

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"

Facoltà di Agraria

Dipartimento di arboricoltura, botanica e patologia vegetale

Dottorato di ricerca in

Valorizzazione e gestione delle risorse agroforestali

XXV Ciclo

***IL RISCHIO DI INCENDIO: I CASI STUDIO DEL
PARCO NAZIONALE DEL CILENTO E VALLO
DI DIANO E LA REGIONE SARDEGNA***

Tutor
Prof. Stefano Mazzoleni

Dottoranda
Daniela Guglietta

Correlatore
Dott. Carlo Ricotta

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 IL FENOMENO DEGLI INCENDI.....	1
1.2 OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	3
2. IL COMPORTAMENTO SELETTIVO DEL FUOCO	5
3. IL RISCHIO DI INCENDIO	8
4. CASI STUDIO	9
4.1 ANALISI DELLA SELETTIVITÀ DEGLI INCENDI IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO NEL PARCO NAZIONALE DEL CILENTO E VALLO DI DIANO PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTA DI RISCHIO DI INCENDIO	9
4.1.1 AREA DI STUDIO	10
4.1.2 IL DATABASE DEGLI INCENDI NEL PARCO NAZIONALE DEL CILENTO E VALLO DI DIANO	15
4.1.3 MATERIALI.....	18
4.1.4 METODI.....	26
4.1.5 VALIDAZIONE DELLA METODOLOGIA: INDICE DI GINI.....	35
4.1.6 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	37
4.2 ANALISI DELLA SELETTIVITÀ DEGLI INCENDI IN RELAZIONE AI CAMBIAMENTI DI USO DEL SUOLO NELLA REGIONE SARDEGNA	38
4.2.1 AREA DI STUDIO	39
4.2.2 IL DATABASE DEGLI INCENDI NELLA REGIONE SARDEGNA.....	47
4.2.3 LA RELAZIONE DEGLI INCENDI CON L'USO DEL SUOLO: CLASSIFICAZIONE CORINE LAND COVER.....	50
4.2.4 METODI.....	53
4.2.5 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	56
4.3 ANALISI DELLA SELETTIVITÀ DEGLI INCENDI ALL'INTERFACCIA RURALE- FORESTA NELLA REGIONE SARDEGNA	58
4.3.1 IL TELERILEVAMENTO PER LA CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO: IL SENSORE SATELLITARE QUICKBIRD.....	59
4.3.2 METODI.....	62

4.3.3 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	65
5. CONCLUSIONI.....	68
6. BIBLIOGRAFIA	70

1. INTRODUZIONE

1.1 Il fenomeno degli incendi

Nella maggior parte degli ecosistemi terrestri il fuoco rappresenta un fattore ecologico importante, in quanto contribuisce a determinare, insieme ad altri fattori, il ciclo della vegetazione, la composizione e la ricchezza in specie della comunità.

Il passaggio del fuoco è un processo essenziale nel modellare la struttura e la funzionalità di un paesaggio con il quale mostra forti interazioni reciproche: il fuoco si propaga attraverso il territorio in funzione della presenza e della configurazione degli habitat ad esso favorevoli (Turner et al., 1989); a sua volta, la struttura del paesaggio è largamente determinata dalla frequenza, intensità e dimensione degli incendi che lo attraversano (Pickett & White, 1985; Krumel et al., 1987).

Gli incendi sono favoriti dalla presenza di combustibile, rappresentato da necromassa e da biomassa, dalle condizioni di aridità che ne aumentano l'infiammabilità, e mostrano un comportamento selettivo in funzione della distribuzione del paesaggio vegetale in relazione alla quantità, continuità e composizione del carico di combustibile ad esso associato (Moreira et al., 2001).

Differenti combinazioni di regimi degli incendi e struttura del paesaggio creano differenti pattern di incidenza del fuoco (Roberts, 1996; Lloret et al., 2002).

Questa grande variabilità suggerisce che il fenomeno degli incendi è un processo complesso, dipendente da molteplici variabili, sia abiotiche che biotiche, che influenzano dove, come e quando un incendio ha luogo (Yang et al., 2007).

Molte ricerche hanno dimostrato che la propagazione del fuoco dipende principalmente da fattori legati alla meteorologia (temperatura, precipitazioni, vento), alla topografia del territorio (quota, pendenza ed esposizione) ed alle caratteristiche della vegetazione (tipologia, densità, fenologia) (Diàz-Avalos et al., 2001; Latham & Williams, 2001; Wotton & Martell, 2005); mentre l'insorgenza degli incendi è prevalentemente legata a fattori socioeconomici, come lo spopolamento di vaste aree, l'abbandono dell'agricoltura, la distribuzione di nuovi insediamenti in ambiente rurale e la diffusione di infrastrutture di trasporto (Bajocco & Ricotta, 2008; Loepfe et al., 2010).

