità del fenomeno è

senza dubbio il mercato del lavoro. Infatti, al mercato del lavoro viene attribuito un ruolo importante non solo in relazione al contesto economico ma anche al contesto sociale. I risultati dello studio configurano un sistema nel quale la crescita del numero dei disoccupati e dei precari, sia in termini relativi che in termini assoluti, produce una crescita della frequenza del fenomeno. All'antropizzazione è legata la nuova tendenza di costruire insediamenti nell'ambiente rurale, spesso abusivi e spesso abitati da persone che hanno scarsa dimestichezza con il fuoco (DRES, 2004).

Le attività investigative post-incendio

Il Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale attraverso originali protocolli di investigazione ha contribuito in modo determinante ad individuare le cause e moventi di questo drammatico fenomeno. Come tutte le fattispecie di reato anche quella relativa all'incendio boschivo, sia esso doloso o colposo, richiede un'indagine giudiziaria che si traduce nella comunicazione di notizia di reato (C.N.R.) destinata all'autorità giudiziaria, ma a prescindere dall'esito del procedimento giudiziario, questo atto costituisce un patrimonio importante di informazioni per comprendere i comportamenti umani. L'apporto conoscitivo di questa attività è riassunto nella gamma di motivazioni specifiche di cause colpose e dolose che sono utilizzate in fase di investigazione e di seguito riepilogate:

Tabella 8: Cause generiche e motivazioni specifiche individuate dal CFVA (CVFA, 2004)

	Serie storica delle CNR di origine colposa e dolosa
Causa Generica	Causa specifica
	A seguito dell'uso di apparecchi meccanici, a fiamma, od elettrici
	Incustodia e/o mancata bonifica dei residui di fuochi accesi in area di campagna da parte di gitanti, campeggiatori, allevatori, agricoltori
	A seguito di abbruciamento abusivo di stoppie
	Mancata osservazione delle prescrizioni contenute nell'autorizzazione rilasciata in forza dell' O.R.A.I.

COLPA	Per carenza nella manutenzione di elettrodotti o altre linee elettriche
	Mancata bonifica degli abbruciamenti di ramaglie nelle utilizzazioni boschive
	Violazione alle norme a.b. nella gestione delle discariche da r.s.u.
	Per carenza nella manutenzione dei convogli ferroviari
	Getto di fiammiferi o mozziconi di sigaretta accesi da parte di allevatori o agricoltori in area di campagna
	Getto di fiammiferi o mozziconi di sigaretta accesi da parte di automobilisti lungo le reti viarie
	A seguito di mancanza di cautele nell'apertura o ripulitura di viali parafulco
	Getto di fiammiferi o mozziconi accesi da parte di gitanti e campeggiatori in area di campagna
	A seguito di brillamento di mine o esplosivi
	Getto di petardi, razzi o fuochi artificiali
	Getto di fiammiferi o mozziconi di sigaretta accesi da parte di cacciatori in are di campagna
	Colposo per ragioni ignote
DOLO	Apertura, rinnovazione, e miglioramento dei pascoli
	Violazione dell' O.R.A.I. sancito dall'articolo 650 codice penale (non più in vigore dopo il 1998)
	Conflitti e/o vendette tra privati (pascolo)
	Ripulitura di terreni per lavori colturali agricoli
	Piromania
	Conflitti e/o vendette tra allevatori e/o pastori e la pubblica amministrazione
	Ritorsione per motivi di caccia o bracconaggio
	Commessi da minorenni per gioco o divertimento
	Per garantire la continuità occupazionale nei cantieri di rimboschimento
	Per essere inclusi nelle squadre antincendio
	Per motivi di speculazione edilizia
	Per protesta contro licenziamenti nei cantieri forestali
	Stato di ubriachezza
	Per protesta contro assunzioni nei cantieri forestali in presunta violazione alle norme sul collocamento
	Per fini di truffa
	Per creare allarme nella struttura A.I.B
	Per fini di deprezzamento di aree turistiche onde acquisire a prezzi inferiori a quelli di mercato
	Per fatti di terrorismo politico
	Dolo per ragioni ignote

Il Piano Antincendi Boschivi della Regione Sardegna classifica gli eventi in base alla presunta

50

Gianmario Mou, **Sviluppo di tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee**, Tesi di dottorato in Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente Mediterraneo, Università degli Studi di Sassari

origine (indefinita, naturale, colposa, dolosa, in conformità a quanto previsto nel Regolamento CE n° 804/94).

Sia per quanto riguarda le cause di origine colposa che quelle di origine dolosa si rinvengono motivazioni antiche e conosciute ma anche tante nuove frutto di tempi moderni. Alcune tipologie mostrano un andamento crescente, dinamica da correlarsi agli effetti deterrenti dell'attività repressiva e sanzionatoria avviata.

Gli incendi di origine naturale in Sardegna sono praticamente inesistenti soprattutto quelli da fulmini o da vulcani mentre non si può dire, anche se rari quelli derivati da autocombustione per effetto di fermentazioni di masse vegetali erbacee o di sostanze organiche che spesso si ritrovano nelle discariche abusive. (Blomqvist & Persson. 2003).

Gli incendi colposi sono quelli non espressamente voluti, ma derivano dall'imperizia e dalla negligenza dell'uomo, dalla disattenzione che involontariamente provoca l'incendio. Gli incendi dolosi, invece, sono generalmente concepiti e determinati dalla volontà dell'uomo per fini diversi.

Le cause di incendio doloso e colposo individuate riguardano sia aspetti e comportamenti conosciuti, ma anche nuove forme frutto della situazione più contemporanea (Saba 2003).

Nei resoconti dell'attività d'indagine svolta dal CFVA per quanto riguarda il periodo 1996-2011, ha evidenziato la situazione di seguito riportata:

Tabella 9: Dati C.N.R del CFVA

STIR CFVA	BANCA DATI CFVA ANNI 1996-2011			COLPA	DOLO
	CNR	N° INDAGATI	INDEFINITO		
CAGLIARI	1403	724	268	304	931
IGLESIAS	468	258	55	100	313
LANUSEI	2026	303	248	88	1690
NUORO	3495	626	699	327	2469
ORISTANO	682	329	43	143	496
SASSARI	1529	432	248	194	1087
TEMPIO	457	215	83	124	250
REGIONE	10.060	2887	1644	1280	7136

Dalla serie storica riportata in tab.9 per cause generiche prodotta dall'attività investigativa negli anni 1996-2011 per l'intera Regione si può constatare che il 71% sono di origine dolosa, il 10% di origine colposa e il 18% di origine indefinita. Una considerazione merita la categoria di incendi indefiniti la cui incidenza è, come in questo caso, talvolta elevata dovuta spesso all'obiettiva difficoltà di qualificare gli eventi in assenza di riscontri concreti.

Il CFVA dispone quindi di una profonda conoscenza sulle cause dolose e colpose, volontarie e involontarie, relative al singolo evento, che fornisce indicazioni sull'origine del fenomeno utili sicuramente per orientare la prevenzione, attraverso il miglioramento dell'apparato difensivo. Si tratta tuttavia di un tipo specifico di intervento, mirante a far fronte a un comportamento emergenziale, che non influisce su una serie di altri comportamenti da considerare nell'attività di prevenzione più direttamente connesse alla gestione delle risorse e del territorio, come dei comportamenti criminali in genere.

L'individuazione degli autori e la spiegazione delle cause dolose e colpose (in questo caso anche limitata riferito al numero di c.n.r. rispetto al numero degli eventi), pur fornendo un contributo utile per una strategia di tipo difensivo, non incide sui comportamenti futuri, se non in termini di repressione e dissuasione, e soprattutto non mette a fuoco le cause sociali interne ai sistemi locali

e di contesto. E' questa, quindi, una strategia non pienamente efficace a fronte del numero e della natura specifica degli incendi (Leone e Lovreglio 2003).

Il grafico mostra che la causa di origine dolosa è maggiormente concentrata nelle province centrali dell'isola (Nuoro 2469 e Lanusei 1690 incendi dolosi): il fenomeno è evidentemente legato ad un specifico contesto territoriale in cui si manifesta dove i pastori e gli agricoltori permangono come figure centrali. L'uso del fuoco in queste province è, infatti, da ricollegare a variabili di tipo sociale o socio-economico. L'ipotesi più frequente ha individuato questa matrice soprattutto nel sistema pastorale, in particolare in quelle aree dove le forme di utilizzazione della terra seguono i caratteri più tradizionali, in quanto il fuoco costituisce da sempre un mezzo agronomico a basso costo, utile a risolvere svariate e difficili situazioni per agricoltori e pastori.

Numerosissime sono le cause classificate come involontarie o volontarie sconosciute, o sconosciute senza un motivo specifico. Complessivamente, le cause sconosciute rappresentano il 77,65 %.

Tale statistica si basa quindi su meno del 23% dei 8,428 incendi per il periodo 1998-2011 non dando informazioni sufficienti necessarie per un approccio preventivo necessariamente basato su una buona conoscenza delle motivazioni che si celano dietro un incendio doloso.

Al fine di ridurre il numero di eventi sconosciuti, che ostacola realmente l'approccio preventivo desiderato, è stata sperimentata, in collaborazione con il CFVA una nuova metodologia per raccogliere informazioni sulle cause e motivazioni ovvero il metodo Delphi. Si tratta di un metodo già utilizzata con buoni esiti in altre realtà regionali in Italia (Lovreglio et al, 2006; Lovreglio et al, 2008; Lovreglio et al, 2010; Lovreglio et al, 2012.) fornendo un valido supporto di analisi e di interpretazione della matrice del fenomeno al fine di produrre statistiche più precise e affidabili e una migliore conoscenza delle diverse motivazioni che si riscontrano sul territorio investigato.

Costi annui di circa 110-120 milioni di euro devono essere considerati per la lotta AIB (Delogu, pers. Comm.) rispetto ai 50 milioni di euro del 2004 (Boni, 2004). Tuttavia questi enormi investimenti, hanno portato a risultati apparentemente accettabili. Nonostante le superfici percorse siano diminuite, anche a causa di migliori procedure di soppressione che assicurano attacchi iniziali in media entro 14 minuti, il numero di eventi (una media di 2800-3000) rimane pertanto immutato nel lungo periodo (Boni, op.cit.).

È ormai risaputo (Biro, 2009; Montiel e Herrero, 2010), che di fronte alle crescenti minacce degli incendi sia richiesto un passaggio da politiche di esclusiva soppressione a politiche più ampie e comprensive di prevenzione volte a rimuovere le cause strutturali degli incendi. Ma questo approccio pro-attivo richiede anche una buona conoscenza delle cause e motivazioni umane che rappresentano i fattori determinanti l'insorgere degli incendi.

La comprensione di queste cause potrebbe notevolmente contribuire a modificare le future strategie di mitigazione e le misure preventive dovrebbero essere concentrate sulle aree ad alta incidenza, piuttosto che al classico approccio generale in tutta la regione (Jollands et al, 2011).

Una migliore conoscenza delle cause degli incendi può realmente informare il processo decisionale relativo alle politiche e alle pratiche di pianificazione delle varie organizzazioni interessate, nonché la progettazione di interventi appropriati. (Jollands et al., Op.cit.)

Materiali e metodi

Il metodo Delphi, rientra tra quelli definiti di *scientific prediction* in cui la previsione viene fatta con l'ausilio di teorie scientifiche e di dati (Baughmann, 1985), combinando la conoscenza di esperti e le relative opinioni.

La tecnica Delphi è si basa su una serie di questionari sequenziali o "round", intervallati da un feedback controllato, che cercano di ottenere il parere affidabile di un gruppo di esperti (Linstone & Turoff 1975). Si tratta di una tecnica risultata utile per indagini in cui i giudizi individuali devono essere sfruttati e combinati al fine di affrontare una mancanza di accordo o lo stato incompleto delle conoscenze (Delbecq et al. 1975), come tale, la tecnica Delphi è particolarmente apprezzata per la sua capacità di strutturare e organizzare la comunicazione di gruppo.

Il metodo Delphi nasce nel 1953 dal lavoro di un gruppo di ricercatori della Rand Corporation. Tale tecnica, oggi utilizzata per diversi scopi, è una metodologia tipica della ricerca sociale, che permette di intervistare un panel di esperti chiamati ad esprimere in modo anonimo i propri pareri ed opinioni su una determinata tematica, allo scopo di validarne alcuni tramite il confronto reciproco e la condivisione progressiva.

Il metodo Delphi (Dalkey e Helmer, 1963 Linstone e Turoff, 2002) può essere definito un processo iterativo basato sul principio *“che le previsioni (o decisioni) scaturite da un gruppo strutturato di individui sono più accurate di quelle raccolte da gruppi non strutturati”* (Henderson, 2008). Esso consiste nella sollecitazione sistematica delle opinioni di un gruppo di esperti su un particolare argomento intervallati da informazioni sintetiche e valutazioni di pareri derivanti dalle risposte precedenti (Delbecq et al, 1975; Baughman 1989). Il metodo Delphi può essere utilizzato quando c'è conoscenza incompleta di un problema o di fenomeni (Adler e Ziglio, 1996; Delbeq et al, 1975) o quando la soluzione a un problema potrebbe beneficiare dei giudizi soggettivi degli individui su base collettiva (Adler e Ziglio, 1996).-Il giudizio informato, o ragionevolezza (Lichtner 1999) è il fondamento del metodo: si ritiene infatti che i giudizi esperti di gruppo siano più attendibili di un giudizio individuale, assumendo che i componenti

del panel di esperti che partecipano possano esprimere una buona valutazione della realtà loro sottoposta.

Recenti studi hanno dimostrato l'utilità del metodo Delphi nell'analisi delle motivazioni degli incendi, in particolare nell'eliminazione delle cause dubbie (Lovreglio 2003, Lovreglio et al. 2006, 2008, 2010a, De Las Heras et al. 2007, Leone et al. 2009, Marciano et al. 2010, Lovreglio et al. 2012; Meddour-Sahar et al, 2013).

L'indagine Delphi, svolta nel 2012 ha coinvolto gli esperti delle 8 province della Regione Sardegna; sono state convocate 4 sessioni coinvolgendo in ognuna gli esperti di due province. Il numero di esperti per sessione non è stato omogeneo: 14 per le province unite di Oristano-Medio Campidano, 26 Nuoro-Ogliastra, 30 unità nelle province di Cagliari-Carbonia/Iglesias, Sassari-Tempio 28 unità per un totale di 98.

Tabella 10: Numero e qualifica dei partecipanti per provincia

QUALIFICA	CAGLIARI CARBONIA		SASSARI TEMPIO		ORISTANO MEDIO CAMP:		NUORO LANUSEI	
	Assoluta	Relativa	Assoluta	Relativa	Assoluta	Relativa	Assoluta	Relativa
Assist.e Forestale e di Vig. Ambient.		0%		0%		0%		0%
Agente Forestale e di Vig. Ambient.	2	7%	3	11%		0%	4	15%
Ispett. Forestale e di Vig. Ambient.	7	23%	4	14%	1	7%	4	15%
Ispett. Capo For. e di Vig. Ambient.		0%		0%	1	7%		0%
Ispett. Sup. For. e di Vig. Ambient.	12	40%	15	54%	1	7%	10	38%
Vice Comm. For. e di Vig. Ambient.	3	10%	2	7%		0%	1	4%
Assis.e Capo For. e di Vig. Ambient.	4	13%	1	4%	9	64%	5	19%
Commissario For. ed i Vig. Ambient.		0%		0%		0%		0%
Comm. Capo For. e di Vig. Ambient.	2	7%	2	7%	1	7%		0%
Comm. Sup. For. e di Vig. Ambient.		0%	1	4%	1	7%	2	8%
TOTALE	30	100%	28	100%	14	100%	26	100%

Ogni incontro ha dato voce a persone che hanno un'elevata conoscenza ed esperienza sul campo degli incendi e degli scenari socio-economici a loro noti ma che di solito non sono consultati dagli stakeholder istituzionali (Jollands et al., 2011).

Il numero di esperti è stato bilanciato in base all'estensione delle diverse aree comunque sempre al di sopra del minimo (almeno 10, Delbecq et al. 1975).

Gli esperti sono gli ufficiali e sottufficiali del CFVA, attivamente coinvolti nella compilazione delle statistiche dei dati sugli incendi boschivi attraverso la relazione di un rapporto ogni singolo evento (i fogli INCE 1 e 2 già citati). La loro conoscenza del fenomeno, sulla base delle dichiarazioni indicate nello specifico questionario, appare soddisfacente, infatti per il 54 % è molto buona, eccellente per il 14 %. La maggior parte di loro ha dichiarato 20-25 anni di attività, e questo conferma l'esperienza.

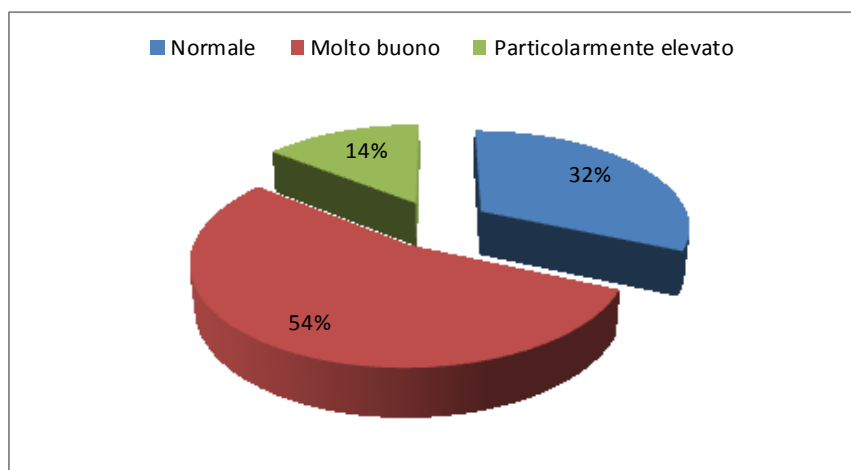


Figura 12: Grado di conoscenza del fenomeno dichiarato dai partecipanti

L'indagine strutturata è stata effettuata attraverso l'uso di questionari ad hoc distribuiti a ciascuno degli esperti convocati, riportanti le motivazioni degli incendi boschivi per la Sardegna

usate dal CFVA nelle statistiche ufficiali ma eliminando appositamente le categorie riferite a voci di cause indefinite o dubbie. L'uso del questionario prevede l'utilizzo di risposte anonime, dando ai membri del panel la libertà di esprimere le proprie opinioni senza sentirsi sotto pressione da parte del gruppo più ampio o dei membri dominanti. L'anonimato è fondamentale per arrivare a risposte franche e più veritiere.

Gli esperti sono stati invitati a riconoscere, sulla base della loro percezione e esperienza, le otto motivazioni degli incendi più rilevanti nella loro area di servizio; successivamente sono stati invitati a classificare tali motivazioni in ordine decrescente di importanza, con un punteggio che va da 1 (massimo) a 4 (minimo). La riduzione della gamma dei punteggi obbliga gli intervistati a fare una selezione più attenta e severa delle loro risposte. Il feedback controllato è stato raggiunto attraverso la selezione delle risposte, e quindi chiedendo in un secondo momento ai membri del gruppo se avessero voluto modificare le loro risposte precedenti a qualsiasi domanda.

Risultati e discussione

Dall'opinione degli esperti, le cause sono risultate involontarie per il 46%, volontarie per il 53% e naturali per 1%. Questi valori, risultano coerenti con l'opinione generale che gli incendi dolosi sono spesso sovrastimati (Velez, 2000).

Dalla indagine condotta per singola provincia risulta, confrontando i dati ottenuti con l'applicazione del Metodo Delphi, quanto segue:

- per le tutte le provincie, tranne Cagliari Carbonia Iglesias, le cause volontarie sono maggiori nei dati accertati dalle statistiche CFVA rispetto a quelli ottenuti con il Delphi;
- per tutte le provincie le cause involontarie risultano maggiormente espresse dai dati ottenuti dal parere degli esperti rispetto alle statistiche CFVA.

Il primo risultato dell'applicazione del metodo Delphi è l'eliminazione delle cause indefinite, e questo permette di esprimere un'informazione chiara e più precisa su tutte le possibili cause del fenomeno.

Nella tabella (Tab.11) successiva si riportano, per ciascuna coppia di provincie, le percentuali medie delle singole cause (volontarie, involontarie, non classificabili, ecc.) accertate dalle statistiche regionali, rispetto alla loro somma, e il confronto con quelle ottenute attraverso l'applicazione del metodo Delphi.

Tabella 11: Confronto tra le cause accertate (1998-2011) e quelle ottenute con il metodo Delphi

Cause/Province	ORISTANO-MEDIO-CAMPIDANO		SASSARI-OLBIATEMPIO		CA-CARBONIA IGLESIAS		NUORO-OGLIASTRA		Σ Regione
	Statist. %	Delphi %	Statist. %	Delphi %	Statist.%	Delphi%	Statist.%	Delphi%	Statist.%
Volontarie	67%	39%	64%	41%	39%	57%	74%	51%	61%
Volontarie non classificate	0%	0%	0%	0	0%	0%	0	0	0%
Involontarie	20%	61%	19%	58%	17%	41%	8%	45%	16%
Non classificabili	13%	0%	18%	0	44%	0%	17%	0%	23%
Le restanti motivazioni	0%	0%	0%	2%	0%	2%	0	4%	0%
Involontarie non classificate.	0%	0%	0%	0	1%	0%	1%	0%	0%
Totale	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Il confronto tra le cause accertate e quelle individuate col metodo Delphi presentate in Tab.11 dimostra che in quasi tutte le provincie gli incendi volontari, che prevalevano in modo chiaro nelle statistiche ufficiali, con l'applicazione del metodo Delphi occupano un'importanza secondaria rispetto alle involontarie, con la sola eccezione della province di Cagliari-Carbonia Iglesias, dove al contrario Delphi valuta volontari la maggior parte degli incendi.

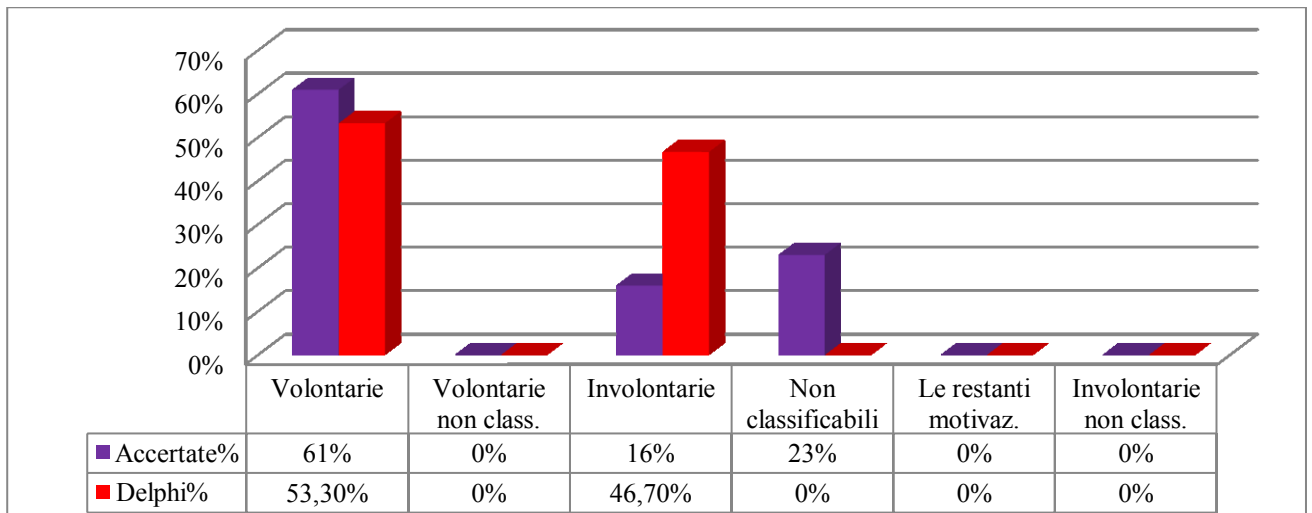


Figura 13: Confronto tra cause accertate e quelle emerse con il metodo Delphi

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni statistiche che permettono di individuare il quadro generale delle motivazioni degli incendi boschivi per l'intero territorio dell'isola (Fig. 13). In ascissa del grafico sono riportati codici identificativi dei diversi motivi utilizzati nelle statistiche regionali; con C e D si indicano rispettivamente eventi colposi o dolosi.

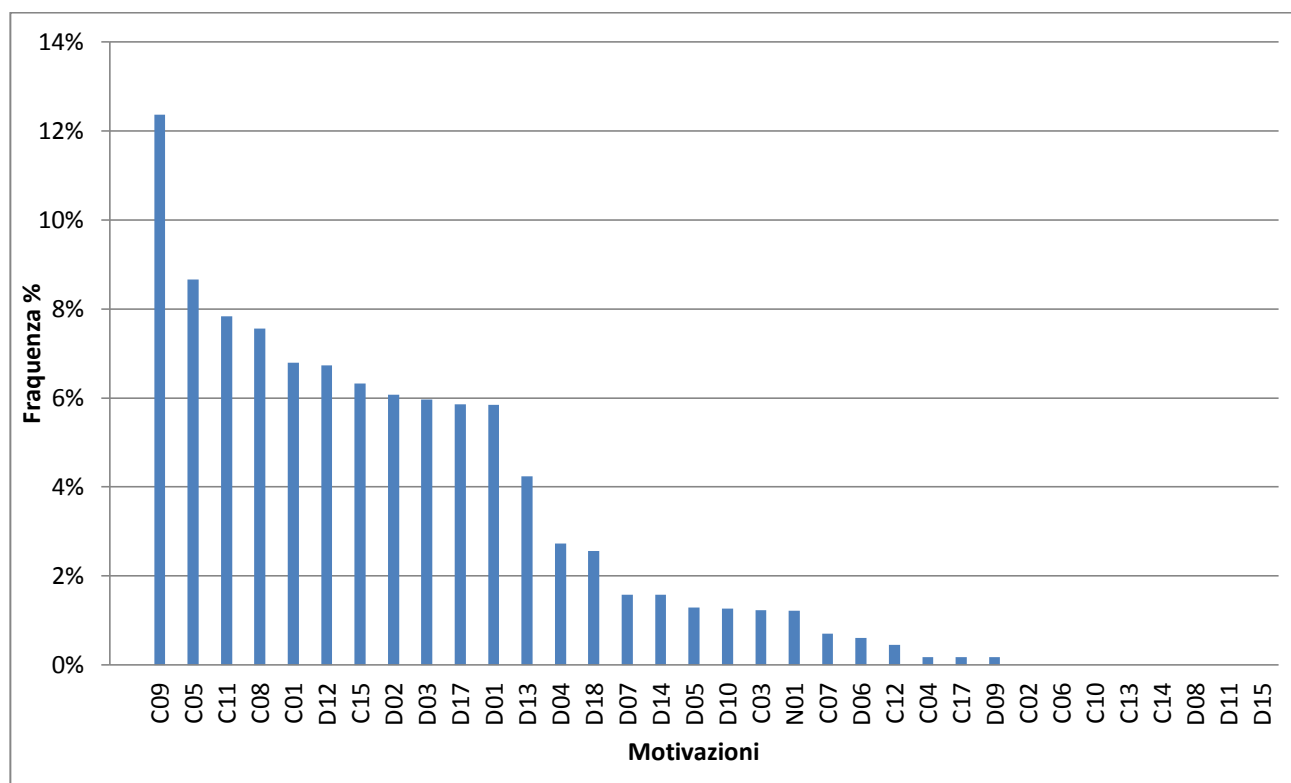


Figura 14: Frequenza (%) delle motivazioni a scala regionale risultate col metodo Delphi.

L'applicazione del metodo Delphi indica maggior frequenza per le seguenti motivazioni:

- Abbruciamento abusivo di stoppie 12,4 %
- Incustodia e/o mancata bonifica dei residui di fuochi accesi in aree di campagna da parte di gitanti, campeggiatori, allevatori, agricoltori'8,7 %
- Uso di apparecchi meccanici, elettrici e a fiamma 7,8 %
- Mancata osservanza delle prescrizioni contenute nell'autorizzazione rilasciata in forza dell'O.R.A.I.¹ 7,6 %
- Getto di fiammiferi o mozziconi di sigaretta accesi da parte di automobilisti lungo le reti viarie 6,8 %

¹ O.R.A.I. indica Ordinanza Regionale Anti incendi

- Piromania 6,7 %

Tabella 12: Motivazioni principali secondo i dati raccolti col metodo Delphi

Rango	Motivazione	Frequenza in %
1	abbruciamento abusivo di stoppie	12,4
2	incustudia e/o mancata bonifica dei residui di fuochi accesi in aree di campagna da parte di gitanti, campeggiatori, allevatori, agricoltori	8,7
3	uso di apparecchi meccanici, elettrici e a fiamma	7,8
4	mancata osservanza delle prescrizioni contenute nell'autorizzazione rilasciata in forza dell' O.R.A.I.	7,6
5	getto di fiammiferi o mozziconi di sigaretta accesi da parte di automobilisti lungo le reti viarie	6,8
6	Piromania	6,7

Il risultati delle motivazioni emerse con il metodo Delphi, se confrontate con i risultati ottenuti dagli interventi investigativi del CFVA della Sardegna, non sono del tutto discordanti.