Le relazioni esistenti tra clima ed incendi sono ampiamente note (Chandler et al., 1983) e vari autori hanno messo in evidenza le correlazioni tra distribuzione degli incendi e variabili climatiche (Flannigan & Harrington, 1988; Vazquez & Moreno, 1993; Viegas & Viegas, 1994; Davis & Michaelsen, 1995).

In particolare, la variabilità climatica incide sul regime degli incendi in quanto influisce sulla produzione, sulla distribuzione e sull'umidità della vegetazione (combustibile): l'aumento di condizioni caldo-aride accresce la possibilità di innesco e propagazione degli incendi, mentre condizioni più umide e fresche possono da una parte contenere la

propagazione del fuoco e dall'altra promuovere lo sviluppo di un nuovo combustibile, ponendo le basi per un incremento nell'intensità o nella frequenza degli incendi in anni successivi (Agee, 1993; Veblen et al., 2000).

Il regime degli incendi è legato all'esposizione e alla pendenza del terreno: il primo fattore influisce principalmente sulla temperatura e sul contenuto di umidità del combustibile; il secondo facilita il progredire di un incendio in quanto una maggiore inclinazione favorisce il riscaldamento del materiale sovrastante andando ad aumentare la superficie dell'incendio stesso.

Le caratteristiche della vegetazione giocano un ruolo determinante sia nell'innescare che nell'evoluzione dell'incendio. La facilità di innescare del combustibile è direttamente correlata alle dimensioni del materiale legnoso, al contenuto idrico delle piante, allo stadio fenologico ed alla tipologia della vegetazione interessata (Marchetti et al., 2004).

A scala di paesaggio, la disponibilità e l'infiammabilità del combustibile sono strettamente legati alle variazioni stagionali del suo stato, che influiscono direttamente sul pattern degli incendi, sia nel tempo che nello spazio (Bajocco et al., 2010).

La configurazione spaziale del paesaggio in molte zone del mondo non si presenta omogenea a causa delle profonde trasformazioni subite nel corso dei secoli, legate all'effetto di disturbi di diversa natura.

In molti ecosistemi l'elevata variabilità ambientale è principalmente dovuta al passaggio del fuoco, il quale gioca un ruolo fondamentale influenzando direttamente la struttura e la funzione delle comunità da esso interessate e le dinamiche evolutive sia delle specie che delle fitocenosi (Cramer 2001, Mouillot, 2003).

Diversi studi hanno verificato gli effetti della struttura del paesaggio sulla diffusione degli incendi e viceversa (Bajocco & Ricotta, 2008; Vega-García & Chuvieco, 2006; Chuvieco et al., 1999, Lloret et al., 2002; Viedma et al., 2006) mettendo in luce intensi processi di feedback tra la struttura del paesaggio ed il regime degli incendi (Loepfe et al., 2010).

Paesaggi omogenei con grandi carichi di combustibile ed elevata connettività tendono a favorire incendi di elevata intensità e diffusione (Vega-García & Chuvieco, 2006); d'altro canto, gli incendi influiscono sui cambiamenti delle tipologie di uso e copertura del suolo (Lloret et al., 2002; Viedma et al., 2006), riducendo il carico di combustibile e la connettività del paesaggio forestale (Stambaugh & Guyette, 2008).

Molte ricerche hanno dimostrato come il regime degli incendi sia fortemente controllato dagli insediamenti umani, dalla gestione del territorio da parte dell'uomo (Veblen et al., 1999; Guyette et al., 2002; Bergeron et al., 2004; Hessburg et al., 2005) e come esso possa variare nei diversi periodi storici in funzione dei cambiamenti che si hanno nei livelli di densità di popolazione e nei comportamenti culturali (Yang et al., 2007).

Negli ultimi decenni, l'industrializzazione e il progressivo abbandono delle campagne e delle pratiche agricole tradizionali hanno trasformato i paesaggi rurali in fisionomie arbustive e forestali non-gestite determinando un aumento e una maggiore continuità del combustibile, influenzando cambiamenti nel pattern spaziale del paesaggio e conseguentemente nel regime degli incendi (Moreira et al., 2001a; Pausas et al., 2004; Wittemberg & Malkinson, 2009).

Pertanto in quelle aree dove la maggior parte degli incendi è di origine antropica, le condizioni socio-economiche, la gestione (es. pratiche agro-pastorali), l'uso del suolo e la copertura del suolo (LULC) e la distribuzione delle attività antropiche all'interfaccia urbano-rurale (Botelho et al., 1998; Diaz-Delgado et al., 2004) sono fattori determinanti per l'innesco degli incendi.

Nel bacino mediterraneo il fuoco rappresenta da sempre uno strumento tradizionale di gestione del territorio essendo stato utilizzato dall'uomo sia come pratica agricola che selvicolturale (Bovio et al., 2002; Blasi et al., 2004). Negli ultimi anni, tuttavia, gli interventi antropici hanno modificato la frequenza e l'intensità del fenomeno in modo da trasformarlo da fattore naturale ad elemento di degrado: il 95% delle cause di innesco sono direttamente o indirettamente attribuibili a fattori antropici (Catry et al., 2010).

Inoltre la regione mediterranea è costituita da un paesaggio eterogeneo e l'innesco degli incendi non è uniforme nel tempo e nello spazio (Catry et al., 2009; Romero-Calcerrada et al., 2008), pertanto risulta importante conoscere il pattern spaziale degli incendi in relazione alla struttura del paesaggio stesso ed alla dinamica vegetazionale.

E' stato ampiamente dimostrato (Moreira et al., 2001; Nunes et al., 2005; Bajocco & Ricotta, 2008; Pezzatti et al., 2009) che gli incendi non si verificano né si propagano nel territorio secondo un pattern di distribuzione casuale, bensì alcune tipologie di paesaggio vengono attraversate dal fuoco in maniera preferenziale, mentre altre vengono selezionate negativamente (Forman, 1997).

In tale contesto il fuoco viene paragonato ad un erbivoro che seleziona positivamente o negativamente differenti risorse: se la risorsa viene consumata in maniera non proporzionale rispetto alla sua disponibilità, il fuoco mostra un comportamento definito "selettivo" (Nunes et al., 2005; Bajocco & Ricotta, 2008).

Una conoscenza dettagliata di quali caratteristiche di paesaggio e quali tipologie di copertura del suolo sono più o meno propense al passaggio del fuoco è importante per capire il ruolo degli incendi nei processi ecologici del paesaggio e, di conseguenza, per la gestione e la prevenzione del fenomeno (Botelho et al., 1998).

1.2 Obiettivi della Ricerca

Lo scopo di questa ricerca è quello di analizzare la relazione esistente tra l'eterogeneità del paesaggio e la distribuzione spaziale degli incendi in due aree del bacino mediterraneo: il Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano e la Regione Sardegna.

Come detto in precedenza, il regime degli incendi è legato alla struttura del paesaggio ma anche alla distribuzione spazio-temporale degli incendi che a sua volta è strettamente connessa ai fattori climatici, alla topografia, alla influenza dell'uomo e alla composizione e stato della vegetazione (Latham & Williams, 2001; Wotton & Martell, 2005).

Su queste basi si pone il primo obiettivo di questo lavoro: studiare la selettività degli incendi in relazione alla classificazione del territorio (carta di uso del suolo, carta dei

sistemi di terre) e alla topografia del territorio (carta delle quote, acclività, esposizioni) in modo da realizzare una carta del rischio d'incendio che prenda in considerazione la distribuzione del rischio nell'area oggetto di studio.

Inoltre, in un paesaggio fortemente antropizzato come l'area mediterranea, bisogna tener conto della presenza e delle attività antropiche perché l'uomo, in quanto fonte primaria di accensione, controlla direttamente la frequenza, la dimensione e la localizzazione degli incendi (Vazquez & Moreno, 1998; Sturtevant et al., 2004).

In questa prospettiva si pone il secondo obiettivo della tesi: analizzare la selettività degli incendi in relazione ai cambiamenti di uso del suolo dovuti all'abbandono delle campagne e delle pratiche agricole tradizionali e chiarire il rischio d'incendio all'interfaccia urbano-foresta.

2. IL COMPORTAMENTO SELETTIVO DEL FUOCO

In molte zone del mondo la configurazione spaziale del paesaggio non si presenta omogenea a causa delle profonde trasformazioni subite nel corso dei secoli dovute all'effetto di disturbi di diversa natura.

Nella maggior parte degli ecosistemi terrestri il fuoco rappresenta un fattore ecologico importante, che, insieme ad altri fattori, influenza direttamente il ciclo della vegetazione, la composizione e la ricchezza in specie della comunità.