Infatti le motivazioni segnate in rosso delle tabelle 13 e 14 sono quelle presenti sia nella graduatoria degli incendi accertati che in quelli indicati con il Metodo Delphi.

Tabella 13 Le prime otto motivazioni a livello regionale in base ai dati rilevati dal CFVA nel periodo 1998-2011

RANGO	COD.	DEFINIZIONE	Numero CNR
1	C11	a seguito dell'uso di apparecchi meccanici, elettrici, a fiamma	358
2	C05	incustodia e/o mancata bonifica di fuochi	300
3	D04	conflitti e/o vendette tra privati pascolo	211
4	D01	apertura, rinnovazione, e miglioramento pascoli	186
5	C09	a seguito di abbruciamento abusivo di stoppie	171
6	C15	per carenza nella manutenzione enel	115
7	D17	creare allarme nella struttura a.i.	84
8	D12	piromania	31

Tabella 14: Motivazioni in ordine di importanza su scala regionale con frequenza massima rilevata a seguito dell'applicazione del metodo Delphi

RANGO	COD.	MOTIVAZIONE	N° SEGNALAZIONI
1	C09	abbruciamento abusivo stoppie	47
2	C05	incustodia e/o mancata bonifica di fuochi	28
3	C11	uso di apparecchi meccanici., elettrici . o a fiamma	33
4	C08	mancata osservanza delle prescrizioni O.R.A.I	25
5	C01	getto di fiammiferi . o mozziconi accesi per strada	27
6	D12	piromania	28
7	C15	per carenza manutenzione ENEL	27
8	D02	ripulitura terreni per lavori colturalie agricoli	21

Nella comparazione tra i dati accertati dal CFVA e quelli ottenuti con l'applicazione del metodo Delphi, è possibile evidenziare che cinque su otto motivazioni accertate concordano con quelle percepite dagli esperti ossia:

- Uso di apparecchi meccanici, elettrici e a fiamma
- Incustodia e/o mancata bonifica di fuochi
- Abbruciamento abusivo di stoppie
- Carenza nella manutenzione ENEL
- Piromania

Di queste quattro sono da attribuire ad un comportamento involontario mentre la piromania è probabilmente sopravvalutata, in quanto considerata erroneamente come un comportamento tipico dell'incendiario e non uno stato psicopatologico della persona.

Le motivazioni riferite a conflitti e/o vendette tra privati per pascolo e apertura, rinnovazione e miglioramento pascoli non compaiono tra le prime otto del metodo Delphi. Probabilmente si tratta di motivazioni connesse ad una realtà più presente in passato quando l'allevamento allo stato brado era il sistema più diffuso nell'isola ma forse anche per effetto dei vincoli sui terreni percorsi dal fuoco che scattano a norma della legge quadro 353/2000.

Il risultato dell'applicazione del Metodo Delphi evidenzia inoltre motivazioni connesse con la mancata gestione e controllo del territorio e quelle strettamente legate a negligenza e disattenzione:

- Mancata osservanza delle prescrizioni antincendio regionali;
- Getto di fiammiferi e mozziconi accesi;

Conclusioni

L'uso del metodo Delphi per l'identificazione delle principali cause e le motivazioni degli incendi boschivi rivela di essere utile a questo scopo, in quanto sfrutta l'esperienza e la conoscenza del territorio e del fenomeno da parte di professionisti in un modo piuttosto semplice e veloce.

Potrebbe essere correttamente utilizzato quando vi è la mancanza di dati sulle motivazioni degli incendi, in aree protette o territori con una superficie ridotta, o quando le statistiche ufficiali sono caratterizzate da cause sconosciute.

Comprendere le cause e le ragioni in diversi contesti sociali aiuta sicuramente le misure di prevenzione e gli sforzi nel modificare il comportamento degli individui in ambienti complessi.

Il metodo Delphi può essere di grande aiuto in quest'ambito, permettendo non solo di avere valori di frequenza, come nelle statistiche tradizionali, ma, come caratteristica esclusiva, l'ordine in termini di importanza.

Del presente lavoro al quale lo scrivente ha partecipato si riportano i riferimenti (Lovreglio et al. 2014).

Capitolo 3: Applicazione sperimentale di interventi di fuoco prescritto per la gestione dei combustibili in ambiente mediterraneo

Prima area di studio: Az. Agris San Michele comuni Ussana-Donori

Introduzione

Il fuoco prescritto soprattutto nei soprassuoli di origine artificiale sta assumendo una grande importanza nella gestione dei combustibili potenzialmente pericolosi.

Esso può essere considerato come l’*”applicazione consapevole del fuoco al combustibile in determinate condizioni meteorologiche, di umidità del suolo e di combustibile, in un’area stabilita in modo che si sviluppi con intensità ed una velocità di propagazione tali da permettere di conseguire gli obiettivi prefissati nella pianificazione”* (Bovio, 2008).

Elemento chiave sono le “prescrizioni”, ovvero le indicazioni di carattere progettuale relative alla stagione e frequenza di intervento, alle finestre ambientali in cui operare e alle tecniche di accensione da adottare, per condurre un fronte di fiamma con un comportamento previsto (es. lunghezza fiamma) e ottenere specifici effetti, in particolare sulla vegetazione, es. riduzione della copertura (Ascoli et al. 2012). Le prescrizioni non sono univoche ma variano in funzione degli obiettivi gestionali e dei limiti ambientali di un dato territorio.

La prevenzione degli incendi boschivi nelle zone di interfaccia urbano-foresta e in popolamenti forestali resistenti e/o resilienti al fuoco, la conservazione di ecosistemi in cui il fuoco è un fattore ecologico, la gestione delle risorse pastorali, diverse finalità di carattere culturale in ambito agro-forestale e la formazione antincendi boschivi (AIB), sono i principali obiettivi per cui il fuoco prescritto viene pianificato, progettato e applicato.

Altri obiettivi possono essere quelli di stimolare la rigenerazione di alcune specie mantenendo la medesima copertura vegetale che, senza questo strumento evolverebbe facilmente in altre forme indesiderate. Un altro importante obiettivo del fuoco prescritto è quello legato alla formazione, dove gli addetti antincendio in generale, CFVA, Protezione civile, etc., possono esercitarsi con il fronte di fiamma e valutare l'influenza sullo stesso delle variabili predisponenti in campo.

Per ciascun obiettivo, la definizione delle prescrizioni passa attraverso lo studio delle relazioni fra il comportamento del fuoco e i suoi effetti sulle componenti dell'ecosistema quale elemento chiave di comprensione per l'uso esperto della tecnica. Il fuoco prescritto ha conosciuto il massimo sviluppo in molti paesi extra-europei (es. Australia, USA, Sud-Africa),

In Europa il fuoco prescritto è stato introdotto alla fine degli anni '70 e si è sviluppato attraverso strette collaborazioni tra il mondo della ricerca e quello operativo, con l'inclusione in tanti progetti a scala comunitaria (Botelho et al., 2002) (Silva et al., 2010). Queste collaborazioni hanno portato a una crescita delle superfici trattate in molti Paesi. In Europa il fuoco prescritto interessa una superficie media annua di 5.000 ha in Francia, 2.000 ha in Portogallo e di 1.000 ha in Spagna (Lázaro 2010). Attualmente viene impiegato in modo efficace sia nell'Europa mediterranea che in aree a clima temperato, atlantico e boreale, per la prevenzione degli incendi, la formazione del personale AIB, la conservazione di habitat prioritari ai sensi della Direttiva Habitat (DH) 92/43/CEE, la gestione delle risorse silvo-pastorali e la certificazione del Forest Stewardship Council (Ascoli et al. 2012)

Il fuoco prescritto nelle legislazioni regionali

Prima di valutare l'opportunità di utilizzare una tecnica selvicolturale di prevenzione come il fuoco prescritto è fondamentale conoscere le possibilità d'impiego indicate della legislazione nazionale e regionale

In Italia abbiamo diverse normative anche all'interno delle stesse regioni che sono state approfondite in letteratura (Bovio et Ascoli, 2013).

Solamente nel 50% delle attuali disposizioni Italiane compare la definizione di fuoco prescritto, pertanto solo in questi casi si dispone di una descrizione univoca della tecnica.

Questa differenza anche nella stessa definizione è stata recepita parzialmente dal legislatore che nel progetto di Legge (6303/2000 del 1° luglio 1999) considerava il fuoco prescritto che, tuttavia non veniva poi introdotto nel testo definitivo della L. 353/2000 (Bovio e Ascoli, 2013).

I primi a recepire l'importanza di questa tecnica in Italia, sono stati i parchi nazionali; infatti la Legge 353/2000 prevede che il Ministro dell'Ambiente, di intesa con le Regioni interessate, su proposta degli Enti gestori, predisponga un apposito piano che ne giustifichi le varie finalità: da quella di modifica della continuità verticale e orizzontale del combustibile a quella di mantenimento di particolari habitat (Bovio et Ascoli, 2013).

Nelle leggi regionali sugli incendi boschivi si parla esplicitamente di fuoco prescritto solo per la Regione Piemonte (L.R. 16/1994) e per la Basilicata (L.R. 13/2005). Da notare che tra le due leggi sono intercorsi 11 anni.

Nelle regioni Lazio (L.R. 39/2000 – R.F. 7/2005), Liguria (L.R. 22/1984 – L.R. 4/1999 – R.F. 1/1999) e Lombardia (L.R. 27/2004 - RF 5/2007) il tema non è inserito all'interno delle leggi riguardanti gli incendi ma in leggi forestali. Per quanto riguarda le finalità della tecnica, tutti i documenti vigenti intendono come principale l'obiettivo della prevenzione.

In Abruzzo, Sicilia, Toscana e Valle d'Aosta si fa riferimento specifico solamente alla prevenzione antincendi mentre nelle regioni Lazio e Sardegna la finalità principale è accompagnata da un'altra notevolmente importante, ossia la formazione del personale AIB. Gli operatori infatti potranno utilizzare la tecnica per confrontarsi con lo strumento "fuoco", premesso che solo conoscendo a pieno il fenomeno lo si riesce a controllare nelle modalità più efficaci durante le operazioni di spegnimento.

Uno degli aspetti più carenti delle varie normative regionali, è l'assenza di richiesta specifica di un piano operativo, tranne per la Regione Piemonte.

Anche il personale responsabile della tecnica non è sempre ben specificato, a volte tale responsabilità è affidata al Corpo Forestale dello Stato come in Liguria con la L.R. 22/84 e il Piemonte con la L.R. 16/94; a volte invece viene affidata ai Corpi Forestali Regionali come nel caso della Sardegna (Piano AIB, 2011-2013).

La normativa che regola il fuoco prescritto nelle diverse Regioni italiane è molto variegata, potrebbe essere di grande utilità un'unica norma con una valenza nazionale per disporre una base comune utile anche alla diffusione di questa tecnica (Bovio e Ascoli 2013).

In tabella 15 si presenta il quadro normativo vigente livello nazionale.

Tabella 15: Normativa italiana con riferimento al fuoco prescritto (da Bovio e Ascoli 2012)

Leggi forestali regionali, Regolamenti Forestali e PMPF	Calabria: PMPF 2011; Campania: PMPF 1996; Lazio: LR 39/2000; Liguria: LR 22/1984 – LR 4/1999 – RF 1/1999; Lombardia: RF 5/2007; Toscana: RF 48/2003.
Leggi antincendio boschivo regionali	Basilicata: LR 13/2005; Piemonte: LR 16/1994.
Linee guida per la pianificazione AIB	Linee guida per i Piani AIB delle Regioni (GU n. 48 del 26.2.2002); Schema di Piano per i Parchi Nazionali, aggiornamento 2009.
Piani AIB Regionali	Abruzzo: piano 2011-2012; Calabria: piano 2010-2012; Campania: piano 2011; Lazio: piano 2008-2011; Liguria: piano 2010; Lombardia: piano 2010-2012; Piemonte: piano 2011-2014; Sardegna: piano 2011-2013; Sicilia: piano 2004-2008; Valle d'Aosta: piano 2005-2010.
Piani AIB Parchi Nazionali	Abruzzo, Lazio e Molise: piano 2010-2014; Appennino Lucano, Val d'Agri, Lagonegrese: piano 2011-2014; Cilento, Vallo di Diano e Alburni: piano 2007-2011; Gargano: piano 2009-2011; Pollino: piano 2007-2011; Sila: piano 2007-2009.
Piani AIB Riserve Naturali Statali	RNS del Molise, RNS della Prov. di Siena
Parchi regionali	Parco della Pineta di Appiano Gentile e Tradate

Le esperienze in Italia

Durante gli anni '80 e '90 il fuoco prescritto non ha riscontrato particolare interesse nel mondo forestale italiano nonostante i primi timidi tentativi di applicazione in Toscana e Sardegna. Fanno eccezione a questa tendenza uno studio sperimentale in Sardegna (Massaiu, 1999), e un'indagine condotta col progetto Fire Torch (Botelho et al., 2002), sulle conoscenze del fuoco prescritto fra gli operatori forestali (Leone et al., 1999).

Le osservazioni fatte da Calabri (1981, 1988) identificano come principale fattore di limitazione all'uso della tecnica la mancanza di conoscenze sugli effetti ecologici del fuoco e sulla tecnica del fuoco prescritto, a mancanza di personale qualificato, il timore di perderne il controllo in sede operativa e quindi rispondere di eventuali danni. (Leone et al., 1999; Leone, 2004).

Gli studi citati presentano come aspetto critico in Italia la carenza di conoscenze teoriche, operative e sperimentali, che alimentano una carenza a livello legislativo. Cresce così negli anni la necessità di condurre studi multidisciplinari che valutino caso per caso la fattibilità del fuoco prescritto e definiscano le prescrizioni per la sua applicazione nei diversi contesti forestali. (Calabri., 1981), (Stefani., 1985), (Massaiu., 1999), (Leone., 2004).

Nel 2004 il Dipartimento Agroselviter dell'Università di Torino ha avviato una linea di ricerca sul fuoco prescritto realizzando applicazioni sperimentali dal 2005 al 2010, con diverse finalità, dal mantenimento di particolari habitat (Ascoli et al., 2005), la gestione delle risorse pastorali (Ascoli et al. 2009), e la creazione di viali tagliafuoco in aree strategiche per finalità antincendio (Ascoli et al. 2007, Ascoli e Bovio, 2010), che hanno riguardato la brughiera a *Calluna vulgaris* Hull., pinete mediterranee, e pascoli.

In Sardegna nell'inverno 2006-2007 il CFVA ha realizzato interventi di fuoco prescritto in due siti dimostrativi caratterizzati da pinete litoranee di origine artificiale su sabbie dunali a *Pinus pinea* L. e a *Pinus canariensis* Sm. rispettivamente. (Delogu., 2009; (Delogu & Cabiddu, 2009).

Un altro importante elemento introdotto dalle prescrizioni AIB per la Regione Sardegna, è quello del supporto del CFVA ai fuochi agro-pastorali e a tal fine, nel 2010 sono stati realizzati interventi di fuoco prescritto su superfici a pascolo nel Centro-Ovest della Sardegna (Planargia).

In Basilicata è stata effettuata una dimostrazione finalizzata all'uso della tecnica per la riduzione del carico di combustibile accumulato in soprassuoli coetanei adulti di *Pinus pinea* L., di origine

artificiale che costituiscono i popolamenti forestali più vulnerabili al passaggio del fuoco (Leone e Lovreglio, 2009).

In Toscana la Provincia di Firenze ha rilasciato l'autorizzazione per l'esecuzione degli interventi biennali in terreni privati, che hanno interessato popolamenti di (*Pinus pinaster* Ait.) e vegetazione erbaceo-arbustiva.

In Friuli Venezia Giulia alla fine del 2010 nasce un progetto pilota di fuoco prescritto denominato Ohonj na Buonah che nel 2011 diventa un progetto ufficiale inserito nelle attività sperimentali per la prevenzione incendi del Piano AIB, in collaborazione con la compagnia Working on Fire Europe e l'Università di Padova. Queste ultime hanno curato la progettazione, l'esecuzione e il monitoraggio degli interventi su un prato-pascolo semi-abbandonato di 50 ha circa circondato da aceri-frassineti e aceri-tiglieti con ontano nero, misti a conifere (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies* L.).

Nei progetti realizzati in Campania, Friuli Venezia Giulia, Piemonte e Sardegna, ad esempio, è stato possibile mediare i conflitti relativi all'uso pastorale del fuoco.

I dati sperimentali raccolti nell'ambito delle esperienze regionali possono essere utili per migliorare questa pratica anche in Italia: si citano in proposito l'analisi delle temperature dei fronti di fiamma realizzata con materiali termosensibili, termografia all'infrarosso (Ascoli, 2008), e termocoppie posizionate alla superficie del suolo e nell'orizzonte organico (Catalanotti et al., 2008) (Valese et al. 2011), per la valutazione del comportamento del fuoco.

Applicazioni della tecnica in Sardegna e Campania.

La finalità principale quindi rimane quella di prevenzione incendi, attraverso una riduzione del combustibile morto che potenzialmente favorisce la propagazione di un possibile evento.

I casi di studio sperimentati nel corso dei tre anni di dottorato, sono molteplici, ma per motivi di completezza e validità dei dati si farà riferimento a due importanti interventi che hanno riguardato diverse tipologie di combustibile, nelle Regioni Sardegna e Campania. I principali obiettivi della ricerca sull'applicazione sperimentale del fuoco prescritto sono stati:

- Caratterizzare i combustibili di formazioni mediterranee
- Stimare parametri di comportamento del fronte di fiamma in formazioni forestali differenti (lunghezza, intensità lineare, velocità di propagazione)
- Individuare le specifiche di applicazione della tecnica in formazioni differenti
- Catalogazione dell'accumulo di combustibile ad intervalli di tempo regolari per stimare il tempo di ritorno adeguato di impiego della tecnica

Analisi delle aree di studio

La necessità di nuovi dati sperimentali ottenuti durante le prove di fuoco prescritto a livello regionale in varie formazioni vegetali, mi ha spinto a seguire alcune esperienze sviluppate dal CFVA in un eucalipteto della Sardegna e in una formazione vegetale particolarmente infiammabile della Campania.

La scelta delle aree test, soprattutto nel primo caso di studio, è stata condizionata dalla necessità del CFVA di individuare aree adeguate allo svolgimento di attività di formazione e di prevenzione, posti alla base degli obiettivi del CFVA.

Il primo caso di studio ha riguardato una formazione a *Eucalyptus camaldulensis* L. sito tra il comune di Ussana e quello di Donori (Ca) in Sardegna, evidenziato in fig. 15.

Negli ultimi anni l'area vasta compresa tra i Comuni di Donori e Ussana è stata percorsa da diversi incendi che, partendo generalmente dai terreni agricoli (prevalentemente coltivati a cereali) passano entro formazioni artificiali costituite da rimboschimenti a *Pinus ssp. Eucaliptus ssp.* o da formazioni vegetali naturali costituite prevalentemente da macchia mediterranea e/o boschi aperti di *Quercus suber* L. /*Q. ilex* L. e *Olea oleaster* L.

Si ricordano in particolare gli incendi del 2011 che hanno danneggiato, con passaggio a fuoco di chioma, lembi di formazione di *Eucaliptus camaldulensis* L. interni alla Azienda AGRIS di Ussana (Agenzia della Regione Sardegna per la Ricerca Scientifica, la Sperimentazione e l'Innovazione Tecnologica nei settori agricolo, agroindustriale e forestale).

In seguito a questi eventi l'Azienda Agris di Ussana ha richiesto al CFVA interventi di prevenzione specifici, che mirano ad aumentare la capacità di resistenza delle formazioni boschive al fine di renderle più resilienti al passaggio del fuoco e permettere una migliore difesa delle colture cerealicole sperimentali oltre che delle infrastrutture.

In tale contesto il CFVA ha valutato l'opportunità di applicare la tecnica di fuoco prescritto considerata di agevole e utile applicazione e capace di fornire all'Università l'opportunità di raccogliere utili dati e svolgere attività di ricerca su un metodo di riduzione del combustibile ancora poco conosciuto ed applicato nel territorio italiano.

L'area individuata per l'intervento è stata classificata dal Piano dei Rischi intercomunale per l'abitato di Donori come superficie in cui "l'evento in atto sicuramente interesserà aree a rischio medio-alto".

Analogha valutazione è stata fatta per l'attiguo Comune di Ussana.

Inquadramento regionale comune di Ussana e area di intervento

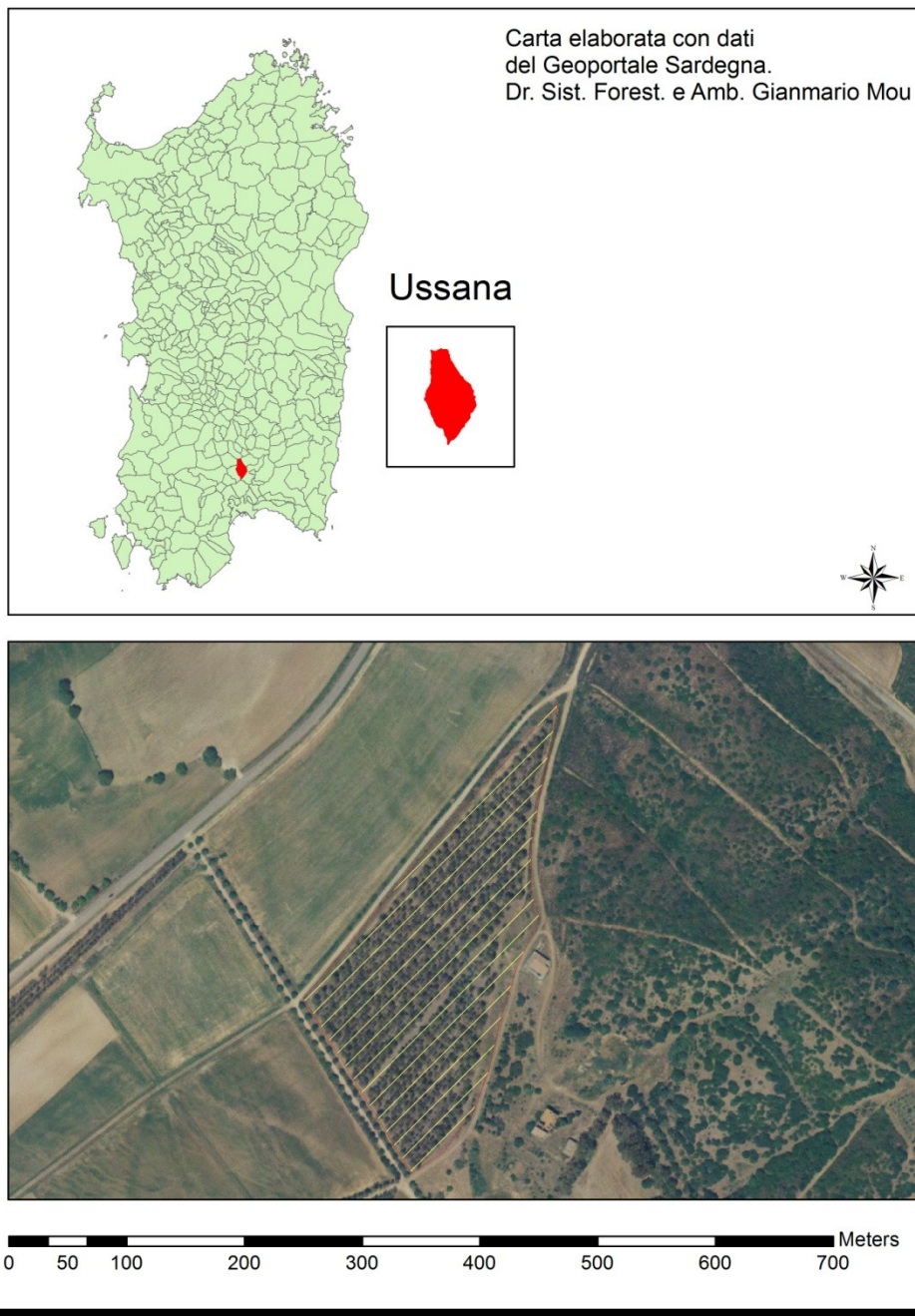


Figura 15: Inquadramento generale area di studio 1 (Comune di Ussana)

Materiali e metodi

La tecnica del fuoco prescritto prevede una prima fase di progettazione, dove vengono definite le prescrizioni di intervento e una fase operativa, in cui si prepara, si esegue e si valuta tutto ciò che è stato pianificato precedentemente. (Bovio e Ascoli, 2013). Questi autori, hanno messo a punto metodi e indicazioni pratiche seguite in questo intervento e di seguito riportate:

- Stabilire gli obiettivi e gli indicatori di successo
- Caratterizzazione in classi dei combustibili, analisi dell'umidità, stima del carico.
- Valutazione le condizioni meteorologiche del giorno del possibile intervento
- Descrizione e previsione del comportamento del fuoco
- Elaborazione delle prescrizioni
- Attuazione del trattamento di fuoco prescritto
- Valutazione del raggiungimento degli obiettivi

Le prime analisi hanno quindi riguardato lo studio quali-quantitativo dei combustibili, attraverso la misura di parametri utili per la pianificazione dell'intervento che ha prevalentemente la finalità di trasformare particolari strati di combustibile consumandone solamente alcune frazioni, e di limitare i possibili impatti su suolo, vegetazione e fauna nell'area trattata e nei dintorni.

I parametri stimati sono relativi sia alla caratterizzazione della formazione forestale trattata che dei combustibili potenzialmente pericolosi presenti ovvero:

- i principali dati dendrometrici del popolamento (diametro medio, altezza media, altezza di inserzione, numero di piante ad ettaro)

- il carico in t/ha dei combustibili valutato prima e subito dopo il trattamento, a sei e dodici mesi dal fuoco prescritto,
- la distribuzione per classi dimensionali ,
- il contenuto di umidità.

La diverse fasi dell'attività sperimentali si sono articolate come segue:

1. Caratterizzazione del popolamento oggetto di studio attraverso rilievi dendrometrici in specifiche aree di saggio
2. Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento da trattare prima delle precipitazioni;
3. Raccolta e stima del carico del combustibile potenzialmente pericoloso;
4. Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento da trattare dopo le precipitazioni;
5. Studio del comportamento del fronte di fiamma attraverso il calcolo dei parametri di previsione utili alla pianificazione del progetto esecutivo;
6. Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento il giorno del possibile trattamento;
7. Trattamento del popolamento oggetto di studio con la tecnica del fuoco prescritto;
8. Raccolta e calcolo del carico del combustibile rimasto dopo il trattamento;
9. Valutazione in campo dei parametri di comportamento del fronte di fiamma

Caratterizzazione del popolamento oggetto di studio

Preliminarmente è stata visionata tutta l'area in esame per valutarne l'omogeneità, e decidere la localizzazione dell'area di saggio.

Si è proceduto alla realizzazione di un'area di saggio circolare di 314 m² con raggio di 10 m. localizzata con strumentazione Gps, per avere una precisa localizzazione dei parametri

dendrometrici del popolamento. Mediante il cavalletto dendrometrico si è misurato il diametro dell'intero popolamento di Eucalipto. Sono state inoltre misurate anche le piantine di leccio presenti da preservare durante gli interventi, caratterizzate da parametri dendrometrici molto omogenei, ovvero un'altezza media di circa 3 metri, e un diametro medio di 4 centimetri.

Con ipsometro Vertex si è misurata l'altezza di ogni singola pianta di Eucalipto, e l'altezza di inserzione della chioma. Tutte le misurazioni sono state riportate all'ettaro, e calcolati i valori medi dei parametri riportati in tab 16.

Tabella 16: Sintesi dei dati dendrometrici e relative unità di misura

Diametro medio	19,5	cm
Altezza media	10	m
Altezza di inserzione media	3,68	m
Numero di piante di Eucalipto ad ettaro	540	---

Raccolta e stima del calcolo del carico del combustibile potenzialmente pericoloso

Per la raccolta e la stima del carico di combustibile si è proceduto con campionamento sistematico che ha permesso di raccogliere tutto il combustibile, suddiviso per diverse classi dimensionali. Queste corrispondono a distinte categorie di *timelag class* di combustibile (1h, 10h, 100h) corrispondenti a diversi diametri come specificato in tabella 17.

Sono le quattro categorie temporali di *timelag class*, cioè le classi di 1 ora, 10 ore, 100 ore e 1000 ore dipendenti dal diametro che esprimono la velocità di approssimazione allo stato di equilibrio (Viney e Hatton 1989) ovvero il tempo necessario ad una particella di combustibile morto per acquistare o perdere il 63% della differenza tra il suo contenuto iniziale di umidità e il

contenuto di umidità in condizioni di equilibrio in condizioni standard di temperatura, 25° C, ed umidità, 20%, (Byram 1963; Brown et al., 1982).