Nella regione mediterranea l'elevata variabilità ambientale è principalmente dovuta al passaggio del fuoco, il quale in questi ambienti gioca un ruolo fondamentale influenzando direttamente la struttura e la funzione delle comunità da esso interessate e le dinamiche evolutive sia delle specie che delle fitocenosi (Cramer 2001, Mouillot, 2003).

La propagazione del fuoco dipende principalmente da fattori legati alla meteorologia (temperatura, precipitazioni, vento), alla topografia del territorio (quota, pendenza ed esposizione) ed alle caratteristiche della vegetazione (tipologia, densità, fenologia) (Diáz-Avalos et al., 2001; Latham & Williams, 2001; Wotton & Martell, 2005), influenzando direttamente la tipologia, la disponibilità, la quantità e la continuità del combustibile.

Il regime degli incendi definisce le condizioni di disturbo alle quali un ecosistema viene sottoposto, e viene determinato da diverse componenti, quali la stagionalità, la frequenza, l'intensità e la superficie percorsa, ognuna delle quali influenza in modo significativo e variabile i processi di ricostituzione (Mazzoleni & Esposito, 2004a).

Studi condotti in differenti ecosistemi confermano il ruolo importante della stagionalità nel determinare differenti modalità di recupero della vegetazione (Mazzoleni & Esposito, 2004b). Questa componente indica il periodo dell'anno in cui ricorre un incendio e viene anche utilizzato per identificare la stagione o periodo dell'anno in cui si ha la maggiore frequenza degli incendi.

Essa risulta connessa con alcune importanti variabili climatiche quali i valori delle temperature massime, dell'umidità e delle precipitazioni. Studi condotti in differenti ecosistemi hanno confermato che la stagionalità svolge un ruolo importante nel determinare differenti modalità di recupero della vegetazione (Mazzoleni & Esposito, 2004b).

Nel bacino del Mediterraneo la stagionalità del fenomeno degli incendi è evidente a causa della stagione secca estiva che determina la presenza di combustibile facilmente infiammabile, incrementando, così, l'incidenza del fuoco.

Nelle regioni a clima mediterraneo, infatti, la ricorrenza di una stagione secca in corrispondenza delle elevate temperature estive è un fattore predisponente la possibilità di incendio che si somma alle caratteristiche di sclerofillia spesso correlate ad una notevole facilità di combustione delle parti legnose e delle stesse foglie (Mazzoleni, 1993).

La frequenza indica il numero di incendi in un determinato intervallo di tempo e rappresenta una misura media relativa al periodo considerato. Tale parametro rappresenta un fattore critico nei processi dinamici e risulta tanto più elevato quanto maggiore è la velocità di accumulo nell'area in esame, e pertanto della produttività della vegetazione.

L'intensità del fuoco, definita come l'energia liberata da un incendio ovvero la temperatura sviluppata per metro di fronte del fuoco, è uno dei più importanti caratteri di disturbo: essa è correlata alla quantità di combustibile bruciato e alla velocità di propagazione delle fiamme, mentre è inversamente legata alla frequenza degli incendi. Questo termine può influenzare la rigenerazione vegetativa, il numero di semi rimasti vitali dopo l'incendio e quindi i caratteri della comunità vegetale dopo il passaggio del fuoco (Mazzoleni & Esposito, 2004b). L'intensità varia considerevolmente nell'ambito di un determinato incendio, come conseguenza delle variazioni nello stato fenologico della vegetazione, nel tipo e quantità di combustibile bruciato, nelle condizioni microclimatiche e nella topografia.

Gli incendi sono favoriti dalla presenza di combustibile, rappresentato da necromassa e da biomassa, e soprattutto dalle condizioni di aridità che ne aumentano l'infiammabilità. Pertanto, essi rappresentano un fattore ecologico importante in tutte le regioni soggette ad aridità stagionale, quali le praterie e le foreste di conifere, le regioni tropicali con stagioni aride e le regioni a clima mediterraneo. In queste ultime le precipitazioni hanno un andamento stagionale: sono abbondanti nel periodo autunno-inverno e scarse durante le stagioni primaverile ed estiva. La ricorrenza di una stagione secca in corrispondenza delle elevate temperature estive è un fattore predisponente la possibilità di incendio che si viene a sommare alle caratteristiche di sclerofillia spesso correlate ad una notevole facilità di combustione delle parti legnose e delle stesse foglie (Mazzoleni, 1993).

Il fuoco, quindi, è un fenomeno complesso che rappresenta la risultante di una intricata interazione di fattori predisponenti (condizioni ambientali che ne favoriscono l'innescò e la propagazione) e cause determinanti (immissione di energia termica ad elevato potenziale che portano all'accensione vera e propria dell'incendio).

Le caratteristiche climatiche, geomorfologiche e vegetazionali del territorio sono i fattori che favoriscono l'innescò e l'accensione degli incendi.

Il clima è determinato dall'insieme dei fenomeni meteorologici e quelli che più direttamente agiscono sul fenomeno degli incendi, in termini di facilità di innescò e di propagazione, sono la temperatura, l'umidità dell'aria, le precipitazioni e il vento. Le condizioni climatiche, infatti, influenzano il fenomeno degli incendi perché contribuiscono a determinare l'esistenza di un determinato tipo di vegetazione e perché influiscono sull'umidità del combustibile stesso.

La geomorfologia agisce sul regime degli incendi in funzione dell'esposizione e della pendenza del terreno. Il primo fattore esercita la sua influenza principalmente sulla temperatura e sul contenuto di umidità del combustibile; il secondo favorisce il progredire di un incendio in quanto una maggiore inclinazione facilita il riscaldamento del materiale sovrastante determinando la dimensione dell'area bruciata.

Le caratteristiche della vegetazione svolgono un ruolo determinante nell'innescò e nell'evoluzione dell'incendio: la facilità di innescò del combustibile è direttamente correlata alle dimensioni del materiale legnoso, al contenuto idrico delle piante, allo stadio fenologico ed alla tipologia della vegetazione interessata (Marchetti et al., 2004). Per quanto riguarda le cause determinanti, ossia quelle che determinano l'accensione vera e propria dell'incendio, si può distinguere tra cause naturali, legate ad eventi della natura e quindi inevitabili (eruzioni vulcaniche, fulmini, autocombustione) e cause antropiche.

In varie regioni del mondo il fulmine è la più importante causa naturale capace di innescare incendi, seguito da eruzioni vulcaniche, o più raramente, autocombustione.

Tra le cause antropiche si possono distinguere cause accidentali che, pur non essendo naturali, non dipendono in maniera diretta dall'azione umana; cause colpose, dovute soprattutto alle bruciature delle stoppie e al rinnovo dei pascoli, e, infine, cause dolose, dovute ad azioni mirate dell'uomo.

Nel bacino del Mediterraneo le cause d'incendio sono da ricondursi soprattutto alle attività antropiche (Susmel, 1973): in questo territorio gli incendi sono favoriti da pratiche secolari che hanno sempre incoraggiato all'uso del fuoco come strumento di bonifica del territorio per usi agro-pastorali; mentre l'incidenza delle cause naturali (fulmini) è statisticamente inferiore all'1% del totale degli eventi che si verificano nel territorio (Saba, 2004).

Questo dato è sufficiente per differenziare la regione mediterranea da altre realtà ambientali e territoriali, come ad esempio il versante Ovest degli Stati Uniti d'America, dove gli incendi dovuti ai fulmini, rappresentano il 90% degli eventi totali registrati.

Negli ecosistemi mediterranei il fuoco è uno strumento tradizionale di gestione, da sempre impiegato per rigenerare i pascoli, per selezionare specie vegetali più appetibili al pascolo e per ripulire i campi dalle specie infestanti e dalle stoppie di fine stagione.

Negli ultimi anni, tuttavia, gli interventi antropici hanno modificato la frequenza e l'intensità del fenomeno in modo da trasformarlo da fattore naturale ad elemento di degrado: il 95% delle cause di innescò sono direttamente o indirettamente attribuibili a fattori antropici (Catry et al., 2010).

Negli ultimi cinquanta anni, inoltre, la componente umana ha influito maggiormente sul fenomeno per varie ragioni sociali ed economiche: lo spopolamento di vaste aree, l'abbandono dell'agricoltura, la distribuzione di nuovi insediamenti nell'ambiente rurale, la diffusione di infrastrutture di trasporto, l'insorgere di interessi conflittuali con la salvaguardia del patrimonio naturale e l'utilizzo del fuoco come strumento per attivare nuove forme di occupazione.

L'insieme dei suddetti fattori, in particolare l'abbandono delle tradizionali pratiche agricole e la ridotta pressione delle utilizzazioni forestali e del pascolo, hanno determinato una variazione dei regimi di disturbo, una peculiare configurazione del paesaggio e nuove condizioni ecologiche, con l'effetto di avviare in molte aree un incremento di biomassa con una generale espansione delle superfici boscate e degli arbusteti e il contemporaneo aumento delle interfacce urbano- foresta.