Se le condizioni ambientali di temperatura ed umidità relativa rimangono costanti, la particella avrà raggiunto il 95% del suo contenuto di umidità in equilibrio con l'ambiente dopo 4 periodi di time-lag.

Esse costituiscono lo strato di lettiera accumulato al suolo che rappresenta il potenziale propagatore del fuoco durante un incendio. Inoltre la prima classe, quella del combustibile 1H, è stata a sua volta suddivisa in combustibile di lettiera non decomposta e parzialmente decomposta.

Per lettiera non decomposta si intende lo strato di lettiera presente in superficie, costituito da residui vegetali, prevalentemente foglie intere, non modificate o frammentate, la cui forma originaria è ancora riconoscibile a occhio nudo; in esso la sostanza organica fine è assente o in percentuali minime (5-10%).

Per lettiera parzialmente decomposta si intende invece lo strato di humus e quello di suolo forestale in decomposizione (Brown et al., 1982), equivalente al materiale compreso tra l'orizzonte organo-minerale e la lettiera non decomposta (Zanella et al., 2001).

Tabella 17: Rapporto tra timelag e dimensioni classi essiccamento

Timelag class (h)	1	10	100	1000
Tempo di disidratazione in h	(0-2)	(2-20)	(20-200)	(>200)
Classe diametrica in cm	meno di 0,6	da 0,6 a 2,5	da 2,5 a 7,5	più di 7,5
Profondità della lettiera e humus in cm rispetto alla superficie	Superficiale	fino a circa 2	da 2 a 10	oltre i 10

II

campionamento per la raccolta del combustibile è stato effettuato su 6 plots di 1x1 m. delimitati

da picchetti, distribuiti in due file da tre plots ciascuna, lungo l'asse maggiore della parcella, i primi tre in corrispondenza del quarto filare di Eucalipto e gli ultimi in corrispondenza dell'ottavo filare verso l'alto (Fig.16 e 17).

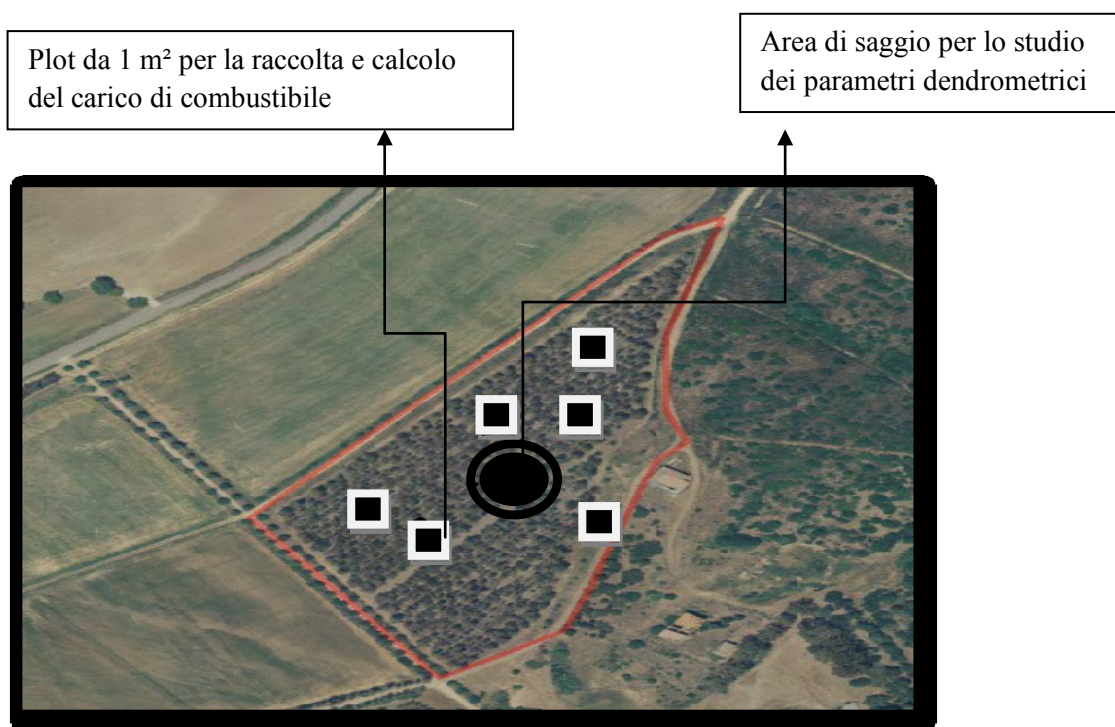


Figura 16: Localizzazione dell'area di saggio (cerchio nero) e dei plot (quadrati) nella parcella oggetto di indagine



Figura 17: Plot da 1 m² con combustibile di dimensioni diverse (a 1H e 10H)

Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento da trattare prima e dopo le precipitazioni

L'umidità percentuale dei combustibili è stata misurata nel giorno dei rilievi distinguendo il dato per tipo e classe di combustibile.

Il rilievo in campo ha previsto l'asportazione di 3 campioni di 50 gr. per ogni plot in totale 18, nella modalità (Bovio e Ascoli, 2013) di seguito riportata:

- Prelievo dei campioni per un peso fresco pari a 50 g. e separarli in componenti diverse come illustrato nel paragrafo precedente,
- Misura del peso fresco di ogni componente con una bilancia da campo,
- Annotazione con pennarello indelebile di luogo, data, ora di raccolta, componente, peso fresco.

I campioni sono stati poi portati in laboratorio dove per il calcolo del peso anidro del combustibile si è fatto riferimento al “metodo per doppia pesata” UNI 9091/2, che rappresenta la norma di riferimento per la determinazione del tenore di umidità del legno. I singoli campioni suddivisi in lettiera non decomposta, lettiera parzialmente decomposta (combustibili a 1 ora), combustibile a 10 ore e combustibile a 100 ore indicati sono stati sottoposti a pesatura (Fig.18) con precisione dello 0,2% prima allo stato umido e successivamente allo stato anidro. Lo stato anidro del combustibile si è raggiunto mediante essiccazione in stufa ventilata, a temperatura di $100\pm 2^{\circ}$ C ed eseguendo successive pesate per la valutazione della stabilizzazione del peso al momento della estrazione dalla stufa.



Figura 18: Pesatura dei campioni prima dell'essiccazione

L'umidità media U dei campioni, è stata calcolata come percentuale sulla massa anidra, mediante la formula:

$$U = 100 (m_1 - m_2)/m_2$$

dove: m_1 è la massa dei campioni allo stato fresco m_2 è la massa dei campioni allo stato anidro. La massa anidra è stata calcolata come media aritmetica delle masse anidre dei singoli campioni.

Un altro fattore fondamentale è l'individuazione della finestra meteorologica più adatta per l'identificazione del giorno di esecuzione del fuoco prescritto.

La giornata è stata scelta in base alle temperature medie del periodo di riferimento, all'umidità dell'aria, e ai giorni dall'ultima pioggia come illustrato di seguito.

Questo ultimo fattore ha assunto un'importanza rilevante, in quanto si è attesa una precipitazione che innalzasse l'umidità dei combustibili diventata bassissima a causa delle temperature dell'aria già assestate sui 20°C e dalla mancanza di precipitazioni nel periodo esaminato.

Una precipitazione avvenuta pochi giorni prima, ha favorito l'innalzamento dell'umidità degli strati di lettiera; nei successivi 3 o 4 giorni per effetto della brezza e di temperature intorno ai 20°C, si è nuovamente verificata la disidratazione dei combustibili di superficie senza però influire sull'umidità del suolo ormai prossima all'80%.

E' fondamentale che ci sia un'elevata differenza tra umidità della lettiera da sottoporre al fuoco prescritto ed umidità del terreno.

È stato dimostrato infatti che operando con temperature del suolo fra 0 e 10°C e un'elevata umidità dell'humus (80-120%), si può limitare l'impatto termico sul suolo: in corrispondenza di un fronte intenso (fino a 1500 kW m⁻¹), con tempi di residenza delle temperature alla superficie del suolo prolungati (1-4 min. sopra 100°C), nell'orizzonte organico si sono osservate deboli variazioni di temperatura, comprese entro i 20° C (Ascoli, 2008) (Valese et al. 2011). Diversamente, operando con temperature del suolo più alte e un'umidità minore, l'impatto termico aumenta e può causare una riduzione dell'attività microbica nel suolo (Catalanotti et al., 2008).

La giornata dell'intervento presentava infatti una distanza temporale di una settimana dall'ultima precipitazione, e temperature assestate sui 16 °C e umidità dell'aria intorno al 60%. Inoltre è stata verificata la presenza di un vento topografico con velocità compresa tra i 5 e 10 km/h. Tutti i parametri meteorologici sono stati misurati con anemometro portatile KESTREL 4500, che misura direzione e velocità del vento, umidità dell'aria e temperatura istantanea.

Tabella 18: Sintesi delle condizioni meteo e stazionali nel possibile giorno del trattamento

Temperature °C	Umidità % aria	Velocità vento km/h	Pendenza	Esposizione
14-18 °C	60-70 %	5-10 km/h	W-NW	0-5 %

Le prescrizioni operative dell'intervento sono state definite dal Dott. Giuseppe Delogu, responsabile operativo del CFVA, mediante l'ausilio del software di simulazione di comportamento del fuoco Behave Plus e sono di seguito riportati in tabella 19.

Tabella 19: Prescrizioni operative di intervento

Parametri	Minimo	Massimo	Ottimale
Lunghezza fiamma (m)	0,40	1,20	0,60-0,90
Energia rilasciata (Kw*m ⁻¹)	100	240	200
Umidità relativa % dell'aria	40	80	50-60
Temperatura dell'aria °C	10	20	13-17
Pendenza del suolo (%)	0	40	10-25
Velocità del vento (Km/h)	1	10	3-5
Velocità propagazione del fuoco (m/min)	1	10	6-8

Trattamento del popolamento oggetto di studio con la tecnica del col fuoco prescritto

Il progetto esecutivo del lavoro, redatto dal CFVA, ha previsto preliminarmente la messa in sicurezza della parcella, fondamentale per garantire la corretta evoluzione del fuoco e assicurare la massima sicurezza anche agli operatori impegnati nell'intervento.

L'area interessata dal trattamento, complessivamente pari ad ha. 2,50 circa, è stata ripartita in tre parcelle.

Preliminarmente è stata costituita una "linea nera" cioè una linea di sicurezza effettuata con l'utilizzo del fuoco a monte delle tre parcelle, larga 10 metri e lunga per tutto il lato a monte della parcella e il lato obliquo (Fig.19). Essa ha la funzione di settorizzare e delimitare la parcella ricadente al trattamento, impedendo eventuale perdita di controllo del fuoco e suo passaggio alle aree adiacenti.

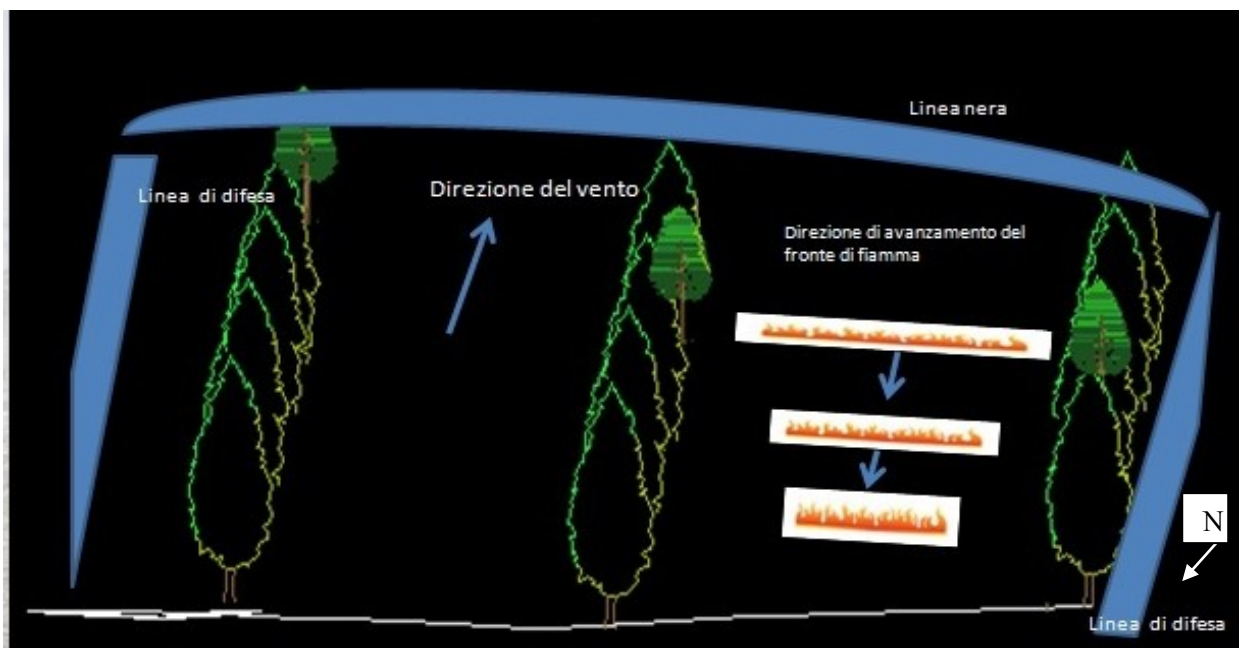


Figura 19: Linea nera e linee di difesa per la sicurezza

L'esecuzione della linea nera è stata preceduta dalla costruzione di una linea di difesa larga 1 metro, da effettuarsi con l'uso di tre "Gorgui" (nuovi rastrelli catalani) (Fig. 20) usati in batteria da tre operatori del CFVA, eliminando completamente il combustibile al suolo per tutta la lunghezza e larghezza della linea.



Figura 20: Gorgui nuovi rastrelli catalani

Una volta realizzate le tre linee di difesa si è eseguito il fuoco di preparazione della linea nera a monte delle tre parcelle con la finalità di eliminare la maggior parte del combustibile di piccole dimensioni in tutta la superficie della linea di difesa

A dieci metri a valle della linea principale si è tracciata la seconda linea di difesa, parallela alla prima e della stessa larghezza.

Preliminarmente all'intervento è stata misurato e monitorato con un anemometro portatile KESTREL 4500, la presenza di un leggero vento topografico, con direzione W-NW, che ha

permesso di condurre il fuoco prescritto con inclinazione delle fiamme sempre verso l'alto e con l'avanzamento "di coda" verso il basso.

In relazione alle caratteristiche quali – qualitative del combustibile potenzialmente propagatore presente nell'area oggetto di indagine, una volta settorizzate le tre parcelle, si è proceduto con la tecnica delle linee di fuoco parallele alle curve di livello e discendenti verso il basso. Questo metodo si utilizza per mantenere costante e debole l'intensità del fronte di fiamma, e contenere allo stesso tempo la lunghezza di fiamma; esso è infatti particolarmente indicato in letteratura per interventi sotto copertura forestale in presenza di venti costanti. (Bovio e Ascoli, 2013). L'accensione in passato generalmente era praticata dagli operatori con semplici strumenti, quali ciuffi di erba secca, o con porzioni di *Ferula communis* L. infiammata con la quale si innescava il fuoco (Bovio e Ascoli, 2013). Oggi per l'accensione si utilizza un'apposita torcia, la Drip torch. (Fig.21)



Figura 21:Drip torch

Questo strumento è composto da un serbatoio di capacità variabile, dove all'interno si introduce un combustibile liquido, di solito una miscela di gasolio 75%, e benzina 25%, che garantisce una combustione costante ma non troppo veloce. Al serbatoio è collegato un condotto che termina con una parte spugnosa che una volta imbibita di combustibile ed accesa farà, con la semplice inclinazione della torcia, cadere delle gocce infiammate. L'ansa ricurva del tubo di uscita rende costante il deflusso del liquido. Tutte le operazioni riguardanti l'intervento di fuoco prescritto, sono state seguite e realizzate da squadre di esperti del CFVA, composte da un capo torcia, quattro operatori di accensione, e numerosi addetti alla sicurezza.

Il Capo torcia ha garantito che l'agire degli operatori fosse in perfetto allineamento, regolando con comandi via radio la velocità di avanzamento. Le operazioni di accensione sono state svolte da quattro operatori del CFVA con torcia.



Figura 22: Operatore con la fire drip torch

Per la gestione e il controllo della propagazione del fuoco è stata necessaria la presenza di quattro operatori dotati di atomizzatore, per direzionare lo sviluppo e il cammino delle fiamme nel senso desiderato (Fig.23).



Figura 23: Operatori con atomizzatori nelle fasi di accensione: i sacchetti di tela servono a rendere più visibili i picchetti che indicano la posizione delle termocoppie

A monte della parcella trattata, lungo la strada di accesso, erano presenti operatori dotati di mezzi mobili adeguati con il compito di pronto intervento in caso di salti di fuoco

Raccolta e calcolo del carico del combustibile rimasto dopo il trattamento

Dopo il trattamento, è stato misurato il carico di combustibile rimasto con lo stesso metodo utilizzato per la misurazione del carico pre-trattamento; cioè attraverso la raccolta in campo di tutta la lettiera rimanente negli stessi 6 plots di 1 m² delimitati da picchetti e attraverso la successiva fase di laboratorio per il calcolo del peso anidro ricavato col metodo della doppia pesata.

Questo dato utile all'individuazione del consumo del combustibile avvenuto a seguito dell'intervento di fuoco prescritto è stato anche calcolato nei sei e dodici mesi successivi

all'intervento, per calcolare l'accumulo della lettiera nel tempo e identificare così il tempo di ritorno di ulteriori trattamenti col fuoco prescritto.

Valutazione in campo dei parametri di comportamento del fronte di fiamma

In collaborazione con l'Università di Torino sono stati eseguiti, inoltre, importanti rilievi per caratterizzare il fronte di fiamma e valutare la sua potenza energetica. E' stata in particolare misurata la velocità di avanzamento del fuoco, utile per capire in quanto tempo il fronte percorrerà l'intera parcella, e poi calcolare l'intensità.

Per la misurazione della velocità di avanzamento, e la conseguente intensità lineare indipendentemente dalla direzione di propagazione è stato adottato il metodo ideato da Simard et al. (1984), che prevede di registrare il tempo di arrivo del fuoco ai vertici di un triangolo equilatero e di ricavarne la direzione e velocità mediante le formule trigonometriche illustrate in figura 24.

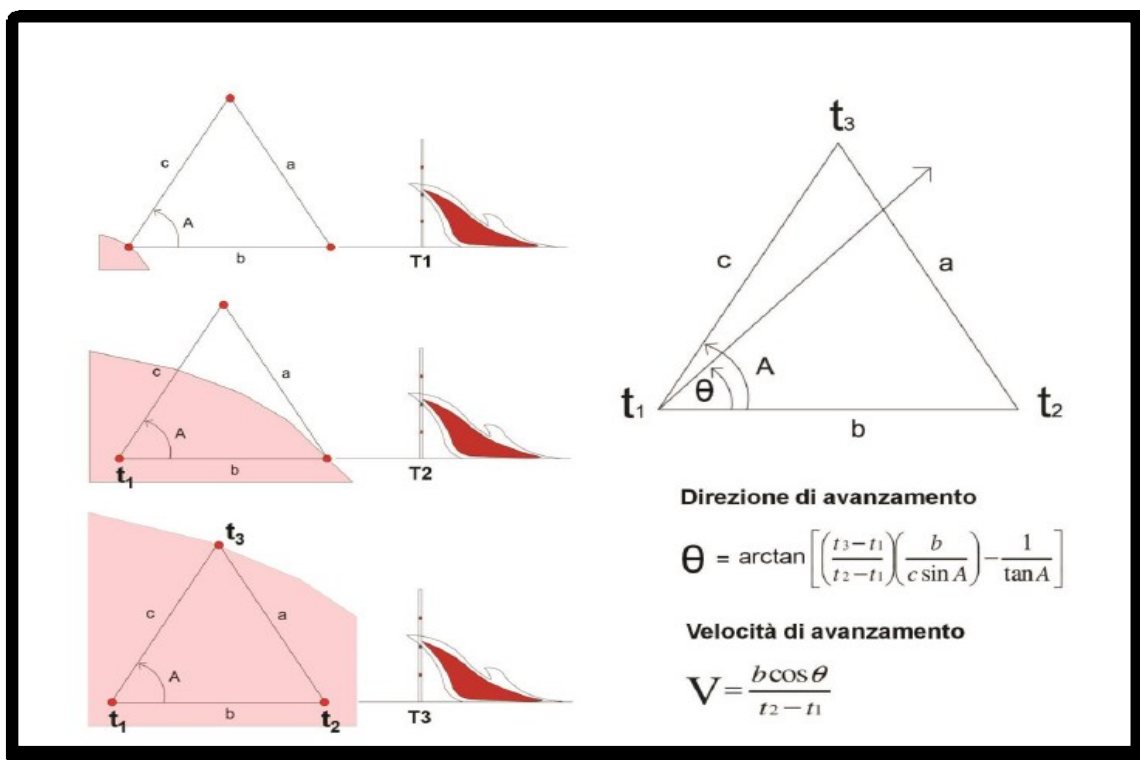


Figura 24: Metodo Simard et al. (modificato da Bovio e Ascoli, 2013)

Infatti con il supporto del Dott. Davide Ascoli, sono stati dislocate in 10 plot alcune termocoppie di tipo K (0 – 1250 °C), con datalogger Hobo Onset (Fig. 25) ai vertici dei triangoli equilateri di lato pari a 2m.

La termocoppia è un sensore di temperatura messo a punto dal fisico estone Thomas Johann Seebeck, dal quale prende il nome l'effetto omonimo che sfruttano le termocoppie in un circuito formato da due conduttori di natura differente, si instaura una differenza di potenziale se sottoposto ad un gradiente di temperatura (*effetto Seebeck*) (Fig. 26).



Figura 25: Datalogger Hobo Onset e Termocoppia di tipo K.

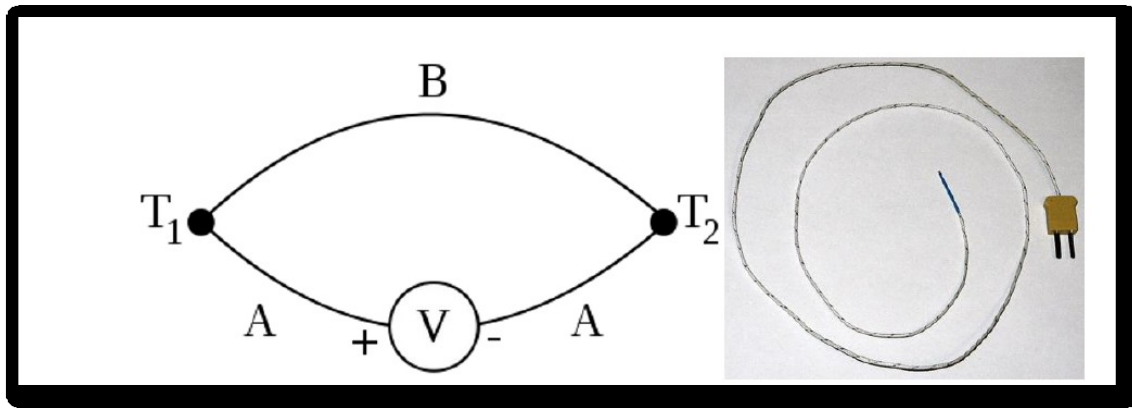


Figura 26: Rappresentazione circuitale di una termocoppia e termocoppia.

Una termocoppia quindi è formata da una coppia di conduttori elettrici di materiale diverso saldati tra di loro in un punto chiamato convenzionalmente *giunto caldo*, ed è in questo punto che verrà misurata la temperatura del fronte di fiamma. L'altra estremità della termocoppia, costituita dalle estremità libere dei due conduttori, viene chiamata *giunto freddo*.

Quando si verifica una differenza di temperatura tra i due giunti si instaura la differenza di potenziale elettrico. Tale valore di potenziale è funzione diretta della differenza di temperatura secondo la seguente legge non lineare:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n V^n$$

I sensori di forma cilindrica e muniti di data logger sono stati inseriti con modalità *random* alla profondità di una quindicina di cm dal piano di campagna, al fine di attestare e documentare i diversi gradienti termici sviluppati e misurati al suolo ed il tempo di residenza della fiamma.



Figura 27: Analisi delle temperature raggiunte nel suolo durante le operazioni di fuoco prescritto

Infine l'uso di apposite paline graduate e dislocate opportunamente nei pressi dei triangoli adibiti alle termocoppie, hanno permesso di stimare a distanza la lunghezza della fiamma durante la propagazione del fuoco prescritto.

Sono state inoltre adottate le necessarie accortezze tecniche per evitare danni alle piante di leccio presenti tra i filari di *Eucaliptus*; alcuni operatori hanno praticato preliminarmente, con l'uso del "Gorgui", l'eliminazione parziale dei combustibili fini accumulati al di sotto delle piante di leccio e successivamente con rimozione meccanica veloce al passaggio del fronte ove considerato indispensabile.

Risultati

I primi risultati secondo un ordine temporale sono quelli relativi al combustibile che si presentava compatto e abbondante a causa delle allora recenti gelate di febbraio e dell'attacco estivo di *Psilla* (*Glycaspis brimblecombei*), che ha generato una forte filloptosi e conseguente accumulo patologico al suolo. (Fig. 28)



Figura 28: Abbondante lettiera accumulata su un plot di 1 m²

Il combustibile anidro, suddiviso come precedentemente illustrato nelle varie componenti, è stato campionato precedentemente all'intervento. Ciò ha evidenziato una certa variabilità di accumulo della necromassa dovuta a stroncamenti di branche o presenza localizzata di erbe secche e di lettiera in piccole vallette o tra un albero e l'altro. I valori di carico di combustibile al suolo sono riferiti all'intera particella sono illustrati dalla fig.29.

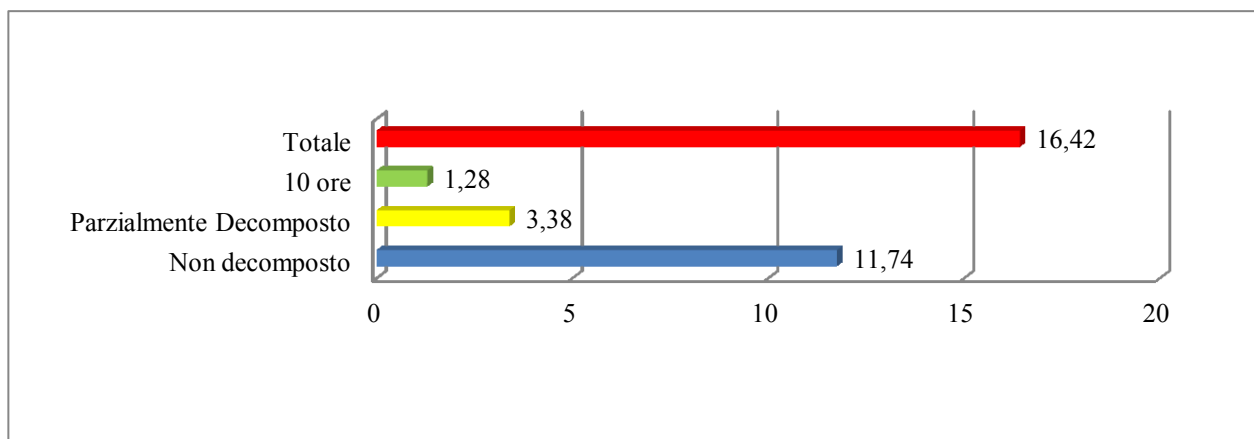


Figura 29: Carico di combustibile anidro presente nella parcella suddiviso nelle varie tipologie di combustibile identificate (valori in t/ha)

Il carico di combustibile totale è risultato pari a 16,42 tonnellate per ettaro. Dopo l'applicazione del fuoco prescritto, nei plot da 1 m² è stata raccolta tutta la lettiera residua, sempre accuratamente catalogata nelle diverse classi diametriche e quindi di time lag per valutare il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione della biomassa.

Nei plot n°6 e 10 il consumo della lettiera è stato completo, nel 5 non è avvenuta la combustione a causa della presenza di combustibile erbaceo verde, mentre negli altri 7 plot avevamo lettiera residua nelle proporzioni riportate in tab.20:

Tabella 20: Distribuzione del carico di combustibile dopo il trattamento nei plot da 1 m²

Plot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Combustibile a 1 H in g	73,5	312	305,7	230	Lettieria incombusta intatta	0 consumo completo	179	25	130	0 consumo completo
Combustibile a 10 H in g	33,76	20	0	28	0		0	17	31	

Il carico residuo del combustibile non consumato ha una importanza strategica per il riscontro della funzionalità dell'intervento rispetto agli obiettivi prefissati del trattamento che in questo caso erano di ridurre fino al 90 % la lettiera e il combustibile potenzialmente pericoloso.