Il passaggio del fuoco è un processo essenziale nel modellare la struttura e la funzionalità di un paesaggio con il quale mostra forti interazioni reciproche: il fuoco si propaga attraverso il territorio in funzione della presenza e della configurazione degli habitat ad esso favorevoli (Turner et al., 1989); a sua volta, la struttura del paesaggio è largamente determinata dalla frequenza, intensità e dimensione degli incendi che lo attraversano (Pickett & White, 1985; Krumel et al., 1987).

Nella regione mediterranea esiste una forte correlazione tra le tipologie di copertura del suolo ed il carico di combustibile ad esse associato (Turner & Romme, 1994); ciò implica che la struttura del paesaggio controlla in larga misura la probabilità di innesco e di propagazione degli incendi (Burgan et al., 1998). Pertanto, differenti combinazioni di regime degli incendi e struttura del paesaggio determineranno differenti pattern di incidenza del fuoco (Moreira et al., 2001).

Se le differenti categorie di copertura del suolo fossero ugualmente predisposte al passaggio del fuoco, in termini sia di probabilità di innesco che di combustibilità, gli incendi si verificherebbero secondo uno schema casuale, interessando tutte le categorie con una probabilità proporzionale alla loro estensione superficiale.

In realtà alcune unità territoriali sono più (o meno) soggette agli incendi rispetto ad altre (Forman, 1997) e ciò significa che in un certo senso esse sono 'preferite' (o evitate) dal fuoco, il quale opera nei loro confronti una selezione positiva (o negativa).

3. IL RISCHIO DI INCENDIO

In letteratura esistono diverse definizioni e interpretazioni di rischio d'incendio (Hardy, 2005; EUROFIRELAB, 2004). In generale, per i fenomeni naturali, il rischio è dato dalla combinazione tra la pericolosità e la vulnerabilità. Il primo termine fa riferimento alla probabilità che avvenga un determinato fenomeno naturale, di una certa estensione, intensità e durata, con conseguenze negative. Il secondo parametro si riferisce all'impatto del fenomeno sulla società ed è l'incremento di vulnerabilità a provocare un aumento dei rischi naturali.

In questo lavoro il rischio di incendio è definito come la probabilità che un incendio, determinato dalla presenza e dall'attività di un agente scatenante, abbia inizio (FAO, 1986; NWCG, 2006).

Secondo EUROFIRELAB (2004) la pericolosità dipende dalla probabilità di innesco e dalla probabilità di propagazione del fuoco in una determinata area; mentre la vulnerabilità prende in considerazione gli effetti ecologici, i danni alle infrastrutture e proprietà e alle perdite umane causate da un incendio.

La scala temporale più appropriata per studiare il rischio d'incendio è quella a lungo termine in quanto fornisce informazioni riguardo la prevenzione e le attività di spegnimento come ad esempio i piani antincendio boschivi e la pianificazione di strutture e personale preposto allo spegnimento degli incendi (EUROFIRELAB, 2004).

4. CASI STUDIO

4.1 Analisi della selettività degli incendi in relazione alle caratteristiche del paesaggio nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano per la realizzazione della carta di rischio di incendio

Il paesaggio del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano (PNCVD) è stato modellato dal lavoro dell'uomo che nei secoli lo ha plasmato e trasformato addomesticando il castagno, il cui frutto è stato per anni l'alimento principale delle popolazioni insediatesi sugli altopiani montani, attraverso la costruzione di terrazzamenti per la coltivazione dell'olivo e della vite sulle colline e attraverso l'agricoltura, la forestazione e la zootecnia praticate in modalità differenti, seguendo le potenzialità offerte dal clima, dalla natura delle rocce, dalla pendenza del terreno e dalla fauna (PNCVD-Piano AIB 2007-2011, 2007).

Queste attività antropiche hanno contribuito a formare dei paesaggi agroforestali e seminaturali di notevole pregio ma anche un'elevata eterogeneità del mosaico vegetale dove l'azione dell'uomo è presente ovunque e da sempre (Naveh, 1975).

Nell'area mediterranea, il paesaggio vegetale attuale è stato determinato anche dal fuoco, il cui utilizzo rappresenta la più antica tecnica di gestione della vegetazione e la sua applicazione, forse finalizzata alla caccia, è diventata abituale tra gli uomini paleolitici e mesolitici più di 30.000 anni fa (Naveh, 1975). Dal neolitico in poi l'uso degli incendi divenne ubiquitario e modificò in modo determinante il naturale equilibrio dei cicli della vegetazione (Mazzoleni et al., 2001). Evidenze certe della ricorrenza ed età degli incendi possono essere desunte attraverso lo studio dei frammenti di carbone nel suolo (Di Pasquale, 1998; Di Pasquale e Mazzoleni, 2001).