Tabella 21: Quantità media di lettiera residua dopo il trattamento calcolata, (sono esclusi i due plot in cui la combustione è stata completa, e il plot in cui non è avvenuta la combustione.

Tipo di combustibile	Non decomposto		Parzialmente decomposto	10 H	
Peso in g a m ²	156,9		0	16,22	
Peso in t ad ettaro	1,569		0	0,1622	
Peso combustibili residui in t per ettaro					1,7312

In relazione ai valori iniziali di lettiera stimati intorno alle 16 t/ha prima del trattamento, il residuo di 1,73 t/ha rappresenta il 10,62% del totale carico iniziale (tab.21) pertanto la precisa e oculata applicazione del fuoco prescritto ha permesso il raggiungimento dell'obiettivo principale ovvero la riduzione del carico di combustibile del 90 % fig. 30 e 31.



Figura 30: Immagine del sito dopo il trattamento, a sinistra la componente erbacea verde che non ha permesso il propagarsi del fuoco in ogni punto del sito



Figura 31 Immagine del sito dopo il trattamento: notare la persistenza di residui incombusti di combustibili a 19 H

Dopo il trattamento si è proceduto al calcolo dell'accumulo del carico di combustibile a distanza di sei e dodici mesi dall'intervento come illustrato in Tab. 22 e 23 e in fig.32 e 33.

Tabella 22: Carico del combustibile a sei mesi dall'intervento (ottobre 2012)

Peso	Non decomposto	Parzialmente decomposto	10 ore	t/ha totali
g 7m ²	375,66	327	77	
t/ha	3,75	3,27	0,77	7,79

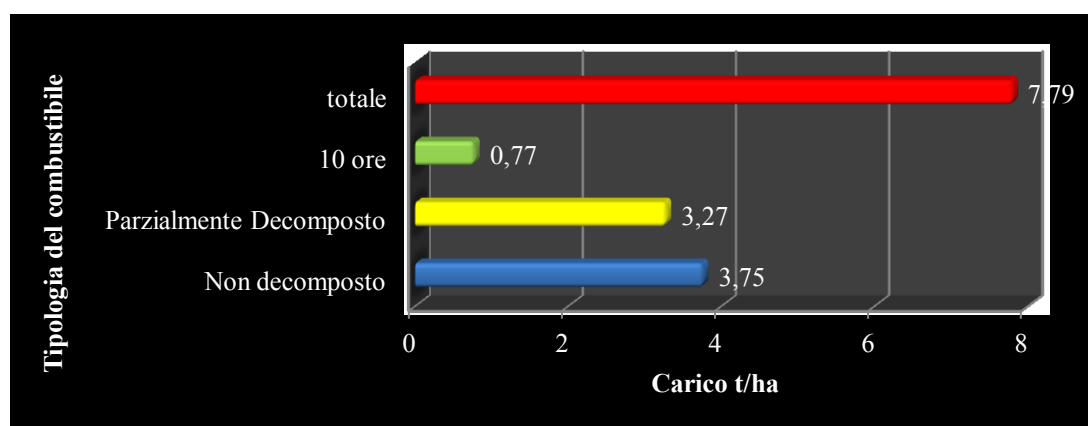


Figura 32: Carico di combustibile della lettiera a sei mesi dal trattamento calcolata sui sette plot

Dai dati riportati in tabella 22 e fig. 32, si osserva che l'accumulo di lettiera procede abbastanza velocemente, infatti già a sei mesi dall'intervento sono state stimate circa 7,8 t/ha di combustibile, rispetto alle 16,4 t/ha presenti prima dell'intervento e le 1,7 t/ha residue misurate subito dopo.

Questo dimostra che dopo i primi sei mesi quasi la metà del carico iniziale si era ricostituito e depositato sulla lettiera a causa di accumulo di necromassa proveniente dalla caduta di foglie, rametti e residui morti principalmente dalle piante di Eucalipto.

A 12 mesi dall'intervento, come si può leggere dai risultati riassunti in tab. 23 e fig. 33, l'accumulo di lettiera ha raggiunto un carico di circa 9 t/ha, quindi pari al 55% circa del carico originario

Tabella 23: Carico calcolato a 12 mesi dal trattamento (Aprile 2013)

Peso	Non decomposto	Parzialmente decomposto	10 ore	t/ha totali
g 7m ²	409,2	402,8	93,6	0
t/ha	4,092	4,028	0,936	9,056

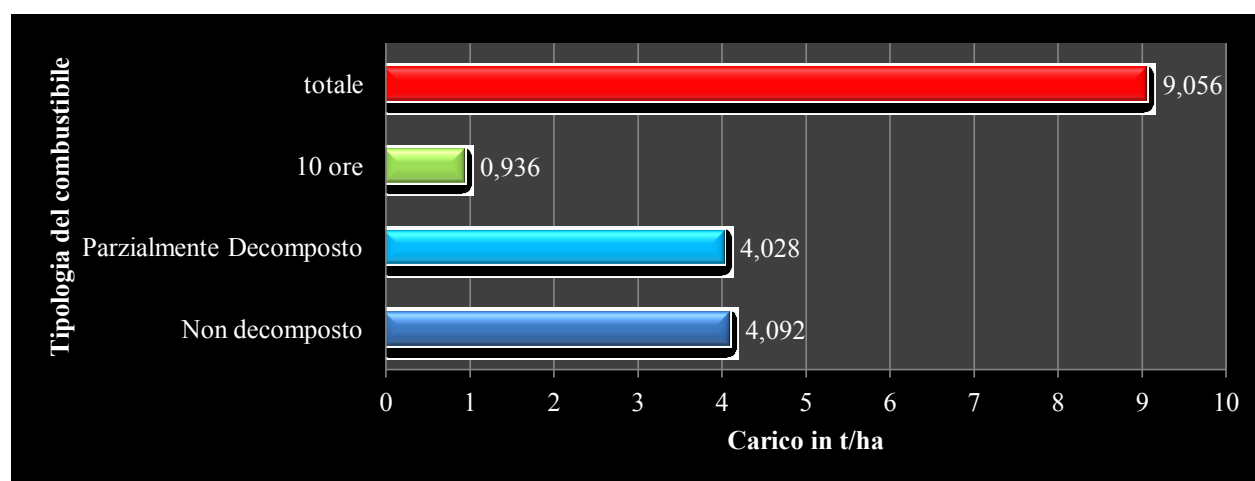


Figura 33: Carico di combustibile della lettiera a dodici mesi dal trattamento

Risulta inoltre interessante mostrare le quantità di lettiera ripartita in parzialmente decomposta, non decomposta e a 10 ore in t/ha e in percentuale nelle figure riassuntive come i quelli riportati nella pagina seguente.

Nelle fig. 34,35,36,37,38 vengono riportati i valori di carico nei diversi intervalli temporali (pre-trattamento; post-trattamento, a sei e dodici mesi dall'intervento di fuoco prescritto), suddivisi per

categoria di combustibile, rispettivamente fig.34 lettiera non decomposta, fig.35 lettiera parzialmente decomposta, fig.36 a 10 ore e fig. 37 la lettiera totale.

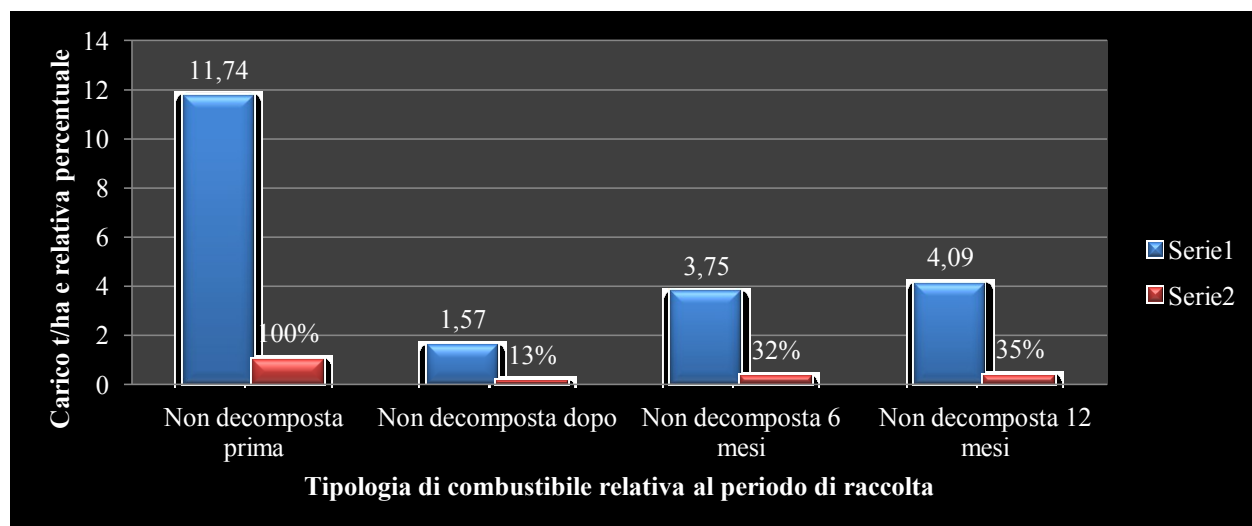


Figura 34 Lettiera non decomposta in t/ha e percentuale rimanente prima del trattamento, immediatamente dopo, a sei e a dodici mesi dal trattamento

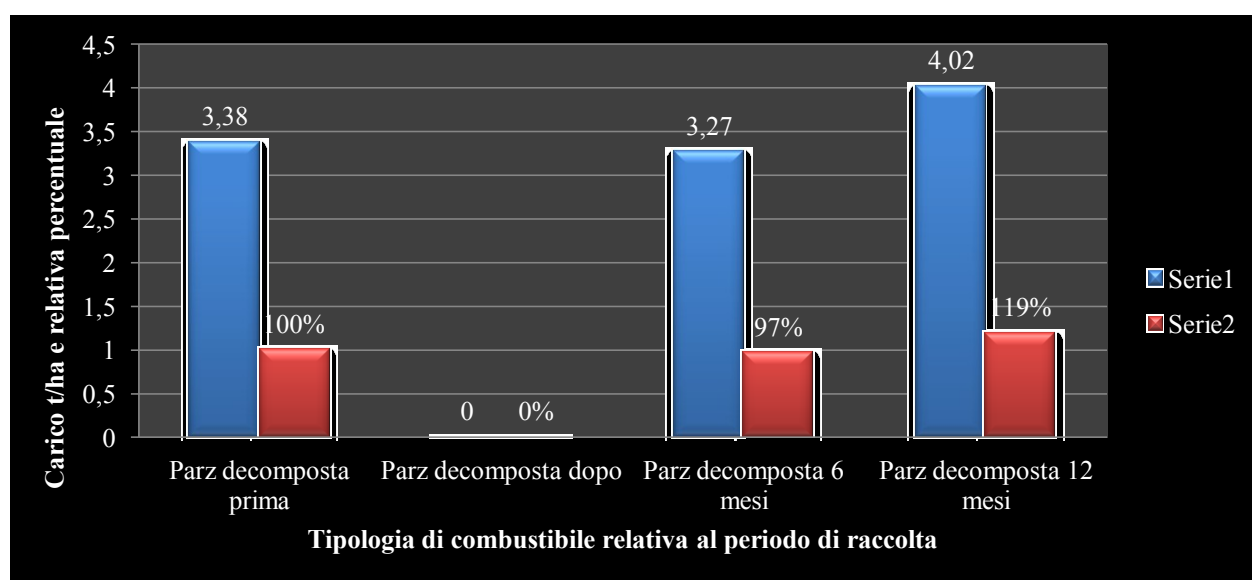


Figura 35: Lettiera parzialmente decomposta in t/ha e percentuale rimanente prima del trattamento, immediatamente dopo, a sei e a dodici mesi dal trattamento

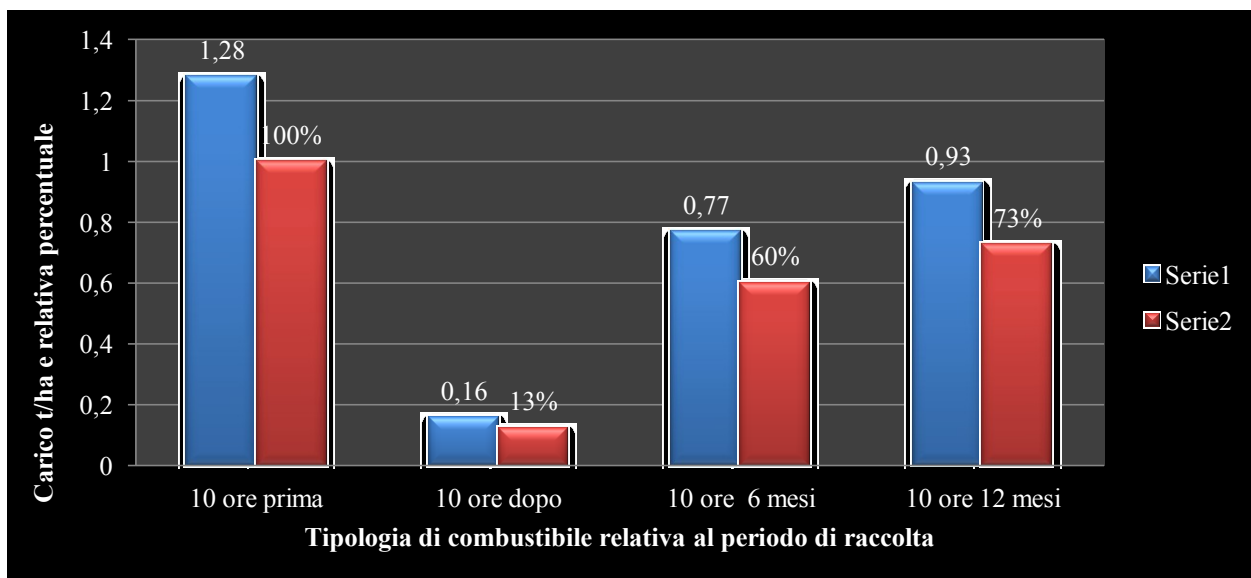


Figura 36: Lettieria a 10 ore in t/ha e percentuale rimanente prima del trattamento, immediatamente dopo, a sei e a dodici mesi dal trattamento

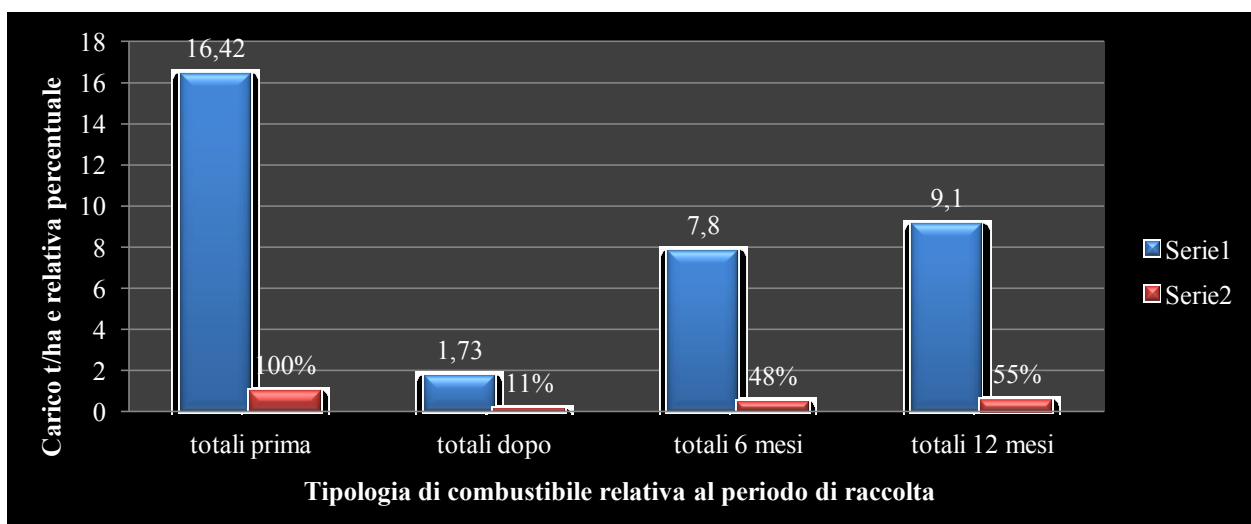


Figura 37: Lettieria totale in t/ha e percentuale rimanente prima del trattamento, immediatamente dopo, a sei e a dodici mesi dal trattamento

In fig. 38 vengono riportati i valori delle varie componenti in tutte le fasi operative, per rendere evidente come l'accumulo della lettieria avviene nel tempo.

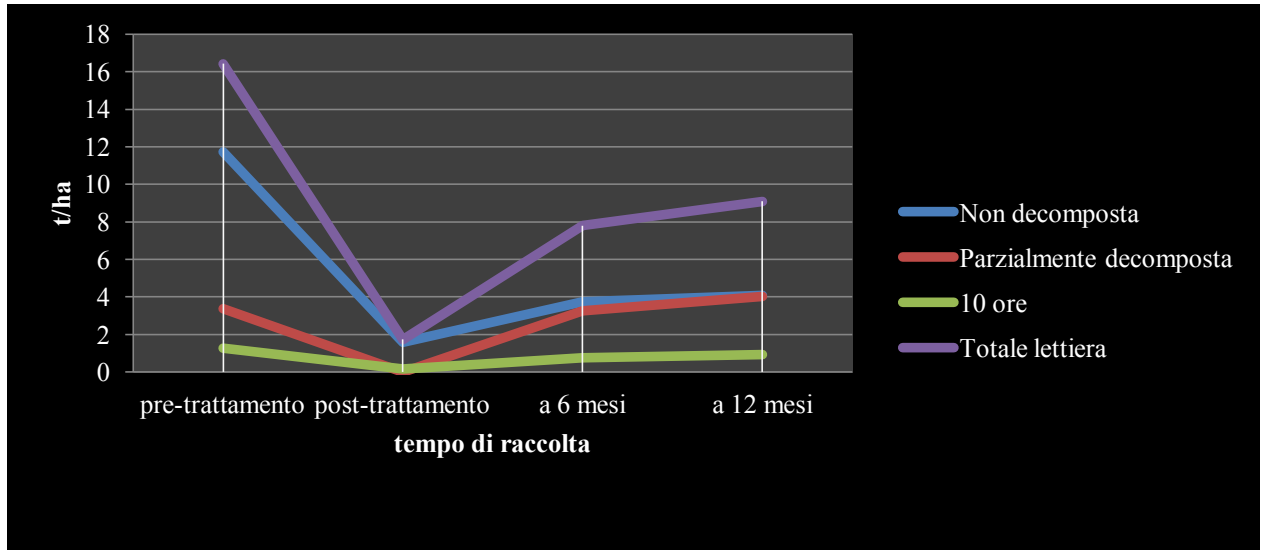


Figura 38: Lettiera in t/ha ripartita in classi ripartita nel periodo temporale in esame.

Come si può riscontrare dalla fig.38 l'accumulo prosegue nel tempo con un accumulo rapido nei primi sei mesi ma subendo poi dai sei ai 12 mesi di distanza dal trattamento un notevole rallentamento, per cui la curva assume un andamento appena inclinato, quasi orizzontale nelle tre classi di combustibile.

Umidità del combustibile

Per il calcolo dell'umidità del combustibile si è proceduto con il metodo della doppia pesata, come già descritto nella sessione materiali e metodi; tale valore ha rappresentato un dato fondamentale per valutare il giorno migliore per il trattamento.

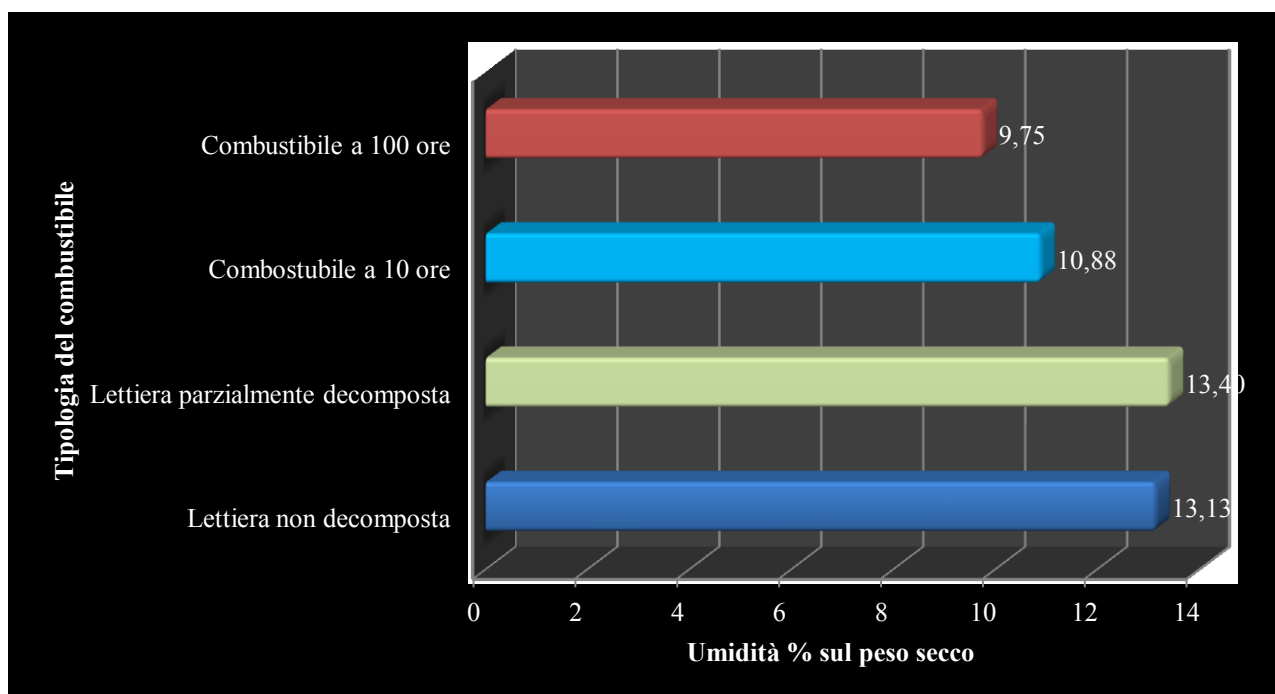


Figura 39: Umidità percentuale dei combustibili sul peso secco al primo campionamento

I valori di umidità stimati per dei due tipi di lettiera (Fig.39) e del combustibile a 10 ore, risultano rispettivamente 13%, 14,4%, 10,8%; possiamo confermare che essi confermano la bontà della scelta del periodo per l'applicazione della prova, perché come riportano (Bovio e Ascoli, 2013) valori di umidità elevati superiori al 30-40% non consentono di applicare il fuoco prescritto in modo efficace, viceversa valori troppo bassi inferiori al 10%, determinano fronti di fiamma veloci, intensi, col rischio di salti di faville e innesco di fuochi sotterranei con conseguente aumento delle difficoltà operative e della severità dell'intervento.

Studio del comportamento

Per studiare il comportamento del fuoco prescritto sono state utilizzate tecniche già ampiamente descritte in letteratura (Bovio e Ascoli, 2013) e di seguito riportate affinché le misure siano confrontabili e ripetibili.

Dei parametri del comportamento del fuoco, sono stati misurati e analizzati i seguenti:

1. Velocità di propagazione (m min^{-1})
2. Intensità (kW m^{-1})
3. Lunghezza di fiamma (m)
4. Tempo di residenza ($\text{sec.}>200^\circ\text{C}$)

I suddetti parametri, consentono di validare e calibrare i software e le metodologie di simulazione del comportamento del fuoco prescritto che si intendono utilizzare per possibili interventi futuri.

La conoscenza della velocità di propagazione del fuoco in determinate condizioni ambientali, sarà utile per stabilire al meglio future aree di intervento, prevedere l'evoluzione del fronte di fiamma in simili condizioni stazionali e per calcolare l'intensità lineare. Per la sua determinazione ci si è

serviti alcune delle formule trigonometriche proposte da Simard et al. (1984) già descritte nella parte materiali e metodi.

L'intensità lineare, consente di confrontare interventi di fuoco prescritto realizzati in condizioni meteorologiche e topografiche diverse (Bovio et Ascoli, 2013); le prescrizioni operative danno infatti indicazioni relative al comportamento in termini di range di intensità (Fernandes e Loureiro 2010). Essendo l'intensità un parametro direttamente proporzionale alla difficoltà di gestire i fronti di fiamma, la sua determinazione appare utile affinché vengano sempre rispettati i parametri di sicurezza, oltre che a prevedere gli effetti del fuoco sugli elementi interessati dalle fiamme e lungo la traiettoria della colonna convettiva; è importante sottolineare che sembrerebbe non esserci una relazione tra essa e gli effetti sul suolo. (Bovio e Ascoli, 2013). Contrastanti osservazioni sugli effetti di un'elevata intensità (da specificare che si trattano di intensità dovute a incendi e non fuoco prescritto) sono quelli presentati da Certini (2011) il quale sottolinea tra gli effetti più deleteri la rimozione di una parte consistente del carbonio contenuto del suolo, con sua reimmissione nell'atmosfera ed ovvie ripercussioni sull'effetto serra. Nonostante ciò, l'apporto al suolo di una componente organica con lunghissimo tempo di residenza, quale è il carbone, parzialmente bilancia tale effetto negativo degli incendi.

Per calcolare l'intensità lineare è stata utilizzata la formula di Byram (1959) che definisce l'intensità lineare come la quantità di energia rilasciata nell'unità di tempo da un segmento della lunghezza di un metro del fronte di incendio $Il = H w r$

Dove:

Il = intensità lineare, espressa in $\text{kJ m}^{-1}\text{s}^{-1}$,

H = potere calorifico, in kJ kg^{-1} , normalmente assunto pari a $18.000 \text{ kJ kg}^{-1}$

w = carico di combustibile consumato nella fase attiva della combustione, in kg m^{-2} ,

r = velocità di propagazione, in m s^{-1}

Tabella 24: Velocità di propagazione e intensità lineare misurata nei plot sperimentali (dove 1, 2 e 3 sono i vertici dei triangoli equilateri con lato di 2 metri ove sono state posizionate le termocoppie)

DISTANCE (m)	ANGLE	1	2	3	ROS (m/sec)	ROS (m/min)	Intensità (kW/m)
2	60	3:50:24	3:53:17	3:56:32	0,00543	0,3	130
2	60	1:58:49	1:59:40	1:59:53	0,02956	1,8	707
2	60	4:02:03	4:03:42	4:06:13	0,00794	0,5	190
2	60	5:02:24	5:02:31	5:03:50	0,02094	1,3	501
2	60	5:02:54	5:04:38	5:04:50	0,01568	0,9	375
2	60	5:44:40	5:47:15	5:49:13	0,00730	0,4	175
2	60	4:37:14	4:37:15	4:41:55	0,00617	0,4	148
2	60	5:24:13	5:24:24	5:26:22	0,01398	0,8	334
					MEDIA	0,8	319,8

I valori di intensità risultano variabili, come è evidente in tab. 24, ha una media di 319,8 kw/m.

La lunghezza di fiamma, parametro importante per prevedere gli effetti del fuoco prescritto sullo strato arboreo e per valutare le condizioni di operatività in sicurezza, risulta direttamente proporzionale all'intensità lineare.

Per la misura della lunghezza di fiamma è stata utilizzata l'equazione di Byram (1959), ovvero ricavandola indirettamente dalla formula nota l'intensità lineare e vista la difficoltà in campo di stimare questo parametro in modo accurato. In particolare è stata utilizzata la nota espressione

$$I = 295,83 L^{2.17}$$

dove I è l'intensità in kWm^{-1} e L la lunghezza di fiamma in m.

La lunghezza di fiamma media è stata calcolata in funzione dell'intensità lineare, utilizzando la predetta relazione di Byram (1959), ed utilizzando i parametri osservati durante il fuoco prescritto nel modo seguente:

$$I = 295,83 \times L^{2.17} \quad L = 1.03 \text{ metri}$$

Analizzando i parametri di comportamento del fuoco calcolati e ricavati come illustrato precedentemente, possiamo valutare la bontà dell'intervento ai fini del rispetto delle prescrizioni stabilite precedentemente e descritte nella sessione materiali e metodi.

In Tab 25 sono riportati, per un opportuno raffronto, i valori riscontrati in sede di intervento e quelli relativi alla prescrizione.

Il confronto mette in evidenza che la lunghezza di fiamma di 1,03 metri rientra ampiamente nei limiti operativi della prescrizione, così come i dati meteorologici di temperatura. La velocità di propagazione risulta quasi troppo bassa, ma si tratta di un valore medio riferito a tutta la parcella, in ogni caso molto vicina al limite minimo di attuazione. Solamente l'intensità lineare media è risultata maggiore di quella desiderata nelle prescrizioni, ma questo dato può essere stato influenzato dalla posizione delle termocoppie che sono state collocate nei punti con maggior accumulo di lettiera più facilmente raggiungibili dalla strada sterrata a sud.