Solo negli ultimi anni il fenomeno degli incendi viene avvertito come un problema ecologico di enorme portata (Mazzoleni et al., 2001) e la loro ricorrenza è collegata alle condizioni climatiche, alla presenza antropica ma è anche significativamente influenzata dal tipo di uso e copertura del suolo.

Il territorio del Cilento, come tutta la parte settentrionale del bacino del Mediterraneo, è stato interessato da dinamiche socio-economiche che hanno determinato cambiamenti nella vegetazione e nel paesaggio ma anche nel regime degli incendi (Mazzoleni et al., 2009).

Infatti, nel suo insieme l'uomo ha mantenuto integri i valori e i caratteri paesaggistici fino ad un certo momento della storia cilentana: dal dopoguerra ad oggi il continuo abbandono delle aree collinari e montane verso le aree urbane costiere con un conseguente disinteresse per la cura e la gestione del territorio hanno determinato situazioni degradate, senza però modificare l'essenza stessa degli elementi paesaggistici

e senza alterare la potenzialità e la capacità di recupero e riqualificazione ecosistemica (PNCVD-Piano AIB 2007-2011, 2007).

Tutti questi cambiamenti hanno determinato il passaggio da un paesaggio caratterizzato da un complesso mosaico di coperture ed usi del suolo, ad un sistema più omogeneo con l'avvio di processi dinamici della vegetazione ed una riduzione della frammentazione del paesaggio (Mazzoleni et al., 2009).

Queste nuove tipologie di paesaggio, caratterizzate da un progressivo aumento della copertura arborea e arbustiva associata al contemporaneo aumento delle interfacce urbano-foresta, hanno prodotto un aumento del rischio di incendio con maggiori frequenze di ricorrenza dei processi di ignizione e più grandi dimensioni delle aree bruciate (Mazzoleni et al., 2009).

Studi precedenti (Mazzoleni et al., 2001; Mazzoleni et al., 2009) nell'area del Parco hanno evidenziato che negli ultimi 25 anni gli incendi sono aumentati in termini di frequenza e si sono concentrati in prossimità della fascia costiera maggiormente urbanizzata, dimostrando che la distribuzione territoriale degli incendi è associabile soprattutto alle tipologie di uso del suolo e all'impatto antropico.

In questo lavoro, prendendo in considerazione l'eterogeneità ambientale che contraddistingue questo territorio, legata agli aspetti climatici e topografici, alle diverse tipologie di uso e copertura del suolo, si vuole realizzare una carta del rischio d'incendio che prenda in considerazione la distribuzione del rischio nell'area del Parco.

4.1.1 Area di studio

Inquadramento geografico

Il Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano è stato istituito con D.L. 394 del 6/12/1991 ma le attività di gestione iniziano nel 1995 con il D.P.R. 05/06/1995 a seguito dell'istituzione dell'Ente Parco e nel 1998 è stato riconosciuto come patrimonio mondiale dell'umanità da parte dell'Unesco.

Il territorio è compreso nella Provincia di Salerno, Regione Campania (Figura 1), e rappresenta un caso piuttosto raro di area protetta fortemente antropizzata: la popolazione residente negli 80 comuni del Parco è di circa 228.522 unità (circa il 21% della popolazione della Provincia di Salerno), con una densità media di 80 abitanti per kmq.

Il Parco è il secondo in Italia per dimensioni (circa 180000 ettari) ed è uno dei più importanti complessi biogeografici dell'Italia meridionale, frutto dell'opera combinata della natura e dell'uomo e da sempre terra di contrasti con un paesaggio che varia da coste incantevoli ad impervi contrafforti montuosi, da canyon vertiginosi a dolci colline terrazzate.

Il territorio si estende dalla costa tirrenica fino ai piedi dell'Appennino campano-lucano, comprendendo nella parte interna il complesso montuoso degli Alburni (1742 m), nella porzione centro-orientale l'imponente gruppo del Cervati (1898 m) e nella parte

meridionale i rilievi costieri del Monte Bulgheria (1225 m) e il Monte Cocuzzo (1387 m). In mezzo a questo blocco carbonatico sono presenti le cime arenacee del Monte Stella (1131 m) e del Monte Gelbison (1707 m).