Anche i valori di umidità dell'aria e velocità e direzione del vento hanno evidenziato la bontà della scelta della finestra operativa ottimale per l'intervento

Tabella 25: Confronto tra i parametri dettati dalle prescrizioni) e quelli rilevati durante il fuoco prescritto

Parametri	Minimo	Massimo	Ottimale	Dati medi rilevati in campo
Lunghezza fiamma	0,40	1,20	0,60-0,90	1.03

(m)				
Energia rilasciata (Kw*m ⁻¹)	100	240	200	319
Umidità relativa % dell'aria	40	80	50-60	50-60
Temperatura dell'aria °C	10	20	13-17	15-18
Pendenza del suolo (%)	0	40	10-25	15
Velocità del vento (Km/h)	1	10	3-5	3-5 W-NW
Velocità propagazione del fuoco (m/min)	1	10	6-8	0.8

L'altro parametro importante è il tempo di residenza delle fiamme e le temperature raggiunte, che più dell'intensità lineare determinano il consumo di combustibile, a livello del suolo e delle radici (Bovio et Ascoli, 2013).

Nelle figure 40-41-42-43 sono riportati 4 profili di tempo di residenza delle temperatura alla superficie del suolo, misurati con termocoppie fini (0,4 mm), tipo k (0-1200 °C) che consentono di indicare le temperature massime raggiunte nel punto di misurazione e il tempo di residenza della temperatura al di sopra dei 200°C.

In letteratura sono descritti, con riferimento ad interventi realizzati in Italia, profili di residenza (Bovio e Ascoli, 2013), in relazione a interventi di fuoco prescritto in combustibili erbacei arbustivi e necromassa legnosa, con temperature massime raggiunte durante gli interventi rispettivamente di 400°C, 609 °C, e 875°C; profili di residenza al di sopra dei 100 °C di 43 secondi

nei combustibili erbacei, di 706 secondi in quelli arbustivi, e 1472 secondi in quelli di necromassa legnosa.

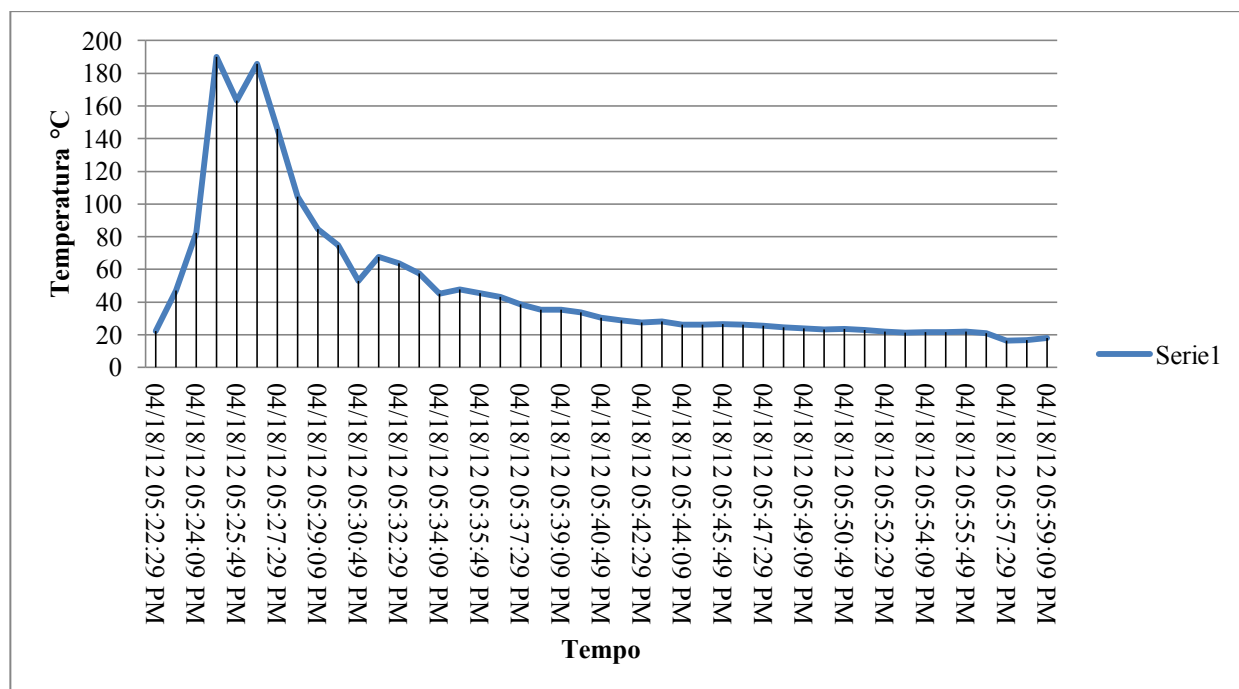


Figura 40: : Temperature raggiunte nel plot 1 e profilo del tempo residenza della temperatura sopra i 100°C

La temperatura nel plot 1 di misurazione non è mai salita al di sopra dei 190 °C, probabilmente a causa di una combustione veloce della poca lettiera superficiale presente; quindi il tempo di residenza al di sopra dei 100° C risulta pari a 300 secondi, molto basso se confrontato con i profili rilevati da Ascoli (2008) e Bovio e Ascoli (2013) in interventi di fuoco prescritto su necromassa legnosa pari a 1472 secondi.

Altre esperienze condotte da Ascoli (2008), descrivono un raffreddamento alla superficie del suolo già subito dopo il passaggio del fuoco, con temperature elevate che permangono solo in alcuni punti dove probabilmente si ha combustione latente dovuta ad accumuli di combustibile.

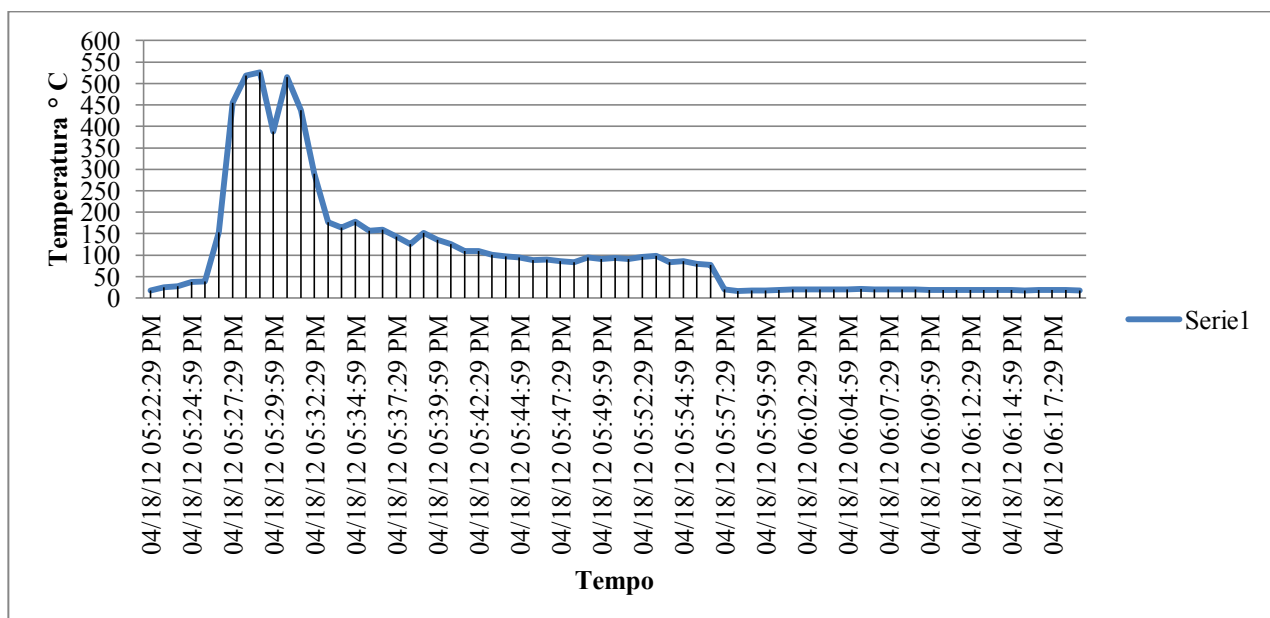


Figura 41: Temperature raggiunte nel plot 2 e profilo del tempo residenza della temperatura sopra i 100°C

La temperatura massima raggiunta nel plot 2 è pari a 525°C, un valore che è rimasto al di sopra dei 100°C per circa 1020 secondi (dalle ore 05:27:29 alle ore 05:44:59). Questo valore si avvicina a quelli rilevati in altre esperienze di Ascoli (2011 dove interventi su necromassa di residui di utilizzazioni hanno rilevato temperature al di sopra dei 100°C in media di 800 secondi).

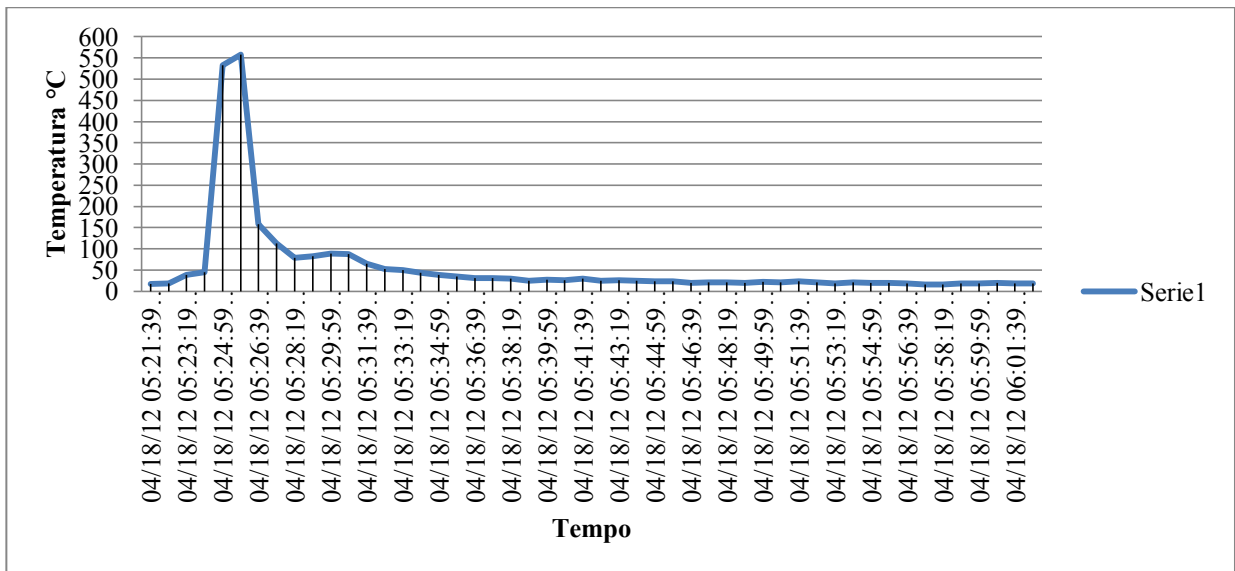


Figura 42: Temperature raggiunte nel plot 3 e profilo del tempo residenza della temperatura sopra i 100°C

La temperatura massima raggiunta nel plot 3, è di 558 °C, e tempo di residenza al di sopra dei 100°C di circa 90 secondi.

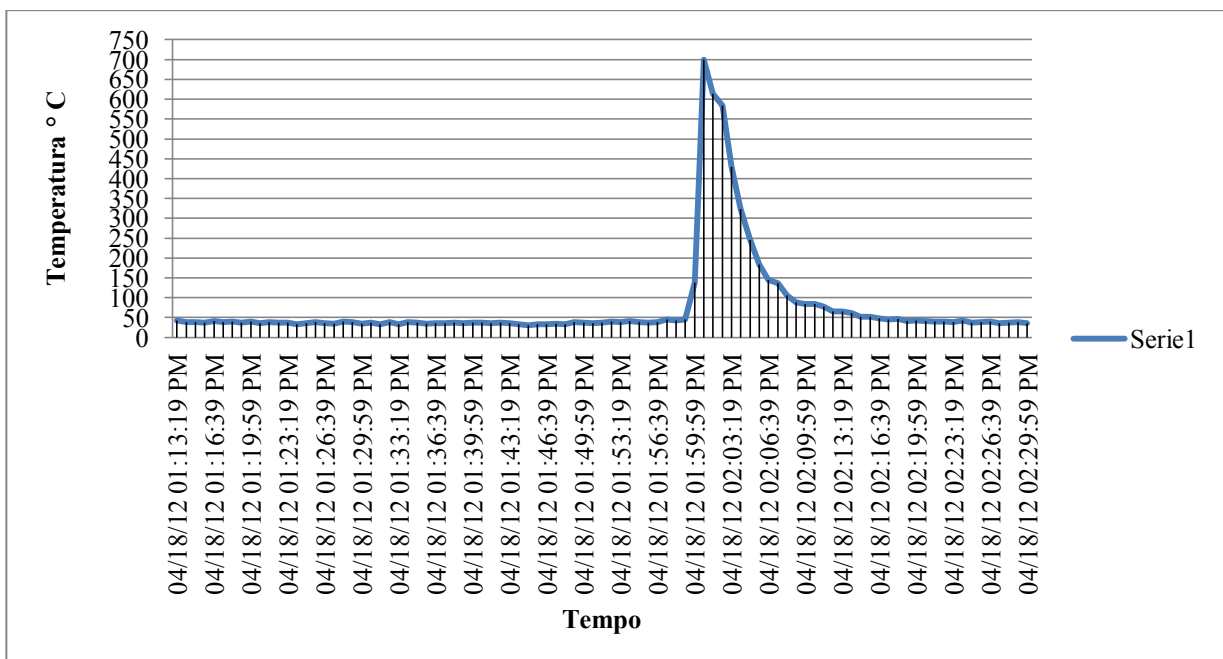


Figura 43: Temperature raggiunte nel plot 4 e profilo del tempo residenza della temperatura sopra i 100°

La temperatura massima raggiunta nel plot 4, è pari a 584°C, con un tempo di residenza al di sopra dei 100°C per un totale di 180 secondi molto basso rispetto a quelli rilevati da Ascoli (2001) in combustibili di residui di utilizzazioni, assimilabili alla nostra necromassa.

Conclusioni

Gli obiettivi della ricerca quali la caratterizzazione del combustibile in formazioni vegetali artificiali di *Eucalyptus* ssp. indicano la possibilità di condurre interventi di fuoco prescritto in piena sicurezza a condizione che la parcella sia settorizzata da limiti fisiografici o appositamente creati. La stima dei parametri di comportamento del fronte di fiamma nella formazione permette di paragonare i parametri ottenuti (lunghezza, intensità lineare, velocità di propagazione) con quelli indicati da Roussopoulos e Johnson (1975) che forniscono indicazioni sulla fattibilità dell'intervento e sulle difficoltà operative nel controllo della sicurezza in situazioni simili nel cantiere. Infatti lunghezze di fiamma di 1,03 metri e intensità lineari pari a 319 kw/m si inseriscono nell'interpretazione fatta da questi autori tra attuazione del fuoco prescritto e attacco diretto sia sulla testa del fuoco sia sui fianchi, quindi facilmente controllabile.

Modalità di intervento e difficoltà operative (Roussopoulos & Johnson, 1975)

Lunghezza a fiamma	Intensità lineare	Indicazioni e interpretazioni
Metri	kW/m	
0.85	173	Attuazione di fuoco prescritto al di sotto di questi valori
< 1.2	<345	Attacco diretto sulla testa o sui fianchi dell'incendio con attrezzi manuali
1.2-2.4	345-1724	Impossibilità di attacco diretto per l'eccessiva intensità; utili attrezzi meccanici pesanti ovvero intervento con mezzo aereo. L'uso di ritardanti rende possibile l'attacco diretto per valori di intensità lineare inferiori a 500 kW/m
2.4-3.3	1724-3448	Seri problemi di controllo; compaiono fuochi di chioma e focolai secondari
2.9	2422	Irradiazione pericolosa per gli operatori entro 9 m circa dal fronte del fuoco
>3.3	>3448	Fuoco di chioma ed elevata velocità; inefficaci gli sforzi di controllo

I valori ottenuti sono anche coerenti con le indicazioni fornite da De Ronde per l'esecuzione del fuoco prescritto tab.26.

Tabella 26: Valori di riferimento dell'intensità lineare per fuoco prescritto che avanza (de Ronde et al,1990)

<u>Intensità</u> (kW m ⁻¹)	<u>Comportamento e sua descrizione</u>
<u><70</u>	Intensità troppo bassa per gli scopi del fuoco prescritto. Lunghezza fiamma minore di 0,3 m. Bruciatura a chiazze. Nessun problema di scottatura
<u>71-250</u>	Valori ottimali per il f.p.; altezza fiamme da 0,3 a 0,9. Scottatura sotto 4,5m. Poca possibilità che il fuoco oltrepassi linee di controllo
<u>251-425</u>	Fuoco troppo caldo per soprassuoli immaturi; altezza fiamma 0,9 a 1,1. Scottature da 4,5 a 9,0. Applicare fuoco a ritroso dalla linea di difesa sopravento prima di accendere fuoco che avanzi per prevenire difficoltà di controllo
<u>426-700</u>	Limite superiore di intensità, fiamme di solito sotto 1,7m. Altezza scottatura può essere eccessiva anche con venti stabili. Sempre applicare fuoco a ritroso sul lato sopravento dell'appezzamento da sottoporre a f.p. per primo. Pensare bene prima di applicare un fuoco che avanzi. Attrezzature meccaniche di estinzione sempre a portata di mano.
<u>> 1000</u>	Mai in caso di fuoco prescritto. Limite di incontrollabilità di qualsiasi incendio con intervento diretto e attrezzature meccaniche, salvo controfuoco

Per quanto riguarda i profili di residenza i dati sull'intervento di fuoco prescritto sulla lettiera e sulla abbondante necromassa presente (anche a seguito dell'attacco della psilla *Glycaspis brimbecombei*) hanno dimostrato la similarità con quelli indicati da alcuni autori (Ascoli,2011) e da Bovio e Ascoli (2013, che avevano riguardato il tempo di residenza delle fiamme sopra la

soglia di 100°C in interventi di fuoco prescritto su necromassa legnosa e residui di utilizzazioni forestali con abbondanti accumuli di lettiera.

Il carico di combustibile è stato ridotto per circa il 90%, senza arrecare danni al soprasuolo arboreo di *Eucalyptus camaldulensis* L. e alle piante di *Quercus ilex* L. anche grazie alle operazioni di parziale asportazione della lettiera al di sotto dell'area d'insidenza delle giovani piante di leccio, valutate più suscettibili all'intervento.

Il calcolo del carico del combustibile è stato valutato anche ad intervalli regolari rispettivamente a 6 e 12 mesi dall'intervento, evidenziando un brusco accumulo della lettiera già a sei mesi di distanza, per poi assumere una crescita lenta fino ai 12 mesi. Il monitoraggio dell'evoluzione dell'accumulo di lettiera dopo il trattamento di consente di stabilire la opportunità di ripeterlo ogni 24 mesi.

Seconda area di studio: San Mauro Cilento. (Sa)

Introduzione

La seconda area di studio ha riguardato un intervento di fuoco prescritto in Campania, svolto in collaborazione con alcuni ricercatori dell'università di Torino, dell'Università di Napoli e dell'Università della Basilicata. Nel giugno del 2008, ha avuto inizio la sperimentazione sull'uso del fuoco prescritto nel territorio del Parco Nazionale del Cilento. Tale tecnica si inserisce come un'azione di prevenzione prevista nel Piano AIB 2008 (Piano antincendi boschivi) redatto dall'Ente Parco e recepito nel corrispondente Piano AIB della Regione Campania. Per la realizzazione del progetto, l'Ente si è avvalso del coordinamento del prof. Stefano Mazzoleni, dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" e della partecipazione del prof. Francisco Rego, docente dell'Istituto Superiore di Agronomia dell'Università di Lisbona, e di un gruppo di ingegneri forestali portoghesi, altamente specializzati nell'applicazione di tale tecnica, coordinati dall'ing. Antonio Salgueiro, del Servizio Forestale Nazionale del Portogallo.

Le attività hanno visto la partecipazione del personale del Corpo Forestale dello Stato del Parco. (Fonte:http://www.cilentoediano.it/AIB/incendi/doc/allegati/Allegato_16_NEWS_Fuoco_prescritto.pdf).

Nel 2009 è stato poi predisposto lo "Schema di Piano" per i Parchi Nazionali che suggerisce l'applicazione del fuoco prescritto sia a fini preventivi sia per la gestione di particolari ambienti in cui il passaggio periodico del fuoco rappresenta un importante fattore ecologico. (Bovio, e Ascoli, 2012)

Analisi degli incendi e delle cause degli incendi boschivi nel Parco Nazionale Del Cilento e Vallo del Diano.

L'analisi degli incendi nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano svolta per la redazione del piano AIB (Mazzoleni et al.,2003) ha riguardato i dati del CFS dal 1975 al 2003, attraverso due indici statistici descrittivi, (DMI) densità media degli Incendi e (SMB) superficie media bruciata. L'analisi dei dati per il periodo storico considerato ha fatto registrare un'intensificazione del fenomeno, (Mazzoleni et al.,2003), con un aumento degli anni con alta frequenza di incendi ma una riduzione dell'estensione media della superficie boscata. Per l'analisi delle cause suddivise dal CFS in 5 classi (Naturali, Accidentali, Colpose, Dolose e Dubbie), gli stessi autori, riscontrano una difficile interpretazione delle stesse ai fini dell'individuazione delle motivazioni che hanno portato all'innesco. Per ovviare a questa carenza hanno approfondito la tematica conducendo delle interviste con le unità operative forestali di tutte le 27 giurisdizioni ricadenti all'interno del Parco. L'analisi ha evidenziato per gli anni 2001-2003 una chiara prevalenza degli eventi dolosi, seguiti da quelli colposi, mentre inneschi per cause naturali o accidentali sono risultati trascurabili. (Mazzoleni et al.,2003).

Cenni sugli aspetti geomorfologici del Parco Nazionale del Cilento e Vallo del Diano

Le informazioni sugli aspetti geologici e vegetazionali sono state ricavate quasi esclusivamente dal sito ufficiale del Parco.(<http://www.cilentoediano.it/>) A determinare la morfologia attuale del Cilento è la duplice natura geologica delle rocce che costituiscono il Cilento: quella del «Flysch del Cilento», che ha la sua massima diffusione in corrispondenza del bacino idrogeografico del Fiume Alento e dei principali monti del Cilento occidentale e quella delle «rocce calcaree» che costituiscono i complessi montuosi interni (Alburno-Cervati) e meridionali (Monte Bulgheria, Monte Cocuzzo) del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Sulla costa alta, il Flysch si caratterizza per la fitta stratificazione delle rocce che talora assumono forme e colori particolari come è possibile riscontrare in località Ripe rosse o nel terrazzo marino di

Gianmario Mou, **Sviluppo di tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee**, Tesi di dottorato in Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente Mediterraneo, Università degli Studi di Sassari

Punta Licosa. Lasciata la costa nord-occidentale, verso l'interno del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano, il paesaggio cambia con il sopravvento delle rocce calcaree, al cospetto dei massicci carbonatici degli Alburni e del Cervati. Il paesaggio, modellato dalle forme carsiche, dall'asprezza di taluni versanti segnati da una intensa tettonica; dalle grandi forre scavate da torrenti perennemente in piena, si presenta con un aspetto lunare spesso brullo a causa della «povertà» dei terreni, anche se, là dove le condizioni del suolo e delle acque lo permettono, esso diventa ricco di boschi mediterranei e faggeti o di prati a lavanda. Caratteristica della geologia di queste rocce sono le forme carsiche, dovute alla dissoluzione del carbonato di calcio che produce «erosione» e deposizione con formazioni, tra l'altro, di stalattiti e stalagmiti.

Le forme che ne derivano possono essere:

- superficiali (epigee) come i solchi dei campi carreggiati, le doline e gli inghiottitoi;
- profonde (ipogee) quali grotte, gallerie e cavità, presenti nel territorio del Parco, molte delle quali ancora inesplorate.

Il fenomeno carsico è particolarmente spinto nei Monti Alburni.

Cenni sugli aspetti vegetazionali del Parco Nazionale del Cilento e Vallo del Diano

Il popolamento floristico del Parco è probabilmente costituito da circa 1800 specie diverse di piante autoctone spontanee. Tra di esse circa il 10% rivestono una notevole importanza fitogeografica essendo Endemiche e/o rare. La più nota di queste specie, che è divenuta il simbolo del parco stesso è la Primula di Palinuro (*Primula palinuri* Petagna). Nel territorio del Parco, per la sua posizione baricentrica nel Bacino del Mediterraneo, sono presenti entità tipicamente meridionali di ambienti aridi al loro limite superiore di espansione insieme a specie, a distribuzione prettamente

settentrionale, che qui raggiungono il limite meridionale del loro areale analogamente a quelle ad areale tipicamente orientale od occidentale. Nel corso della dinamica evolutiva del territorio le piante hanno occupato tutte le nicchie ecologiche disponibili, comprese quelle create dall'uomo rendendo l'ambiente molto ricco di biodiversità

Nella fascia mediterraneo-arida, regno della macchia mediterranea, qui arricchita, in due sole località costiere, dalla Ginestra del Cilento (*Genista cilentina* Vals.) specie individuata soltanto nel 1993, da Carrubo (*Ceratonia siliqua* L.), Ginepro rosso o fenicio (*Juniperus phoenicea* L.), lembi di leccete, boschetti a Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.). Nell'area costiera, in particolare, il tessuto dei boschi sempreverdi e della macchia mediterranea è permeato dagli uliveti. Alle quote superiori e nell'interno specie del Genere *Quercus* a volte solitarie a guardia degli antichi coltivi si estendono ora in formazioni compatte in consociazione ad Aceri, Tigli, Olmi, Frassini e Castagni. Ma anche la presenza di alcune piante più comuni, riveste notevole importanza fitogeografica come i piccoli boschetti spontanei di Betulla (*Betula pendula* Roth), Abete bianco (*Abies alba* Mill.), Bosso (*Buxus sempervirens* L.) ed *Platanus orientalis* L. autoctono dei dintorni di Velia.

Descrizione area di studio

La parcella sperimentale è situata nel comune di San Mauro Cilento (provincia di Salerno) all'interno del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (PNCVD), lungo versanti ripidi a ridosso di una strada provinciale e del centro abitato.

Il progetto nasce dall'esigenza del comune di San Mauro Cilento di ridurre il rischio incendio in località Cellara. È una zona di interfaccia urbano-foresta, costituita da un versante caratterizzato in prevalenza da una formazione ad *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T. Durand & Schinz., frequentemente percorso da incendi, che vengono innescati dalla strada, interessando l'intera area e

raggiungendo le abitazioni all'interfaccia. La prevalenza erbacea, estesa in modo continuo su tutto il cantiere, è data dal *Brachypodium rupestre* Host (specie ad alta infiammabilità) e dall' *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T. Durand & Schinz., mentre quella arbustiva, distribuita a macchie, dallo *Spartium junceum* L.. Specie arboree sono sporadiche, con presenza di *Quercus pubescens* Willd. e di *Fraxinus ornus* L..



Figura 44: Cantiere Cellara, comune di San Mauro Cilento

Il cantiere, visibile in figura 44 è rappresentato da una fascia del versante di 300 x 150 m, con un'estensione di 3,5 ha. L'esposizione è prevalentemente a Sud-Est, con una pendenza media del 35 %.

Definizione degli obiettivi.

Obiettivo specifico dell'intervento, dettato dal piano AIB del Parco Nazionale del Cilento, è principalmente quello di ridurre l'intensità dell'incendio potenziale sotto valori critici (< 2000 kW/m) e ridurre l'impatto negativo che avrebbe un possibile evento sulla caduta pietre dovute a differenti dilatazioni dei materiali sottoposti ad alte temperatura.

Gli effetti desiderati erano:

- riduzione del carico dei combustibili erbacei a 1h, almeno dell'80%,
- ridurre la copertura data da combustibili erbacei-arbustivi del 50-60%,
- ridurre la caduta di massi e pietre sulla strada provinciale a sud del cantiere.

I limiti ambientali da tenere sotto controllo per la sicurezza dell'intervento nella parcella erano rappresentati dalla forte presenza di pietre affioranti che potevano rotolare a valle, la parte a Sud è infatti rappresentata da una zona di interfaccia. A riguardo è stato definito come obiettivo non secondario che l'intervento di fuoco prescritto non interessasse l'apparato radicale dei cespi di *Ampelodesma*, permettendo nel breve periodo di contribuire alla stabilità del versante. I principali obiettivi della ricerca sull'applicazione sperimentale del fuoco prescritto in questo intervento sono stati:

- Caratterizzare il combustibile di formazioni mediterranee non trattate in letteratura
- Stimare parametri di comportamento del fronte di fiamma in *Ampelodesmeto* (lunghezza, intensità lineare, velocità di propagazione)
- Individuare le specifiche di applicazione della tecnica in formazioni vegetazionali simili
- Catalogazione dell'accumulo di combustibile ad intervalli di tempo regolari per stimare il tempo di ritorno adeguato di impiego della tecnica

Materiali e metodi

La diverse fasi dell'attività sperimentale si sono articolate come segue:

1. Analisi delle variabili meteorologiche del giorno del trattamento
2. Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento da trattare
3. Raccolta e stima del calcolo del carico del combustibile potenzialmente pericoloso
4. Elaborazione delle prescrizioni
5. Trattamento del popolamento oggetto di studio con la tecnica del col fuoco prescritto
6. Raccolta e calcolo del carico del combustibile rimasto dopo il trattamento
7. Valutazione in campo dei parametri di comportamento del fronte di fiamma

Analisi delle variabili meteorologiche del giorno del trattamento

Un fattore fondamentale è stato l'individuazione della finestra meteorologica più adatta per l'identificazione del giorno di esecuzione del fuoco prescritto.

La giornata è stata scelta in base alle temperature medie, all'umidità dell'aria, e ai giorni dall'ultima pioggia del periodo di riferimento riferite alla stazione meteorologica più vicina di Capo Palinuro e prese in esame dal progettista dell'intervento.

I parametri meteorologici del giorno del possibile trattamento sono stati misurati con anemometro KESTREL 4500, strumento portatile che permette la misura istantanea direzione e velocità del vento, umidità dell'aria e temperatura.

Analisi dell'umidità della lettiera del popolamento da trattare

Il calcolo dell'umidità della lettiera delle specie vegetali è stato effettuato attraverso una fase di campo e una in laboratorio. La prima ha previsto il prelievo di 5 campioni per ogni sito per un peso fresco pari a 50 g. e la separazione nelle diverse componenti come illustrato nel capitolo precedente, pesatura del peso fresco di ogni componente con una bilancia da campo, annotazione con pennarello indelebile del luogo, data, ora di raccolta, componente viva-morta e peso fresco.

Nella seconda fase i campioni sono stati poi portati in laboratorio dove per il calcolo del peso anidro del combustibile si è fatto riferimento al “metodo per pesata” UNI 9091/2, che rappresenta la norma di riferimento per la determinazione del tenore di umidità del legno, così come già accennato. I singoli campioni sono stati sottoposti a pesatura con precisione dello 0,2% allo stato umido e ed allo stato anidro. Lo stato anidro del combustibile si è raggiunto mediante essiccazione in stufa ventilata, a temperatura di 98° C ed eseguendo successive pesate per la valutazione della stabilizzazione del peso al momento della estrazione dalla stufa.

L'umidità media U dei campioni, è stata calcolata come percentuale sulla massa anidra, mediante la formula:

$$U = 100 (m_1 - m_2)/m_2$$

dove: m_1 è la massa dei campioni allo stato fresco m_2 è la massa dei campioni allo stato anidro. La massa anidra è stata calcolata come media aritmetica delle masse anidre dei singoli campioni.

Raccolta e stima del calcolo del carico del combustibile potenzialmente pericoloso;

Per la raccolta e la stima del carico di combustibile si è proceduto nelle modalità già descritte nella sessione materiali e metodi del primo caso di studio, con campionamento sistematico su sei plot di 1 m² che ha permesso di raccogliere tutto il combustibile allo stato fresco, suddiviso in componente

fresca e secca dell'Ampelodesma . Esso è stato pesato in campo, e dopo il calcolo dell'umidità effettuato in laboratorio si è proceduto alla stima del carico anidro delle due componenti.

Elaborazione delle prescrizioni

L'elemento chiave della tecnica del fuoco prescritto sono, appunto, le “*prescrizioni*”.

Nel caso in esame l'attenta analisi delle condizioni metereologiche del giorno del possibile trattamento, i valori di carico e umidità del combustibile, gli obiettivi progettuali hanno permesso al pianificatore dell'intervento di elaborare le seguenti prescrizioni, ricavando dei valori di comportamento del fuoco desiderati utili al raggiungimento degli obiettivi senza tralasciare l'aspetto della sicurezza dell'intervento (Tab.27).

I valori fanno riferimento al l'applicazione del fuoco prescritto in Portogallo in popolamenti erbacei e arbustivi di specie mediterranee (Fernandes e Loureiro 2010).

Tabella 27: Prescrizioni operative dell'intervento di fuoco prescritto in ampelodesmeto

Variabili	Ottimo	Range
Mese	Nov. – Mar.	Ott. – Apr.
Velocità vento (km h ⁻¹)	3 – 5	1 – 10
Temperatura aria (°C)	10 – 12	4 – 20
Umidità relativa aria (%)	50-60	40 – 80
N° giorni da ultima pioggia	4 – 5	2 – 10
Umidità erbe morte - vive (%)	14-20/70-80	10-25 / 60-150
Umidità humus (%)	100 – 200	80 – 250
Velocità fiamma (m min ⁻¹)	1 – 4	0,5 – 6
Intensità lineare (kW m⁻¹)	1000-1500	500 – 3000
Tecniche di accensione	Lineare controvento e pendenza - per punti - strisce parallele	

Tutti i valori identificati nel campo *Range*, sono stati monitorati e valutati anche il giorno del trattamento, affinché variazioni di alcuni aspetti come le variabili meteorologiche non implicassero una modifica dell'operatività in campo.

Trattamento del popolamento oggetto di studio con la tecnica del col fuoco prescritto;

Il fuoco prescritto nel comune di San Mauro Cilento, (SA), è stato realizzato nel dicembre 2013 in 2 giornate di lavoro con l'obiettivo principale di creare un viale tagliafuoco di riduzione dei combustibili erbacei e arbustivi altamente infiammabili (*Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz e *Spartium junceum* L. a protezione dell'abitato. Il lavoro ha subito alcune variazioni rispetto al piano operativo studiato precedentemente, in quanto alcune brevi ma intense precipitazioni hanno mutato le condizioni dei combustibili, durante la fase di cantiere. In Fig.45 e

46 sono riportate alcune fasi di cantiere in diverse ore della giornata; è evidente in Fig. 47 e 48 come l'abbassarsi dell'umidità avvenuta durante la giornata implichi lo sviluppo di altezze di fiamma notevoli.

Nella prima giornata di intervento è stata realizzata una fascia di sicurezza nella parte alta del cantiere, accendendo per linee e punti contro vento e pendenza; con l'intenzione poi di procedere con le stesse modalità di accensione per tutto il cantiere. Ma l'umidità mutata dalle precipitazioni non permetteva al fuoco di propagarsi uniformemente per tutta la mattinata, così nella seconda giornata si è terminato il cantiere adottando delle accessioni per punti e strisce parallele a favore di vento e pendenza nella parte bassa del viale.

Come illustrato in fig. 45, per la costruzione della linea nera ci si è appoggiati a un vecchio sentiero nella parte alte del versante, mentre lateralmente le fasce di sicurezza sono state costruite sull'argine di un torrente.

A sud della parcella, la messa in sicurezza era abbastanza agevole grazie alla presenza della strada provinciale. Questa, è stata temporaneamente bloccata dai vigili urbani del paese di San Mauro per la possibile caduta di massi, e qui sono stati dislocati i mezzi AIB del Corpo Forestale dello Stato, e della Protezione Civile.

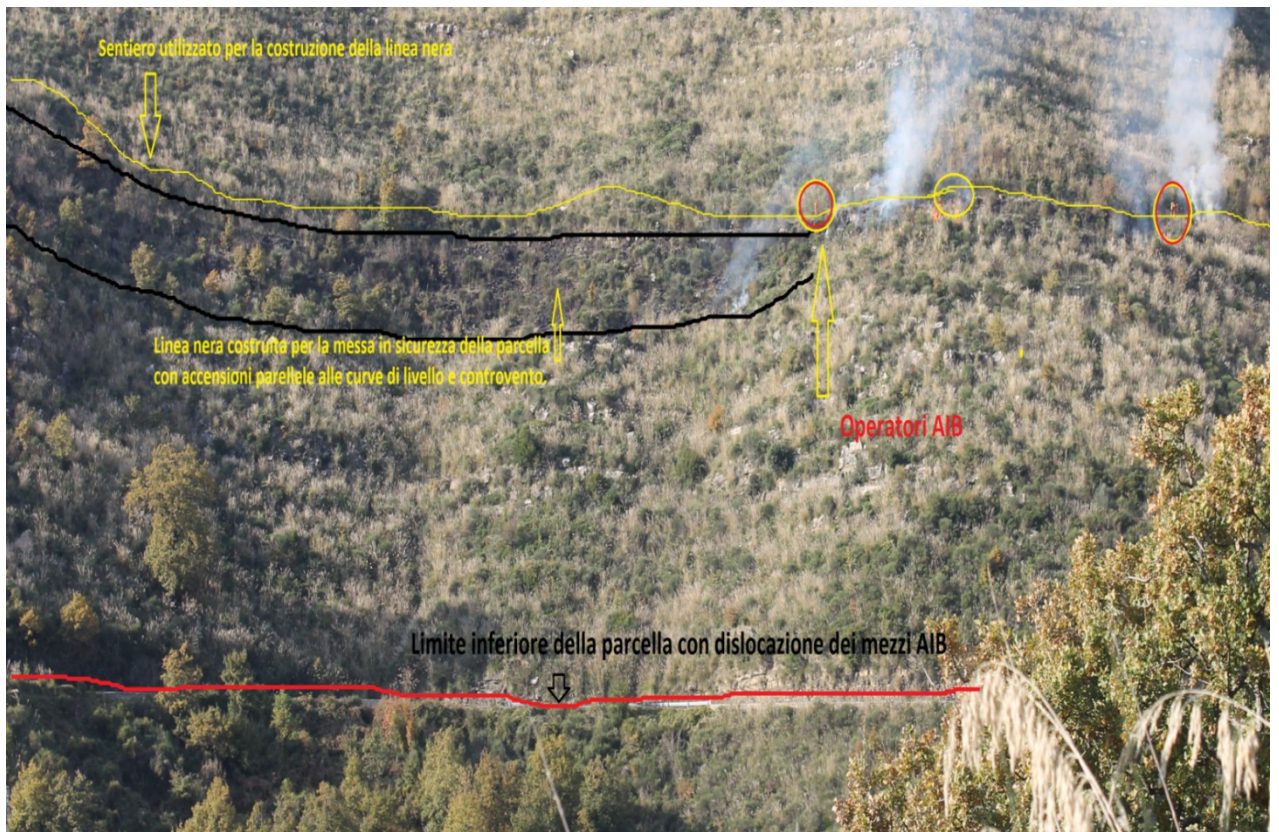


Figura 45: Schema della messa in sicurezza della parcella



Figura 46: Fasi dell'intervento con operatori e *Ampelodesma* in evidenza



Figura 47: Fasi dell'intervento in tarda serata



Figura 48: Fasi dell'intervento con altezza di fiamma in evidenza

Raccolta e calcolo del carico del combustibile rimasto dopo il trattamento;

Dopo il trattamento, è stato misurato il carico di combustibile rimasto con lo stesso metodo utilizzato per la misurazione del carico pre-trattamento; cioè attraverso la raccolta in campo di tutta la lettiera rimanente negli stessi 6 plots di 1 m² delimitati da picchetti e attraverso la successiva fase di laboratorio per il calcolo del peso anidro ricavato col metodo della doppia pesata. Questo dato utile all'individuazione del consumo del combustibile avvenuto a seguito dell'intervento di fuoco prescritto è stato anche calcolato nei sei mesi successivi all'intervento, e verrà ripetuto a 12 mesi di distanza dal trattamento con fuoco prescritto per calcolare l'accumulo della lettiera nel tempo e identificare così il tempo di ritorno di ulteriori trattamenti col fuoco prescritto.

Valutazione in campo dei parametri di comportamento del fronte di fiamma

Gianmario Mou, **Sviluppo di tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee**, Tesi di dottorato in Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente Mediterraneo, Università degli Studi di Sassari

Anche per questa indagine sono stati fatti rilievi sui parametri di comportamento e tal fine sono state collocate nel terreno alcune termocoppie per il rilievo delle temperature raggiunte, intensità lineare del fronte del fuoco, e profili di tempo di residenza. Le termocoppie sono state distribuite sull'area ai vertici di triangoli equilateri di lato pari a 2 m, scegliendo accuratamente le postazioni affinché la probabilità di essere percorse dal fronte di fiamma fosse alta. In totale sono state disposte sul suolo 21 termocoppie, per un totale di 7 triangoli, come già accennato per il primo caso in esame.

Per effettuare la misurazione della velocità di avanzamento, e la conseguente intensità lineare indipendentemente dalla direzione di propagazione è stato scelto il metodo messo a punto da Simard et al. (1984), che prevede di registrare il tempo di arrivo del fuoco ai vertici di un triangolo equilatero di 2 m e di ricavarne la direzione e velocità mediante alcune formule trigonometriche come ampiamente descritto nella sessione materiali e metodi del primo caso di studio.

Infine l'uso di apposite paline graduate e dislocate opportunamente nei pressi dei triangoli adibiti alle termocoppie, hanno permesso di stimare a distanza la lunghezza della fiamma durante la propagazione del fuoco prescritto.

Risultati

I risultati ottenuti permettono di incrementare la conoscenza sulla specie *Ampelodesmus mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz come potenziale combustibile in caso di incendio e dei possibili interventi di riduzione attraverso l'uso del fuoco prescritto.

In Tabella 28, vengono riportati i valori medi (\pm ES) delle variabili descrittive le condizioni meteorologiche, misurate il giorno del possibile trattamento.

Gran parte delle prescrizioni sono rientrate all'interno delle finestre ambientali innanzi definite per l'applicazione del fuoco prescritto in Portogallo (Fernandes e Loureiro 2010).

Tabella 28: Valori medi delle variabili meteorologiche, misurati durante l'applicazione del fuoco prescritto.

Variabili meteorologiche	Valori
Temperatura dell'aria (°C)	12-18
Umidità relativa dell'aria (%)	55-75
Velocità del vento (km h ⁻¹)	0-8
Giorni dall'ultima pioggia (g)	2

Le temperature medie dell'aria misurate in campo sono oscillate all'interno di un range abbastanza contenuto, tra i 12 °C nella prima mattina, e i 18 °C delle ore centrali della giornata. Così l'umidità dell'aria, che è variata dal valore massimo di 75% nelle prime e ultime ore della giornata, al valore minimo di 55% nelle ore centrali.

Il vento ha mantenuto una velocità media costante, intorno ai 5 km h⁻¹, con picchi massimi di 8 km h⁻¹. Per quanto riguarda l'analisi e caratterizzazione del combustibile, è stata riscontrata una copertura della specie *Ampelodesma* in media del 70%, un carico di combustibile precedente al trattamento molto variabile a causa delle differenze microstazionali che oscillava tra le 8,5 e 16,5 t/ha con una media di 14 t/ha (Tab.29).

Il carico residuo è stato poi stimato in campo anche dopo l'intervento, risultando pari a 2,1 t/ha tutte appartenenti alla componente verde, con un consumo di circa l'85% sul totale iniziale. A sei mesi dall'intervento il carico risultava ripartito quasi esclusivamente nella componente verde, per un totale di circa 8,3 t/ha, e di circa 0,06 t/ha di componente secca. (Fig. 49).

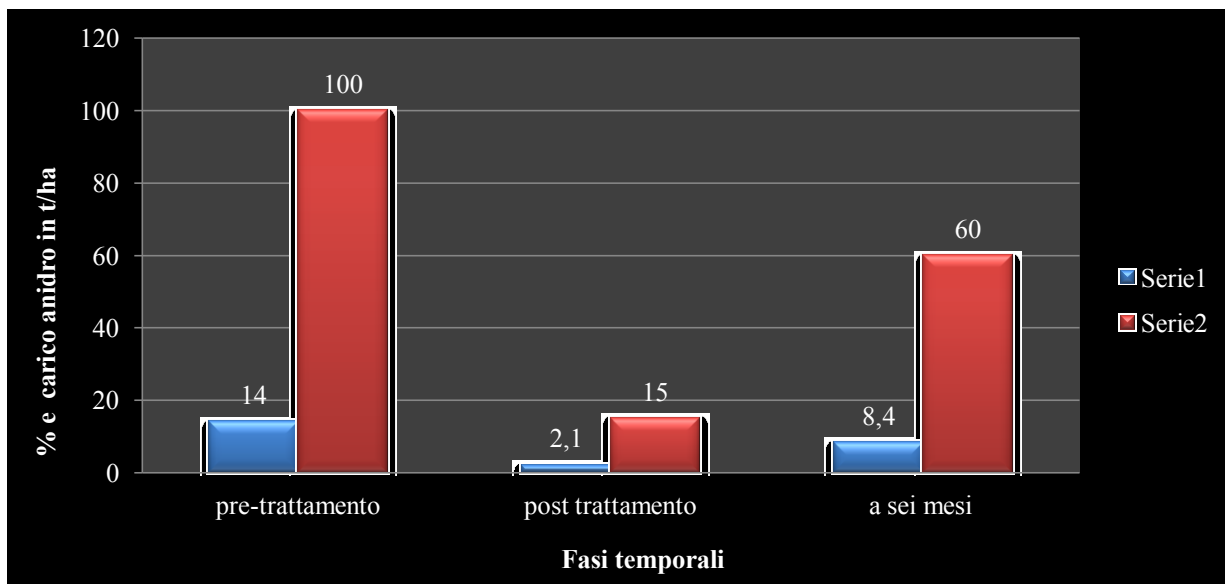


Figura 49: Carico di combustibile anidro in t/ha misurato pre e post del trattamento, e a sei mesi dal fuoco prescritto

Il calcolo dell'umidità ha permesso di stimare il carico anidro ad ettaro, riscontrando un'umidità percentuale molto variabile a seconda della componente presa in esame. Infatti l'umidità percentuale rapportata al peso secco con la metodologia già descritta in letteratura (Ubyysz e Valette, 2010) risulta pari a valori variabili nell'arco della giornata tra il 14 e 18 % per la componente morta, e tra il 60 e 80% per le componenti vive della specie. Tutti i valori di carico di combustibile e di umidità percentuale sul peso secco della specie principale sono riportati in tabella 29.

Tabella 29: Valori di carico e umidità del combustibile

Carico combustibili	Valore
Copertura <i>Spartium junceum</i> (%)	30%
Copertura <i>Ampelodesmos</i> (%)	70%
Carico <i>Spartium junceum</i> (t ha ⁻¹)	15,9
Carico <i>Ampelodesmos</i> (t ha ⁻¹)	8,5 – 16,5
Umidità combustibili	
<i>Ampelodesmos</i> morto (%)	14-18
<i>Ampelodesmos</i> vivo (%)	60-80

Per quanto riguarda i profili del tempo di residenza non ci sono dati in letteratura in ampelodesmeti, ma Ascoli (20011) presenta alcuni profili in altre specie erbacee con tempi di residenza al di sopra dei 100° C in media prossimi ai 2 minuti con temperature massime di 600°C e una media inferiore ai 500°C.

Durante questo intervento in totale, 5 dispositivi sperimentali su 7 sono stati percorsi dal fronte di fiamma (5 triangoli; n. 15 termocoppie) in modo continuo. I risultati relativi al rilievo delle temperature alla superficie del suolo sono riportati in fig.50.

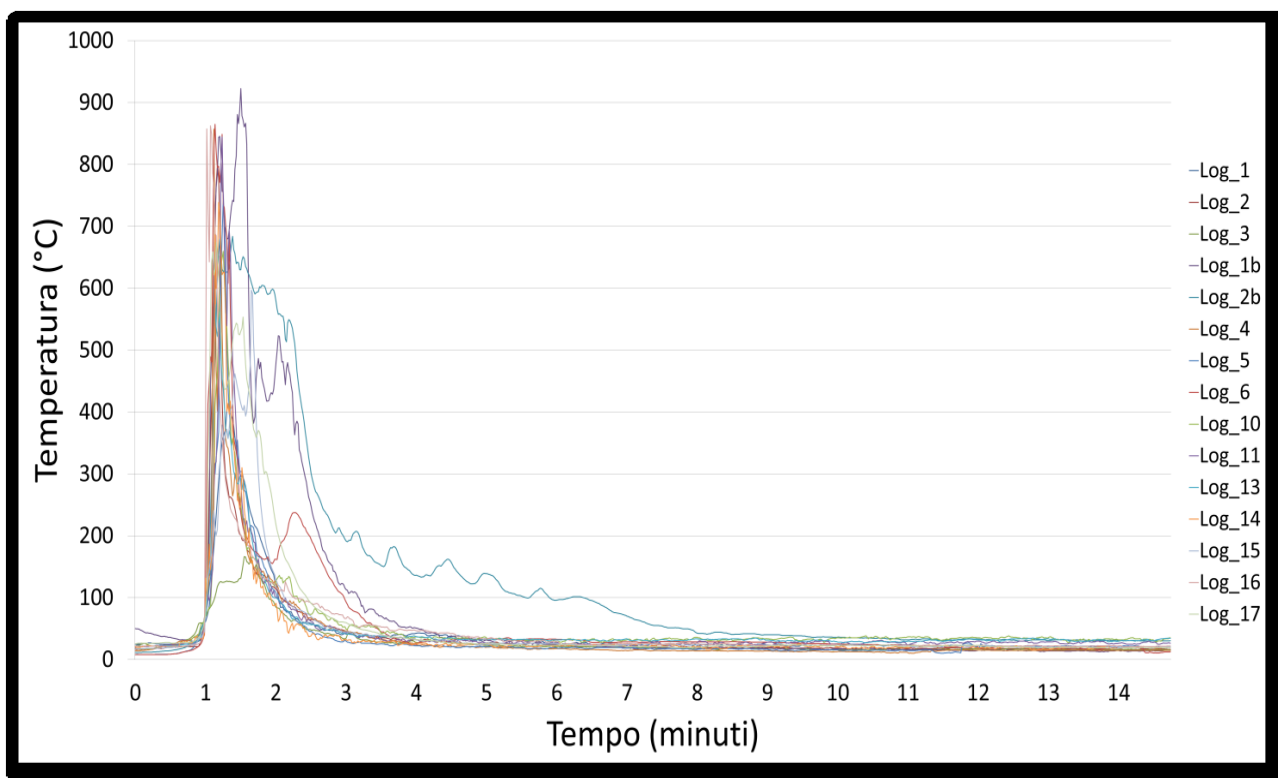


Figura 50: Profili di residenza delle temperature osservati alla superficie del suolo durante le sperimentazioni di fuoco prescritto a favore di vento e pendenza

In fig. 50 si mette in evidenza che le temperature massime rilevate se confrontate coi dati rilevati da (Ascoli, 2011) sono molto elevate e arrivano a circa 900°C a sottolineare la corrispondenza con le osservazioni di Grigulis et al. (2005) che hanno rilevato un'elevatissima infiammabilità intrinseca

della specie e un'inflammabilità crescente dell'ambiente al crescere della copertura della specie *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz.

Tuttavia la residenza della fiamma al di sopra delle temperature critiche per sviluppare danni al suolo e al sottosuolo, è risultata molto contenuta. È stato infatti dimostrato che operando con temperature del suolo fra 0 e 10°C e un'elevata umidità dell'humus (80-120%), si può limitare l'impatto termico sul suolo: in corrispondenza di un fronte intenso (fino a 1500 kW m⁻¹), con tempi di residenza delle temperature alla superficie del suolo prolungati (1-4 min. sopra 100°C), nell'orizzonte organico si sono osservate deboli variazioni di temperatura, comprese entro i 20°C (Ascoli, 2008; Valese et al. 2011).

Infatti per la maggior parte delle curve si può osservare il rapido declino della temperatura dopo un minuto dall'inizio della combustione con un rapido raggiungimento della temperatura ambientale (da poco più di 1 minuto a 5 minuti).

Questo risultato è molto importante perché, nonostante il carico di combustibile fosse elevato e le alte intensità raggiunte, si è misurata una debole trasmissione di calore verso il suolo.

L'analisi post-trattamento ha rilevato un elevato consumo dei combustibili erbacei di superficie (70-95%); tuttavia la combustione non ha interessato i cespi e gli apparati radicali dell'*Ampelodesmos* (figure 51 e 52), garantendo quindi l'importante contributo apportato dalla parte ipogea dei cespi alla stabilità del versante, come da obiettivo di progetto.



Figura 51: Consumo dei combustibili erbacei subito dopo l'intervento di fuoco prescritto



Figura 52: Presenza di cespi che trattengono il suolo subito dopo l'intervento di fuoco prescritto.

Per descrivere il comportamento del fuoco prescritto sono state utilizzate tecniche già ampiamente descritte in letteratura e riportate nelle sessioni dedicate ai materiali e metodi, affinché le misure siano confrontabili e ripetibili.

Dei parametri del comportamento del fuoco, sono stati studiati e analizzati i seguenti:

5. Velocità di propagazione (m min^{-1})
6. Intensità (kW m^{-1})
7. Lunghezza di fiamma
8. Residenza ($\text{sec.} > 200^\circ\text{C}$)

In tabella 30, sono riportati i valori calcolati con le stesse modalità esposte nella sessione materiali e metodi della prima area di studio, di lunghezza di fiamma, di intensità lineare, e velocità di propagazione del fronte di fiamma.

Tabella 30: Parametri del comportamento del fuoco misurati in campo

Comportamento del fuoco	
Tecnica di accensione	Più punti a favore di vento
Velocità di avanzamento (m min^{-1})	0,3 – 5,9
Lunghezza della fiamma (m)	1-4
Intensità lineare (kW m^{-1})	140 – 2500

Come possiamo notare, la velocità di avanzamento del fronte varia da un minimo di $0,3 \text{ m min}^{-1}$, a un massimo di $5,9$; la lunghezza di fiamma ha raggiunto anche i 4 metri a causa dell'altezza dell'*Ampelodesma* e un'intensità massima, seppur solo in un piccolo frangente temporale, di 2500 kW m^{-1} .

Se confrontiamo questi valori con quelli indicati da De Ronde et al. (1990) in tab. 31 possiamo notare come l'altezza e l'infiammabilità *dell'Ampelodesma* causino, seppur limitatamente

all'intensità e alle lunghezze di fiamma, valori troppo elevati che potrebbero risultare un limite all'applicazione della tecnica in simili frangenti. E' peraltro da dire che i valori di De Ronde si riferiscono a formazioni prevalentemente arboree, quindi appaiono meno utili rispetto al primo caso di studio.

Tabella 31: Prescrizioni di riferimento per applicazione del fuoco prescritto (De Ronde et al. 1990)

Intensità kW m-1	Comportamento e sua descrizione
<70	Intensità troppo bassa per gli scopi del fuoco prescritto. Lunghezza fiamma minore di 0,3 m. Bruciatura a chiazze. Nessun problema di scottatura
71-250	Valori ottimali per il fuoco prescritto; altezza fiamme da 0,3 a 0,9. Scottatura sotto m 4,5. Scarsa possibilità che il fuoco oltrepassi linee di controllo.
251-425	Fuoco troppo caldo per soprassuoli immaturi; altezza fiamma da m 0,9 a 1,1. Scottature da m 4,5 a m 9,0. Applicare fuoco a ritroso dalla linea di difesa sopravento prima di accendere fuoco che avanzi, per prevenire difficoltà di controllo
426-700	Limite superiore di intensità, fiamme di solito sotto m 1,7. Altezza scottatura può essere eccessiva anche con venti stabili. Sempre applicare per primo fuoco a ritroso sul lato sopravento dell'appezzamento da sottoporre a fuoco prescritto. Pensare bene prima di applicare un fuoco che avanzi. Attrezzature meccaniche di estinzione sempre a portata di mano.
> 1.000	Mai in caso di fuoco prescritto. Limite di incontrollabilità di qualsiasi incendio con intervento diretto e attrezzature meccaniche, salvo controfuoco.

Conclusioni

I risultati della sperimentazione confermano quanto riscontrato da Grigulis et al. (2005), evidenziando che l'*Ampelodesmos* presenta una elevata infiammabilità, anche a livelli di umidità relativamente alti come quelli osservati nell'intervento descritto (i.e., 18% morto; 80% vivo). Inoltre presenta un'alta umidità di estinzione, che per definizione è l'umidità specifica di un combustibile oltre la quale non può avvenire la combustione (Bovio ed Ascoli, 2013).

Di conseguenza, in presenza di brezze leggere (2-8 km/h) e in assenza di umidità dell'aria eccessiva (<75%), è possibile operare in inverno in formazioni ad *Ampelodesmos* anche a pochi giorni (2-3) dall'ultima pioggia. Per lo stesso motivo, è possibile operare con il fuoco anche per 1-2 ore dopo il

calare del sole; infatti, nonostante la temperatura si abbassi velocemente e l'umidità dell'aria salga, le foglie di *Ampelodesmos* impiegano del tempo ad acquisire umidità in quanto presentano un basso rapporto superficie volume.

Gli aumenti di frequenza del fuoco in ambienti colonizzati da *Ampelodesmos* sono spesso verificati quando esso invade siti altrimenti dominati da specie legnose perché creano accumuli di lettiera combustibile più continua, abbondante e più infiammabile. Questi effetti derivano da incrementi della produzione, con strati orizzontali e verticali più continui in combinazione con le proprietà intrinseche del combustibile erbaceo, che hanno tessitura fine e, quindi, tendono a perdere umidità più rapidamente della vegetazione nativa, come gli arbusti (Brooks et al., 2004). Da ciò la particolare infiammabilità, (valutata anche da Grigulis et al., (2005) che sostiene che questa specie sia molto più facilmente infiammabile di qualsiasi specie arbustiva, soprattutto se si prende in esame sua lettiera asciutta, producendo fiamme più intense soprattutto sulla lettiera. Bisogna pertanto prestare molta attenzione ad operare nelle ore più calde e in presenza di vento, in quanto il fronte di fiamma può acquisire facilmente una elevata intensità, generare molteplici faville e originare di conseguenza salti di fiamma fuori dal perimetro del cantiere.

Si è osservata infatti un'elevata variabilità della velocità del fronte (da 0,3 a 6 m/min) al variare di pochi fattori: es. vento da 2 a 8 km/h, ombra-sole, umidità dell'aria da 55 a 75%, ovvero variazioni che possono facilmente verificarsi nell'arco di poche ore durante la realizzazione di un cantiere.

Per quanto riguarda le relazioni fra struttura del combustibile e infiammabilità, un aspetto da tenere in considerazione è che le foglie di *Ampelodesma* mantengono clorofilla anche dopo la senescenza. Di conseguenza, una valutazione superficiale della struttura della vegetazione potrebbe portare ad una sovrastima dei combustibili vivi, i.e. maggiore umidità nei tessuti e conseguente propagazione del fronte di fiamma più lenta.

Si corre quindi il rischio di sottostimare il potenziale pirologico della formazione di *Ampelodesmos* adulto in quanto la componente di foglie morte è più alta di quella percepita. Ulteriori indagini riportate nel successivo capitolo valuteranno come varia la percentuale di foglie secche rispetto al carico di combustibile totale in funzione dell'età dell'*Ampelodesmos* (i.e., tempo passato dall'ultimo fuoco).

A seguito della struttura orizzontale discontinua fra la base di un cespo e quelli vicini, nonostante le foglie spesso si compenetrino, la propagazione del fronte di fiamma controvento e pendenza non avviene in modo continuo, soprattutto se in presenza di umidità dei combustibili relativamente alte come quelle necessarie per condurre in sicurezza il fronte a favore di vento e pendenza. Di conseguenza, la realizzazione di fasce di sicurezza sul lato a monte del cantiere risulta difficoltosa e richiede più tempo rispetto a quanto usualmente necessario in altre formazioni erbacee. La logistica di un cantiere deve quindi prendere nella dovuta considerazione questo aspetto al fine di ottimizzare le risorse e i tempi di lavoro.

A seguito della scarsa propagazione contropendenza è stato possibile prevedere di lasciare delle fasce non bruciate (10-20 m) lungo la scarpata stradale accendendo a monte di questa fascia a favore di vento e pendenza. La presenza di tali fasce diminuisce l'impatto paesaggistico lungo la viabilità e crea una fascia di protezione contro la caduta di pietre di piccole dimensioni.

In conclusione, da questo caso di studio appare evidente che l'applicazione della tecnica di fuoco prescritto rappresenta una risorsa economicamente competitiva, come dimostrano alcuni studi presenti in letteratura. Bovio infatti indica un suo costo è compreso tra 50 e 100euro/ha in zone non arborate, e tra 200 e 800 euro/ha in zone molto arborate, variando con la vegetazione, la viabilità, la collocazione del sito; si tratta di una pratica ecologicamente sostenibile, la cui diffusione ed applicazione su superfici più estese può rappresentare un valido ed auspicabile strumento di prevenzione atto alla sottrazione di biomassa combustibile.

Capitolo 4: Caratterizzazione strutturale del combustibile in *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz)

Introduzione

Si premette che questo capitolo riporta dati e risultati che derivano da una vasta attività di ricerca alla quale lo scrivente ha attivamente partecipato condotta parzialmente nel Parco del Cilento e nella Regione Sardegna con la collaborazione dell'Università di Torino, la Seconda Università di Napoli e il Dipartimento di Agraria di Sassari con l'obiettivo di analizzare le caratteristiche strutturali del combustibile di *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz per definire un modello predittivo di stima indiretta del carico di combustibile verde e secco utile ai fini della valutazione del comportamento del fuoco prescritto e dei suoi effetti.

Le informazioni sulla forma e struttura della chioma, sulle caratteristiche chimico-fisiche del combustibile, il carico anidro della biomassa verde e secca rappresentano elementi essenziali per predire e capire il comportamento del fuoco nelle formazioni arbustive (Castagneri et al. 2013). La biomassa bruciabile, sia che ci si riferisca a incendi o fuoco prescritto, è rappresentata da prevalentemente dalla parte epigea della specie in esame, e in minima parte da quella ipogea a causa della mancanza di ossigeno.

Per analizzare un combustibile si deve far riferimento a vari parametri ad esso connessi, come il carico, la distribuzione, infiammabilità, rapporto superficie /volume, umidità, compattamento.

Il carico di combustibile è definito come il peso secco di biomassa bruciabile per unità di superficie, di solito espresso in t/ha, e può essere stimato attraverso varie metodologie dirette ampiamente descritte in letteratura o con metodi indiretti con espressioni matematiche che legano questo parametro ad altri direttamente correlati, ad esempio l'altezza.

La distribuzione di un combustibile nello spazio può essere orizzontale e verticale.

La biomassa bruciabile può essere distinta nello spazio in vari strati, partendo dall'alto si distinguono le chiome degli alberi, i cespugli del sottobosco, le erbe, i materiali legnosi a terra, e i

combustibili di lettiera suddivisi a loro volta in superficiali o profondi a seconda che essi siano o no in stato di umificazione.

Fra i combustibili di superficie sono presenti anche i combustibili erbacei, e parte degli arbustivi, che assieme a quelli di lettiera sostengono normalmente i fronti di fiamma radenti.

Il rapporto *superficie/volume*, è un parametro che influenza fortemente la conduzione del fuoco. Esso esprime la superficie a contatto con l'atmosfera influenzando così la quantità di ossigeno a disposizione per la possibile combustione.

Il *compattamento dipende* dalla massa di combustibile che si trova in un'unità di volume, e influenza fortemente la possibilità di trasmettere calore per irraggiamento.

L'*umidità* è la variabile che maggiormente influenza la possibilità di un combustibile di partecipare al processo di ignizione. Essa esprime la quantità di acqua contenuta da un combustibile e si esprime in percentuale sul peso secco.

Sono numerosi in letteratura gli studi riguardanti le caratteristiche del combustibile e il comportamento del fuoco in formazioni arbustive mediterranee ma non è stata ancora raggiunta una completa descrizione di tutti i tipi di formazione. Gli *ampelodesmeti* rappresentano una formazione ancora sconosciuta sia nella loro caratterizzazione del combustibile e sia nel comportamento del fuoco.

Alcuni lavori reperiti in letteratura (Grigulis et al., 2005) che hanno riguardato lo studio della dinamica dell'evoluzione vegetale di alcune formazioni erbacee e arbustive in seguito a passaggi del fuoco tra cui l' *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz hanno dimostrato che l'ampelodesma rispondeva alle accensioni molto più rapidamente di qualsiasi specie arbustiva, soprattutto se si considera la sua lettiera asciutta, e una volta in combustione produceva fiamme particolarmente intense. In combinazione con i cambiamenti nella composizione della comunità (biomasse relativi dei diversi gruppi morfologici) questi cambiamenti di infiammabilità hanno

comportato cambiamenti drammatici di infiammabilità, con un valore superiore (Fig. 51). (Grigulis et al., 2005) di 4 volte passando da basse ad elevate densità di copertura.

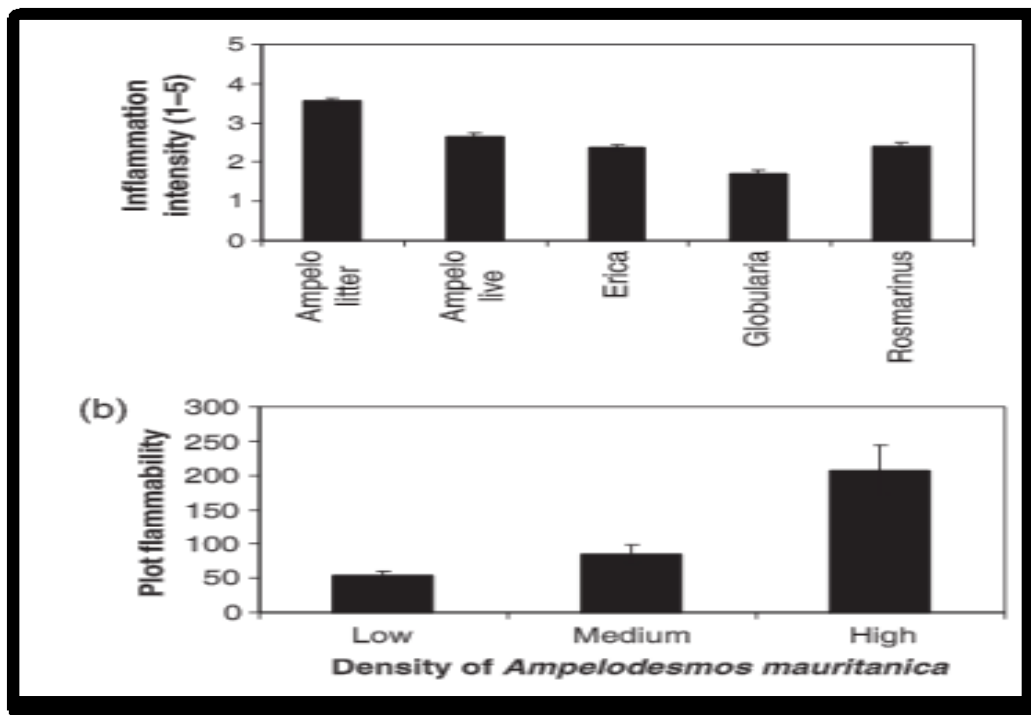


Figura 51: Intensità di infiammabilità calcolata in un range di valori da 1 a 5 di diverse specie, e in particolare prendendo in esame componente secca (lettiera) e viva (fig3a).

Fig. 51 b Plot a diversa infiammabilità calcolata a livello del suolo, in base alla densità della specie. (Grigulis et al., 2005)

Oltre a questi aspetti l'invasione da parte di *Ampelodesmos* può anche aumentare l'intensità del fuoco. Questo può verificarsi in particolare in habitat già modellati dal fuoco (per esempio savane e altri boschi secchi), ma con un'invasione più massiccia rispetto alle specie autoctone aumentando i carichi di combustibile nell'ecosistema (Brooks et al., 2004).

Questi effetti si basano sulla capacità della specie invasiva di accedere ad altre risorse (ad esempio attraverso la fissazione dell'azoto) e / o di trasformarli in un maggior quantitativo di biomassa e lettiera rispetto alle specie residenti (Grigulis et al., 2005).

Materiali e metodi

Il campionamento ha riguardato 5 siti di ampelodesmeti a differente età, disturbo, substrati ed esposizione da effettuare in varie località della regione Campania e Sardegna.

Il set di misure hanno riguardato formazioni di *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz presenti nelle due Regioni, e precisamente in Campania sul popolamento trattato col fuoco prescritto nell'inverno del 2014, quindi di un anno di età, e uno di cinque anni, e in Sardegna in popolamenti di due anni, di otto, e di dieci anni ricadenti nel comune di Furtei (CA).

Il campionamento della struttura e carico del combustibile è stato effettuato applicando due tecniche di rilievo: 1) la tecnica del quadrato; 2) e quella del transetto.

Metodo del quadrato. Il rilievo è stato effettuato su unità di 4 m², in cinque siti a differente età in ognuna delle quali sono state rilevate 5 repliche.

Prima del campionamento allometrico è stata misurata la pendenza e l'esposizione dell'area nonché delle variabili meteorologiche della giornata di rilievo (temperatura, umidità dell'aria, velocità e direzione del vento). Ogni area di campionamento è stata costruita con una griglia a maglie quadrate di lato lunghe 0,5 m (fig.52 e 53 a e b) e ai vertici interni dell'area sono state effettuate le misure allometriche ed in particolare:

Contatto parte vegetale verde **si-no**

Contatto parte vegetale gialla **si-no**

Altezza componente verde **cm**

Altezza componente gialla **cm**

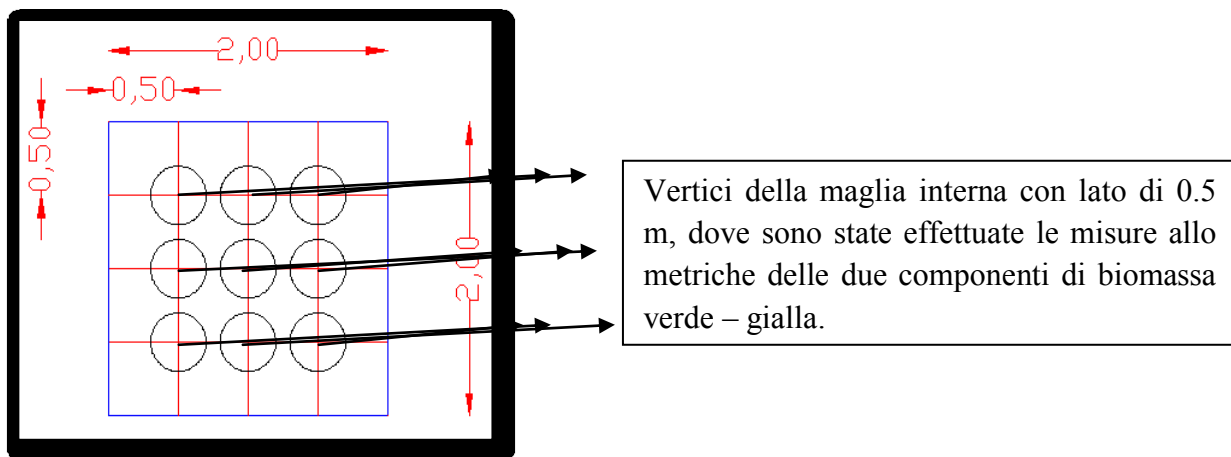


Figura 52: Schema semplificato della singola unità di campionamento



a



b

Figura 53-Foto di un' unità di rilevamento da 4 m² (a) e fase di misura dell'altezza(b)

Dopo le misurazioni dell'altezza delle componenti epigee delle piante ricadenti all'interno dell'unità di 4 m², il rilievo è proceduto col taglio completo di tutta la biomassa, alla separazione in parte verde e secca e alla successiva stima della loro biomassa attraverso una pesatura in campo.



a

b

Figura 54: a-b: Raccolta in bustoni e pesatura della biomassa

Su ogni unità è stato prelevato 1 campione di componente verde da 50 g. e 5 campioni di materiale secco su ogni 2 unità campionarie. I campioni di 50 g. (fig. 55) sono stati conservati in sacchetti di nylon, trasportati in laboratorio, posti in stufa a 80°C per 48 ore e successivamente si è proceduto alla stima del peso secco.



Figura 55: Pesatura in campo dei campioni

L'umidità media U dei campioni, è stata calcolata come percentuale sulla massa anidra con le modalità già ripetutamente accennate,

Metodo del transetto. Il campionamento è stato effettuato nelle stesse aree lungo transetti di 20 m lineari. In ogni sito sono state effettuate 3 repliche e ogni replica è stata fotografata dopo il posizionamento di un'asta graduata fissata verticalmente al piano di campagna. Prima del campionamento allometrico è stata misurata la pendenza e l'esposizione dell'area nonché delle variabili meteorologiche della giornata di rilievo (temperatura, umidità dell'aria, velocità e direzione del vento). Le misure delle altezze in termini di contatto e altezza delle due componenti verde-secca in ogni transetto sono state effettuate ad intervalli regolari (ogni metro) come riportato nello schema seguente (fig.56).



Figura 56: Schema delle misure sul transetto

Risultati

Sono state calcolate le umidità relative percentuali rapportate sul peso secco con la metodologia già illustrata per ottenere i valori di carico delle componenti gialla, verde e totale da peso fresco a anidro, ottenendo i seguenti valori riportati in tabella 32.

Tabella 32: Umidità % dei singoli siti delle due Regioni

Età	Regione	U% media verde	U% media gialla
1	Campania	163%	68%
2	Sardegna	97%	25%
5	Campania	56%	14%
8	Sardegna	97%	26%
10	Sardegna	123%	26%

Si evidenzia una variabilità dell'umidità sia tra la componente verde e quella gialla, ma anche tra i siti, a dimostrare la relazione esistente tra l'umidità dei combustibili e le condizioni stazionali del sito di prelievo.

Il campionamento, secondo il protocollo sopra descritto, in un numero rappresentativo di ampelodesmeti di differente età, disturbo, substrati ed esposizione da effettuare in varie località della regione Campania e Sardegna., aveva il fine di disporre di un set di misure statisticamente sufficienti ad elaborare un'analisi di correlazione tra parametri allometrici, come ad esempio altezza, copertura e biomassa, per poter elaborare un modello predittivo di stima del carico di combustibile utili ai fini di una caratterizzazione speditiva di un area di intervento e previsione del comportamento del fuoco.

In ogni plot relativo sono state campionate cinque repliche quadrate di 4 m², e tre transetti lineari di 20 m. Di ogni parametro misurato nei cinque plot a diversa età, sono state calcolate le medie aritmetiche per poter essere analizzati statisticamente (tab.33).

Tabella 33: Sintesi di tutti i parametri misurati in campo e carico di combustibile anidro calcolato in laboratorio

ID	sito	età	h media v	h media g	copertura v	copertura g	Carico anidro verde	Carico anidro giallo	Carico anidro totale
4	3	1	72,410	1,000	0,517	0,100	8,3	0,1	8,4
3	2	2	62,984	5,726	0,667	0,283	6,9	0,7	7,6
5	4	5	80,263	51,250	0,400	0,233	4,4	4,5	8,9
2	3	8	77,232	16,329	0,700	0,433	10,8	2,8	13,6
1	1	10	73,328	22,259	0,800	0,617	9,2	9,7	18,9

v: parte verde;

g: parte gialla

Da una prima analisi esplorativa dei dati, i siti di un anno di età presentano già un'altezza media della componente verde pari a 72,4 cm, di 1 cm quella gialla con un carico rispettivamente di 8,3 t/ha e 0,1 t/ha. Mettendo in relazione le relative età dei siti, con il carico totale anidro delle due componenti si ottiene una forte correlazione positiva ($r = 0.92$) tra i due parametri. Constatato questo è stata sviluppata una regressione lineare dei dati per ottenere una stima indiretta del carico in funzione dell'età, ottenendo un R^2 pari a 0,851. Fig. 57

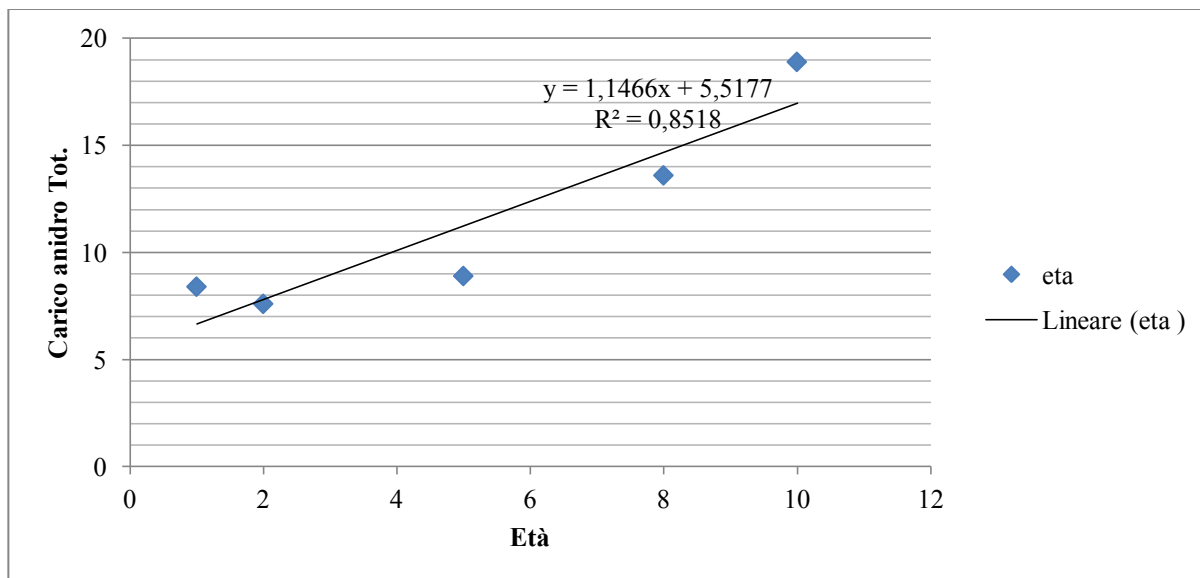


Figura 57: Regressione lineare tra età e carico anidro totale di combustibile

Sono poi stati messi a confronto singolarmente i dati delle due componenti (giallo verde) di altezza e copertura con il carico anidro giallo e verde. Il primo parametro, ottenuto moltiplicando l'altezza media della componente verde dei siti con il grado di copertura percentuale della vegetazione stimata visivamente in campo, quindi concettualmente assimilabile ad un volume, è stato messo in relazione col carico riferito alla stessa componente ottenendo una correlazione positiva sufficientemente buona, ($r=0,82$). L'analisi della regressioni di questi due parametri ha evidenziato buone capacità esplicative, fig.58 , con un R^2 pari a 0,67.

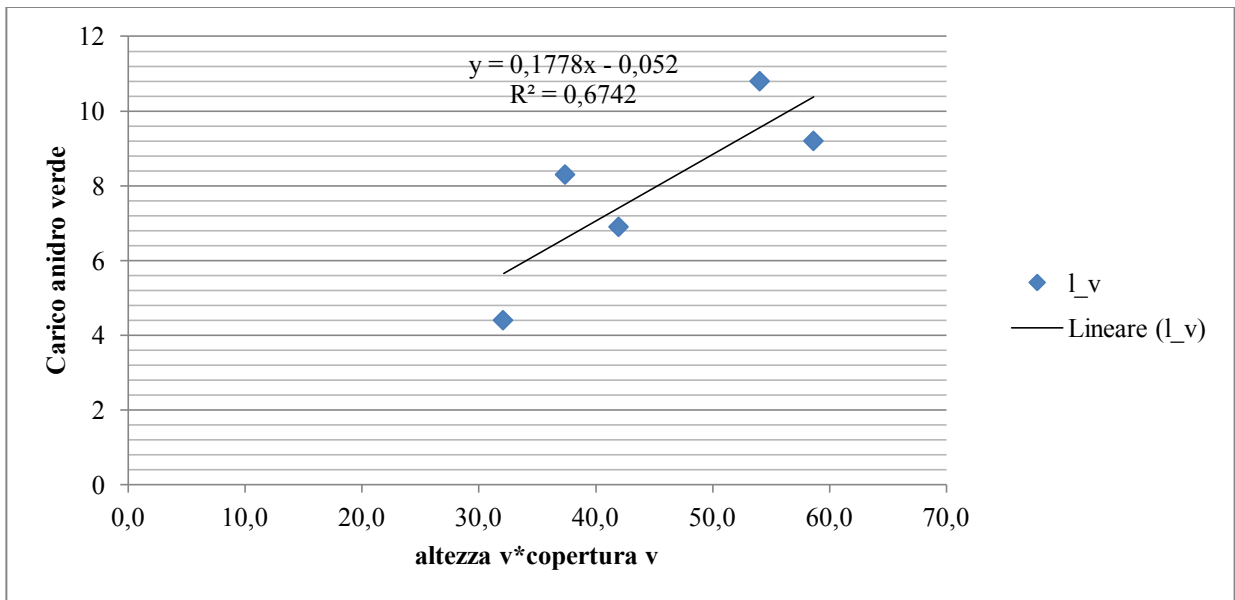


Figura 58: Regressione lineare tra altezza*copertura e carico anidro verde

Mentre per la componente gialla, la stessa analisi tra il primo parametro (ottenuto moltiplicando l'altezza media gialla e la copertura stimata) e il secondo (carico anidro della stessa componente) ha evidenziato una forte correlazione ($r=0.91$) (Fig.59)

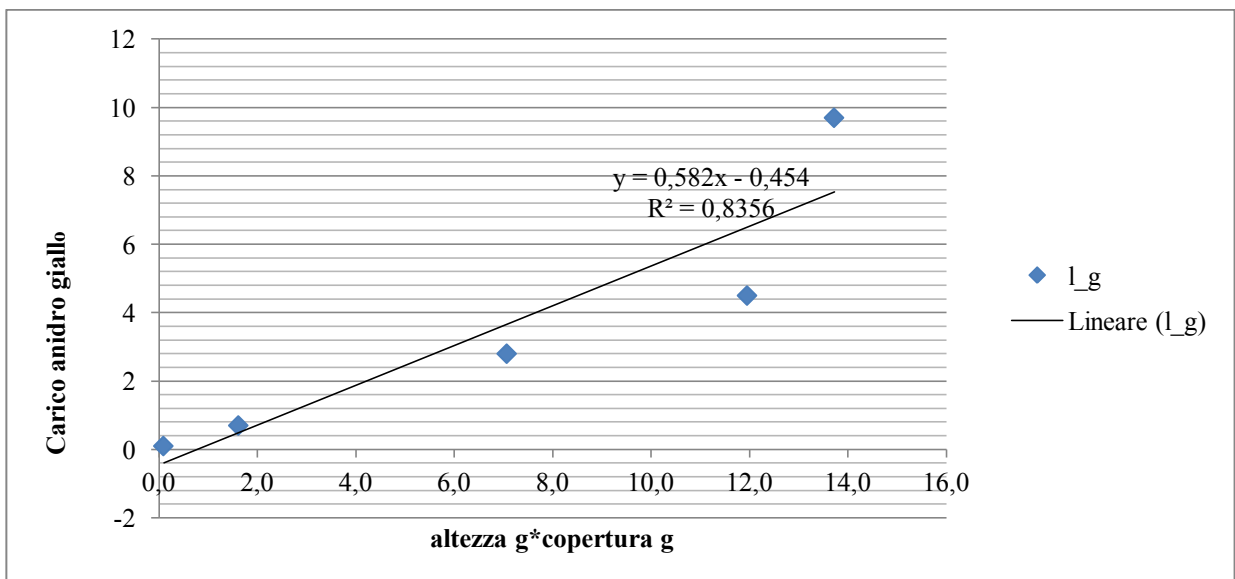


Figura 59: Regressione lineare tra altezza-copertura e carico anidro componenti gialla

Sono stati poi correlati i dati tra la somma dei prodotti tra altezze medie e coperture gialla e verde, e il carico totale (fig. 60) ottenendo una forte correlazione con un $r=0,97$. La regressione lineare sviluppata sugli stessi dati ha evidenziato un $R^2= 0,94$.

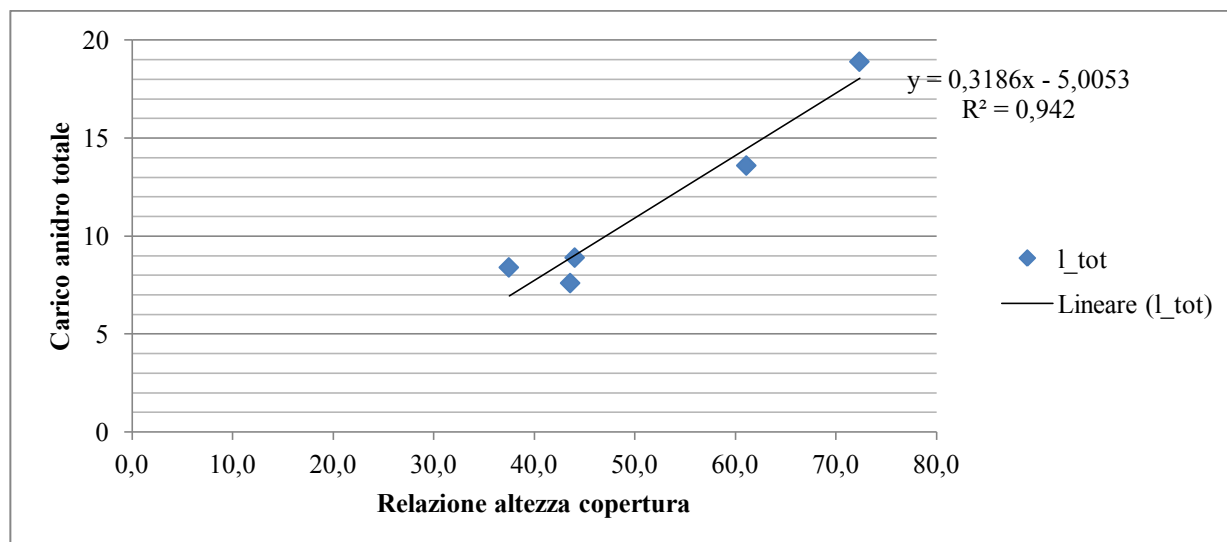


Figura 60: Regressione tra altezza-copertura tot con carico totale anidro

I risultati sembrano evidenziare una chiara correlazione tra altezza*copertura e biomassa nella componente verde ma soprattutto nel secco e nel carico totale anidro, e questo può essere spiegato analizzando l'ecologia della specie *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz).

Conclusioni

Le informazioni di seguito riportate sulla specie sono riprese da Pignatti (1982) o da altri autori.

L' *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz) è una poacea che può essere considerata una specie emi-criptofita cespitosa (Raukler, 1934), ovvero una erbacea perenne con gemme che svernano a livello del suolo protette dalla lettiera, e presentano numerose foglie che si dipartono dal suolo e che le conferiscono un aspetto cespitoso. Queste formazioni rappresentano spesso uno stadio di degradazione delle comunità forestali mediterranee, esse sono spesso da considerare alla stregua di "disclimax" stabili e duraturi (Minissale, 1995) che hanno una certa variabilità interna alla specie in funzione della frequenza e dell'intensità del disturbo antropico. I semi di *Ampelodesmos mauritanicus* hanno una bassa longevità (Vilà & Lloret, 2000) e si può quindi pensare che l'affermazione dei suoi semenzali sia legata ad intense produzioni nelle annate favorevoli caratterizzate da alta umidità o da incendi frequenti, piuttosto che a una costante e regolare produzioni di seme. L' *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz presenta una buona ripresa vegetativa post-incendio e le annate in cui viene percorso da incendio la produzione di seme cresce, (Vilà *et al.*, 2001), questi fattori rendono questa specie capace di colonizzare facilmente le aree percorse dal fuoco.

I dati ottenuti dai rilievi dimostrano chiaramente che la specie presenta una notevole variabilità sia di altezza delle due componenti, verde e secca, legate sia all'età, quindi al numero di anni dall'ultimo incendio, sia alle condizioni microstazionali che la ospitano.

Analizzando i dati del carico presentati in tabella 33 si nota che già a meno di un anno dall'ultimo passaggio del fuoco (nel nostro caso si tratta di fuoco prescritto e non di incendio) l' *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz presenta un alto accumulo di biomassa verde, superiore alle 8 t/ha, mentre presenta una scarsissima quantità di biomassa secca che cresce invece scalarmente in

media fino al quinto anno di vita. Se prendiamo in esame tutti i rilievi che hanno riguardato il calcolo del carico su *ampelodesmeti* di 10 anni notiamo come il carico della componente gialla cresca più velocemente tanto da equiparare il carico anidro della componente verde.

Nella correlazione tra il parametro (altezza*copertura) e il relativo carico delle due componenti, è evidente una più alta correlazione della componente secca rispetto a quella verde, a significare un particolare accorgimento adattativo tipico di specie colonizzatrici post-incendio: col passare degli anni si accumula un quantitativo di biomassa secca sempre maggiore quasi a voler innescare le condizioni perfette per lo svilupparsi di un ulteriore incendio, che garantirebbe la propria rapida ricolonizzazione eliminando altre specie prevalentemente arbustive e arboree che competono con essa nell'ambiente.

Questa osservazione è confermata in letteratura (Brooks et al., 2004) da studi che dimostrano incrementi di frequenza degli incendi quando specie erbacee introdotte invadono siti altrimenti dominati da specie legnose, perché creano un quantitativo crescente in continuità, abbondanza, e infiammabilità del combustibile.

Questi effetti derivano da incrementi di carico, da una copertura a maggior continuità orizzontale e verticale, in combinazione con le proprietà intrinseche del combustibile di specie erbacee, che hanno tessitura fine e, quindi perdono umidità più rapidamente della vegetazione nativa in particolare arbustiva (Brooks et al., 2004).

I dati ottenuti sull'accumulo del carico di combustibile in differenti intervalli temporali dimostrano la veloce ripresa vegetativa della specie, e corrispondono con quanto studiato da altri autori in Catalonia (NE Spagna) (Grigulis et al., 2005) che hanno dimostrato che tempi di ritorno del fuoco più ravvicinati fanno diminuire il carico totale di combustibile di un determinato ecosistema ma con un incremento notevole di biomassa se si prende in considerazione la sola specie *Ampelodesmos mauritanicus* Poir. (Fig.61). Poiché la suddetta specie è ampiamente presente nelle

zone meridionali ed insulari del nostro paese, dove può creare incendi di elevata intensità e velocità di propagazione, si conferma la particolare importanza delle esperienze di fuoco prescritto già condotte, al fine di ridurre il carico di biomassa, pur conservando la caratteristica della specie di rinsaldare il terreno.

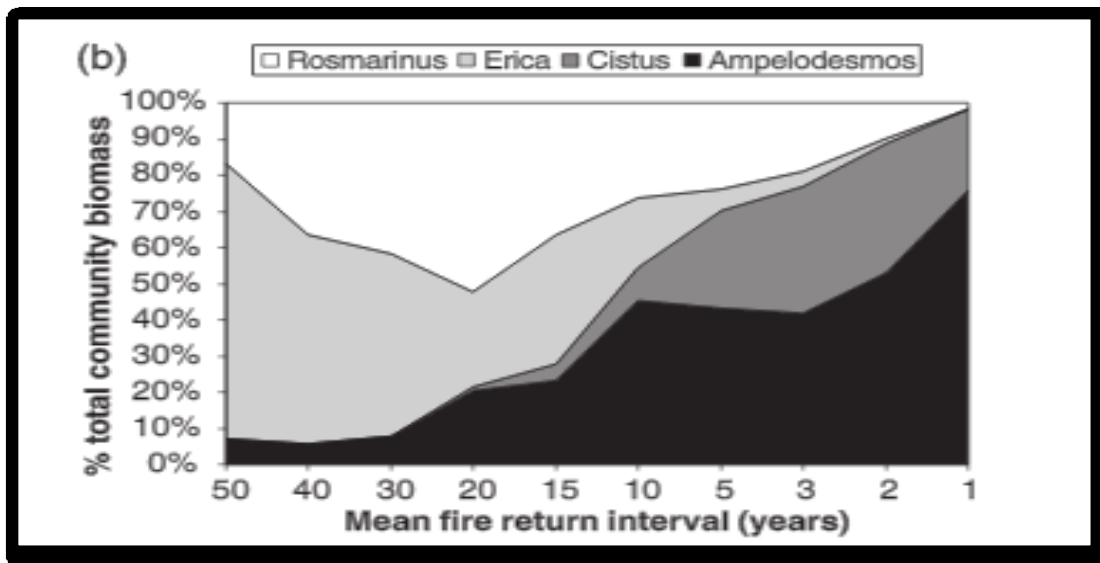


Figura 61: Effetti del tempo di ritorno del fuoco su diverse specie mediterranee in particolare di *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) Dur. & Schinz). (Grigulis et al. 2005)

Bibliografia

Adler, M. and Ziglio. E. (1996). Gazing into the oracle: The Delphi Method and its application to social policy and public health. London: Jessica Kingsley Publishers.

Angioni G., *Libello contro gli incendiari*, Condaghes 1993

ARPAS Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna – Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna (1932-2010).

Ascoli D (2008). Developing a prescribed burning expertise in Italy: learning fire experiments. Ph.D. Thesis, Università di Torino.

Ascoli D. 2011 Analisi dell'intervento di fuoco prescritto Taipana(UD) –10/03/2011

Ascoli D, Beghin R, Ceccato R, Gorlier A, Lombardi G, Lonati M, Marzano R, Bovio G, Cavallero A (2009). Developing an Adaptive Management approach to prescribed burning: a long-term heathland conservation experiment in north-west Italy. *International Journal of Wildland Fire* 18: 1-9.

Ascoli D, Catalanotti A, Valse E, Cabiddu S, Delogu G, Driussi M, Esposito A, Leone V, Lovreglio R, Marchi E, Mazzoleni S, Rutigliano FA, Strumia S, Bovio G, 2012. Esperienze di fuoco prescritto in Italia: un approccio integrato per la prevenzione degli incendi boschivi. *Forest@* 9: 20-38 [online 2012-02-28] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor0686-009>

Ascoli D, Marzano R, Bovio G (2005). Fuoco prescritto sperimentale per la gestione della brughiera. *Linea Ecologica* 37 (3): 19-26.

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* 62 (5-6): 369-383.

Ascoli D, Bovio G (2010a). Appraising fuel and fire behaviour for prescribed burning application in heathlands of Northwest Italy. In: Proceedings of the "VI International Conference on Forest Fire Research" (Viegas DX ed). Coimbra (Portugal), 15-18 Nov. 2010, pp. 11.

Bacchetta, Bagella, Biondi, Farris, Filigheddu, Mossa, 2009 - "Vegetazione forestale e serie di vegetazione della Sardegna". (Monografia)

Baughman M.J., (1985). Effective use of Delphi process. In R.A. Leary (Ed.), *Discovering new knowledge about trees and forests* (US Forest Service GTR. St. Paul, MN: North Central Forest Experiment Station.

Baughman MJ (1989). Effective use of the Delphi process. In: "Discovering new knowledge about trees and forests" (Leary RE ed). Gen. Techn. Rep. NC, North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service

Beccu, Enea, and Sardegna CFVA. "Tra cronaca e storia, le vicende del patrimonio boschivo della Sardegna." (2000).

Biro, Y. 2009. *Living with wildfires: what science can tell us*. EFI Discussion Paper 15.

European Forest Institute

Blomqvist, P. & Persson, B. 2003. Spontaneous Ignition of Biofuels-A Literature Survey of Theoretical and Experimental Methods. Pp 1-18. Boras, Sweden: SP Swedish National Testing and Research Institute

Botelho H, Fernandes P, Rigolot E, Rego F, Guarnieri F, Bingelli F, Vega JA, Prodon R, Molina D, Gouma V, Leone V (2002). Main outcomes of the Fire Torch project: a management approach to prescribed burning in Mediterranean Europe. In: Proceedings of the "IV International Conference on Forest Fire Research and Wildland Fire Safety Summit" (Viegas DX ed). Luso (Portugal), 18-23 novembre 2002, pp. 9.

Bovio G., Fuoco prescritto: normativa e tecniche.

Url.http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/SessioneII_FuocoPrescritto_Bovio.pdf

Bovio G. Ascoli D., 2012 Fuoco prescritto: stato dell'arte della normativa in Italia in *L'Italia Forestale e Montana*, vol. 67, n° 4, 2012, pp. 347-358

Bovio, G., and D. Ascoli. "La tecnica del fuoco prescritto." *Aracne Editrice, Roma* (2013).

Brooks ML, D'Antonio CM, Richardson DM et al. (2004) Effects of invasive alien plants on fire regimes. *Bioscience*, 54, 677–688.

Brown J.K., Oberheu R.D. and Johnston C.M., 1982 – Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. – USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. INT-129, Ogden, Utah, 48 pp.

Byram G.M., 1959 - Combustion of forest fuels. In: Davis K.P., Brown A. (eds.), *Forest fire: control and use*. McGraw Hill Book Co., New York: 65-89.

Byram G.M., 1959. Combustion of forest fuels. In: K.P. Davis, Ed., *Forest Fire Control and Use*, McGraw-Hill, NY, pp 61-89.

Byram, G.M. 1963. An analysis of the drying process in forest fuel material. Unpublished paper presented at the International Symposium on Humidity and Moisture, Washington, D.C., May 20-23, 1963. 38 p.

Calabri G (1981). Il fuoco prescritto, una discussa tecnica per la gestione dei boschi. *Monti e boschi* 32 (1): 35-42.

Camarda I., Carta L., Laureti., Angelini P., Bagnaia R., Brundu A., Brundu G., 2011. Carta degli habitat della Regione Sardegna per il sistema informativo di Carta della Natura alla scala 1 : 50.000. ISPRA – Università degli Studi di Sassari – Dipartimento di botanica ed Ecologia Vegetale – Regione Sardegna.

Camarda, I., and V. Satta. "Compendio delle fssociazioni vegetali delfa Sardegna." *XI Giomata dell 'Ambiente Convegno sul terna: La Vegetazione italiana (Roma 5 giugno 1993). Atti Acc. Naz. Lincei* 115 (1995).

Castagneri D., EspositoA., Bovio G., Mazzoleni S., Senaca U., Catalanotti A.E., Ascoli D., 2013. Fuel vertical Structure affects fire sustainability and behaviour of prescribed burning in *Spartium juneceum* shrublands. *Annals of forest Science*

Catalanotti AE, Esposito A, Strumia S, Ascoli D, Marzaioli R, D'Ascoli R, Mazzoleni S, Rutigliano FA (2011). Prescribed burning effects on soil and plant communities of a Turkey oak forest and a shrubland in Cilento e Vallo di Diano National Park (Campania, Italy). In: Proceedings of the "International Conference on Fire Behaviour and Risk Focus on Wildland Urban Interfaces". Alghero (SS), 4-6 Ott. 2011.

Certini G., 2011- Effetti degli incendi boschivi sulle caratteristiche del suolo- VIII Congresso SISEF - Abstract-Book: Comunicazioni Orali

Gianmario Mou, **Sviluppo di tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee**, Tesi di dottorato in Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente Mediterraneo, Università degli Studi di Sassari

CFS 2010 – Incendi boschivi 2010 (Volume completo). [online 2010] URL: www3.corpoforestale.it/flex/

CFS 2010 – Incendi boschivi 2010. (Brochure di sintesi). [online 2010] URL: www3.corpoforestale.it Antincendio boschivo.

CFS 2012 – Attività di prevenzione e contrasto agli Incendi Boschivi. Dati provvisori 2012. [online 2012] URL: www3.corpoforestale.it/flex.

CFVA 2004 - Atti del convegno “Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall’analisi delle cause alle proposte d’intervento (Cagliari 10/15 maggio 2004).

D'Angelo M., Enne G., Madrau S., Zucca C., (1998) "Land use and desertification in a Mediterranean context: the Baronie Region, Sardinia (Italy)", *Desertificação Mediterrâneo* 12/13, Lisboa, Instituto Mediterrânico, Universidade Nova de Lisboa, pp. 243-268

De Ronde, C., Goldammer, J.G., Wade, D.D. and Soares, R.V., 1990. – Prescribed Fire in Industrial Plantations. In: *Ecological Studies 84. Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges*. J.G. Goldammer (ed.). Springer Verlag Publ.: 216-265

Delbecq AL, Van de Ven AH, Gustafson DH (1975). *Group techniques for program planning. A guide to nominal group and Delphi processes*. Scott, Foresman, and Company, Glenview, IL, USA.

Delogu G (2009). Esperienze di Prescribed Burning in Sardegna. In: Atti del “III Congresso Nazionale di Selvicoltura”. Taormina (CT), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 1293-1296.

Delogu G, Cabiddu S (2009). Fuoco prescritto e controfuoco in Sardegna, tra tradizione ed attualità: quali prospettive? In: "La gestione della difesa dagli incendi boschivi". Fondazione S. Giovanni Gualberto - Osservatorio Foreste e Ambiente, I Quaderni, no. 9, pp. 57-87.

DRES Dipartimento di Ricerche Economiche e Sociali Università di Cagliari 2011 – "Indagine statistico territoriale sugli incendi in Sardegna". [online] URL: www.proterina-c.eu/.../PR.7.1.1..

Enne G., et al. "Agro-pastoral activities and land degradation in Mediterranean areas: case study of Sardinia." *Mediterranean desertification: a mosaic of processes and responses* (2002): 71-82.

EUROPEAN Commission 2011- Forest Fire in Europe – Annual Fire Reports. [online 2011] URL: effis.jrc.ec.europa.eu/.../fire-reports.

FAO 10 maggio 2011 - "Conferenza Internazionale sugli Incendi Boschivi SunCity/Sud Africa"

Fernandes P.M., Loureiro C., 2010. Handbook to plan and use prescribed burning in Europe. Fire Paradox, pp. 37. Online: http://www.cifap.utad.pt/guiaFCeuropa_v2a.pdf.

Fogu, M. C., and L. Mossa. "Aggiornamento alla lista dei syntaxa segnalati per la Regione Sardegna." *Fitosociologia* 38.2 (2001)

Grigulis K., Lavorel S., Davies I.D., Dossantos A., Lloret F., Vila M., 2005- Landscape-scale positive feedbacks between fire and expansion of the large tussock grass, *Ampelodesmos mauritanica* in Catalan shrublands. *Global Change Biology*. 11: 1042-1053

Harris S.A. (2007) *Colonial Forestry and Environmental History: British Policies in Cyprus. 1878-1960*. PhD. Dissertation, Graduate School of The University of Texas at Austin.

[online] URL:[http:// repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/3244/harri](http://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/3244/harri)

Henderson A (2008). Using the Delphi method to estimate population size and demographics in emergency food security assessments (EFSAs). Technical Guidance Sheet no. 10, World Food Program.

Gianmario Mou, **Sviluppo di tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee**, Tesi di dottorato in Monitoraggio e controllo degli ecosistemi forestali in ambiente Mediterraneo, Università degli Studi di Sassari

ISTAT 22/06/2010 – Pressione degli incendi sull’ambiente /1970-2009). [online] URL: www3.istat.it.

Jaén Vallejo, Manuel. "Panorama jurisprudencial." *Cuadernos de Política Criminal* 86.II (2005). Kuhlken, Robert. "Settin ‘the woods on fire: rural incendiarism as protest." *Geographical Review* 89.3 (1999): 343-363.

Lauermann J (2009). Amazigh nationalism in the Maghreb. *The Geographical Bulletin* 50: 37-55.

Lázaro A (2010). Development of prescribed burning and suppression fire in Europe. In “Best practices of fire use - Prescribed burning and suppression fire programmes in selected case-study regions in Europe” (Montiel C, Krauss D eds). Research Report 24, European Forest Research Institute, pp. 17-31.

Le Lannou, Maurice, and Manlio Brigaglia. *Pastori e contadini di sardegna. Tradotto e presentato da manlio brigaglia*. Edizioni della Torre, 1979.

Ledda G. 1975 Padre padrone: l'educazione di un pastore. [Feltrinelli](#), Milano. Collana Franchi Narratori

Legambiente – Dipartimento Nazionale della Protezione Civile 2011 – Ecosistema ambiente – Monitoraggio sulle azioni dei Comuni Italiani nell’applicazione della legge 353/200 e nella mitigazione del rischio incendi boschivi. [online] URL: [http://portale.ancitel.it/server/file/rapporto ecosistemaincendi 2011](http://portale.ancitel.it/server/file/rapporto%20ecosistemaincendi%202011).

Leone V (2004). Fuoco prescritto. In: “Incendi e complessità ecosistemica - Dalla pianificazione forestale al recupero ambientale” (Blasi C, Bovio G, Corona P, Marchetti M, Maturani A, Ministero Ambiente e Tutela del Territorio e Società Botanica Italiana eds). Palombi & Partner, Roma, pp. 214-216.

Leone V., Lovreglio R. 2003b Parco Nazionale del Gargano. Piano di Previsione e Prevenzione contro gli Incendi Boschivi.

Leone V. Lovreglio R. 2004 - Incendi nello spazio rurale: cause, motivazioni, indagini. In: Atti Convegno Regionale “Incendi Boschivi e Rurali in Sardegna”.

Leone V, Lovreglio R (2009). Il fuoco come strumento di gestione preventiva e tattica. In: “La gestione della difesa dagli incendi boschivi”. Fondazione S. Giovanni Gualberto - Osservatorio Foreste e Ambiente, I Quaderni, N. 9, pp. 71-87.

Leone V., Saracino A., Trabaud L., Velez R., 2000- Fire prevention and management policies in West Mediterranean pine forests. In: Ne’eman G., Trabaud L. (eds.), Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean. Basin Backhuys Publishers, Leiden: 335-354.

Leone V, Signorile A, Gouma V, Pangas N, Chronopoulous-Sereli (1999). Obstacles in prescribed fire use in Mediterrean countries: early remarks and results of the Fire Torch project. In: Proceedings of the “DELFI International Symposium. Forest Fires: Needs and Innovations”. Athens (Greece), 18-19 novembre 1999, pp. 5.

Linstone HA, Turoff M (2002). The Delphi method techniques and applications. Digital version Lorenzoni G.G., 1974. Principali lineamenti fitosociologici della vegetazione dell’Isola di Tavolara (Sardegna Nord- Orientale). Arch. Bot. Biogeogr. Ital.

Lovreglio R., Marchi E., Mazzoleni S., Rutigliano F.A., Strumia S., Bovio G., 2012. Esperienze di fuoco prescritto in Italia: un approccio integrato per la prevenzione degli incendi boschivi. Forest@.

Lovreglio R., Marciano A., Patrone A., Notarnicola A., Leone V., “Nuove tecniche di analisi delle motivazioni: applicazione nel territorio del Parco del Cilento e Vallo di Diano”. [online 2012] URL: www.sisef.it/forest@

- Lovreglio R., Leone V., Rodrigues M.J.M., Silletti G., 2008 – Applicazione del metodo Delphi per le analisi delle motivazioni degli incendi: il caso di Taranto.
- Lovreglio R., 2012 - Le motivazioni degli incendi boschivi in Italia: risultati preliminare di un'indagine nelle Province a maggiore incidenza incendi. [online 2012] URL: www.sisef.it/forest@/index.
- Lovreglio R., Mou G., Leone V. 2014 Forest fire motives in Sardinia through the perception of experts. In: Viegas Domingos Xavier (ed.), Advances in forest fire research, Proceedings of the VII International Conference on Forest Fire Research, Portugal 14 to 21 Nov, 2014., pp. 1855-1862, Coimbra, Coimbra University Press . DOI: http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_206
- Madoui A (2002). Les incendies de forêt en Algérie. Historique, bilan et analyse. Forêt méditerranéenne .
- Massaiu A (1999). Il fuoco come tecnica di gestione territoriale. Applicazione di fuoco prescritto in Sardegna. Tesi di Laurea, Università di Firenze, pp. 144.
- Mladjov J. n.d. *MONARCHS: chronology and genealogy lists. Medieval Sardinia (Sardegna)*
http://sitemaker.umich.edu/mladjov/monarchs__chronology_and_genealogy
- Meloni B., Puggioni G., Frogheri L., 2004 - “Gli incendi agroforestali in Sardegna e Corsica: un’analisi economica e statistica”.
- Meloni B. 2012 *Rischio incendi e dimensione locale - Indagine statistico territoriale sugli incendi in Sardegna*. In: Proterina-C 2012 REPORT FASE 7 - PR7.1.1 - Report sintetico sulla carenza di azioni di comunicazione della popolazione delle aree pilota. http://www.proterina-c.eu/prodotti/PR.7.1.1_ALLEGATO_REGIONESARDEGNA.pdf
- Minissale P., 1995 — Studio fitosociologico delle praterie ad *Ampelodesmos mauritanicus* della Sicilia. — *Colloq. Phytosoc.*, 21 (1993): 615-652

Molina, M. J., and P. Sanroque. "Impact of forest fires on desertification processes: a review in relation to soil erodibility." *A: RUBIO, JL* (1996): 145-163.

Montiel C. and Herrero G. 2010 *An Overview of Policies and Practices Related to Fire Ignitions at the European Union Level* Chapter 2.3 in: Sande Silva J., Rego F., Fernandes P. and Rigolot E. (editors) *Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European Project Fire Paradox*. European Forest Institute Research Report 23, 244 p.

http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

NASA (10 ottobre 2011). "Incendi nel mondo". [online] URL: http://www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/modis-10-overview.html

Pavari 1916 - Classificazione fitoclimatica.

Pignatti S., 1982 — Flora d'Italia. — *Edagricole*, Bologna. Vol. III: Pp. 504, 614 e 618-619

Pulina G., d'Angelo M. and Enne G. 1997 *Agropastoralism and fires in the Mediterranean* RALA Report nr. 200 <http://www.rala.is/rade/ralareport/default.htm>

Raunkier C., 1934 — *The life form of plants and statistical plant geography*. — *Oxford University Press*, Oxford, UK.

Regione autonoma della SARDEGNA 2011 (Assessorato della difesa dell'ambiente) – Piano Regionale di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2011-2013.

Regione sardegna 2005 – Studio statistico-econometrico sugli incendi in Sardegna redatto con la collaborazione del Corpo Forestale e di V.A. della Sardegna (Relazione di sintesi).

Roussopoulos P.J., Johnson, V.J., 1975 - Help in making fuel management decisions. Res. Pap. NC-112. U.S. North Central Forest Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture

- Saba F., 2004 *Le cause degli incendi boschivi e rurali in Sardegna: dalle ipotesi alle analisi dei dati*. In: Regione Sardegna Atti del Convegno “Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall’analisi delle cause alle proposte di intervento. Cagliari 14/15 maggio 2004
- Saf-sardegna, 2012. Rapporto campagna AIB 2012 del CFVA
- Saragosa G., Troiani L., 2005 – “Cause dolose e colpose degli incendi forestali in Italia: proposte e prospettive, in: Incendi boschivi e rurali in Sardegna, (Regione Sardegna, 2005).
- Sardegna arpa - Dipartimento specialistico Regionale idrometeorologico.
- Sardegna Foreste Attività Antincendio 2010 – Bilancio dell’attività antincendio 2010.[online]URL: <http://www.sardegnaambiente.it/documenti>.
- Sardegna geoportale – “Carta della Natura” e “Carta geopedologica” formato shape
- Sardegna Regione - “Studio statistico-econometrico sugli incendi in Sardegna. [online 2004] URL: (www.regione.sardegna.it).
- Scotti R., Cadoni M. 2007 A historical analysis of traditional common forest planning and management in Seneghe, Sardinia-Lessons for sustainable development () *Forest Ecology and Management*.
- Silva JS, Rego FC, Fernandes P; Rigolot E (2010). FIRE PARADOX White Book: towards integrated fire management - Outcomes of the European project Fire Paradox. Research Report 23, European Forest Institute, Joensuu, Finland, pp. 228.
- Simard A.J., Eenigenburg J.E., Adams K.B., Nissen R.I., Deacon A.G., 1984. A General Procedure for Sampling and Analysing Wildland Fire Spread. *Forest Science* 30 (I): 51-64.
- Stacey R., Gibson S., Hedley P. (eds.), 2012 - European Glossary for Wildfires and Forest fire. 1st Edition, Northumberland Fire and Rescue Service, UK.
- Stefani A (1985). Bruciare o non bruciare? *Economia montana* 4: 3-9.

- Susmel L (1974). Studio di pianificazione antincendio per la Regione Autonoma della Sardegna. Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari.
- Ubysz B., Valette J.C., 2010. Flammability: Influence of Fuel on Fire Initiation. In: Sande, J., Rego, F., Fernandes, P. and Rigolot, E. (Eds): Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European Project Fire Paradox. European Forest Institute, Finland, Research Report 23. Pp. 23-34.
- Vadala' G., 2009 – *I metodi investigativi per la ricerca della causa di incendio boschivo*. [online 2009] URL: www.aisf.it
- Valese E, Driussi M, Held AC, Gottardo E, Ascoli D, Anfodillo T (2011). The pilot project Ohonj na Buonah to study the application of prescribed burning in the Eastern Alps of Italy (Friuli - Venezia Giulia Region). In: Proceedings of the “V International Wildland Fire Conference” (AfriFireNet ed). Sun City (South Africa), 9-14 maggio 2011, pp. 11.
- Vallejo R (2005). Restoring mediterranean forests. In: “Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees” (Mansourian S, Vallauri D, Dudley N eds). International Springer, New York, USA.
- Valsecchi F., 1964. Ricerche sulla vegetazione litorale della Sardegna. IV – La vegetazione dello stagno di Calik (Sardegna Nord occidentale).
- Valsecchi F. & Diana-Corrias S., 1973. La vegetazione degli stagni della zona di Olbia (Sardegna nord-orientale). Giorn. Bot. Ital.
- Valsecchi F., 1980 - Attuali conoscenze sulla vegetazione della Sardegna. Lavori della Società Italiana di Biogeografia N.S.
- Vélez R (2000). La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw- Hill / Interamericana de España S.A.U., Madrid, Spain

Viney N.R., Hatton T.J., 1989. Assessment for existing fine fuel moisture models applied to Eucalyptus litter. *Aust. For.* 52,2, 83-93.

Vilà M. & Lloret F., 2000 — Seed dynamics of the mast seeding tussock grass *Ampelodesmos mauritanica* in Mediterranean shrublands. — *J. Ecol.*, 88: 479-491.

Vilà M., Lloret F., Oggeri E. & Terradas J., 2001 — Positive fire-grass feedback in Mediterranean Basin woodlands. — *For. Ecol. & Manage.*, 147: 3-14

Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B. e Nicolini G., 2001 – Humus Forestali, manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione, applicazione alle faggete. – Edizioni Centro di Ecologia Alpina, Trento, 321 pp.