Ad est è presente la stretta pianura de “il Vallo di Diano”, che si estende linearmente per 37 km, separando la Campania dall’Appennino lucano e occupando lo spazio di un antico lago pleistocenico.

L’orografia del territorio è caratterizzata dal susseguirsi di dorsali montuose e colline, orientate in modo diverso e incise da corsi d’acqua che sfociano nel Mar Tirreno.

Le aree pianeggianti sono poche, di ridotte dimensioni, collocate principalmente in corrispondenza dei fiumi principali: l’Alento, con 36 km di lunghezza e un bacino ampio 415 kmq e il Mingardo, lungo 37 km e ampio 223 kmq. Gli altri fiumi hanno carattere torrentizio e corso sinuoso (Bussento).

Le coste sono lunghe 100 km (rappresentano un terzo delle coste della Campania), presentano una morfologia molto varia passando da spiagge sabbiose a scogliere e falesie a strapiombo sul mare. In particolare, il tratto di costa da Capo Palinuro a Scario è più aspro e selvaggio e il fenomeno carsico ha originato grotte, a volte invase dal mare, che lo rendono unico.

Oltre ai 100 km di linea di costa, il Parco è costituito per il 22% da aree montuose, per il 71% da zone collinari, nelle quali si aprono le vallate segnate dai corsi d’acqua che rappresentano il 7% del territorio. La collocazione di queste forme morfologiche ricalca la distribuzione spaziale dei complessi litologici prequaternari.



Figura 1. Rappresentazione cartografica dell’area di studio: Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Lineamenti geologici

Il Parco ha un orientamento NO-SE e presenta un sistema geologico ben definito formato da tre grandi complessi litologici: il carbonatico, l'arenaceo-conglomeratico e l'argilloso-marnoso; mentre il sistema clastico funge da raccordo tra i sopracitati e tra questi e il mare (Figura 2).

La componente geologica dominante è quella calcareo-dolomitica che dà corpo ad un ampio tratto dell'Appennino meridionale con i complessi montuosi interni dei Monti Alburni, Massiccio del Cervati, Monte Motola (facies di Piattaforma carbonatica ed Unità Alburno-Cervati), e meridionali (Unità di transizione M. Bulgheria, margine interno della Piattaforma), rappresentati dal Monte Bulgheria e Monte Cocuzzo. Altri rilievi carbonatici sono la Raia del Pedale (1416 m) nel comune di Rofrano, e la dorsale di Monte Capitanali intorno a Roccagloriosa.

Le rocce carbonatiche sono caratterizzate dalla dissoluzione del carbonato di calcio che produce erosione e deposizione dando origine a forme carsiche ipogee (grotte, gallerie e cavità) ed epigee (campi carreggiati, doline, inghiottitoi). In particolare, il fenomeno carsico caratterizza i Monti Alburni con la presenza della grotta di Castelvita, lunga quasi 5 Km; della grotta di Pertosa, accessibile per un tratto con zatteroni e della grotta dell'Auso presso S. Angelo a Fasanella.

Il paesaggio delle rocce calcaree, modellato dalle forme carsiche, si caratterizza per l'asprezza di taluni versanti e per l'aspetto brullo e lunare dei terreni, anche se non mancano boschi mediterranei, faggete e prati a lavanda.

Da NO a SE si incontrano i rilievi arenaceo-conglomeratici di Monte Stella (1131 m), di Tempa della Rondinella (932 m), di Monte Sacro (Monte Scuro – 1725 m), di Monte Centaurino (1433 m).

Infine, l'ultima componente geologica è il "Flysch del Cilento" presente nella parte nord occidentale presso la costa alta delle Ripe rosse e nel terrazzo marino di Punta Licosa, ma la sua massima diffusione si registra in corrispondenza del bacino del Fiume Alento. I paesaggi che corrispondono al Flysch si caratterizzano per le morfologie dolci e per la maggiore presenza di macchia mediterranea.

Le zone collinari sono interposte ai rilievi terrigeni e carbonatici e affiorano formazioni argilloso-marnose a più alta erodibilità. Queste ultime formazioni modellano la bassa valle dell'Alento, situata tra Monte Stella e Monte Sacro, e le porzioni mediane delle valli del Lambro e del Mingardo, comprese tra Monte Bulgheria, a sud, e i massicci di Monte Gelbison e del Monte Centaurino a nord. I depositi detritici olocenici colmano le aree di pianura che coincidono con i fondovalle dei principali corsi d'acqua.

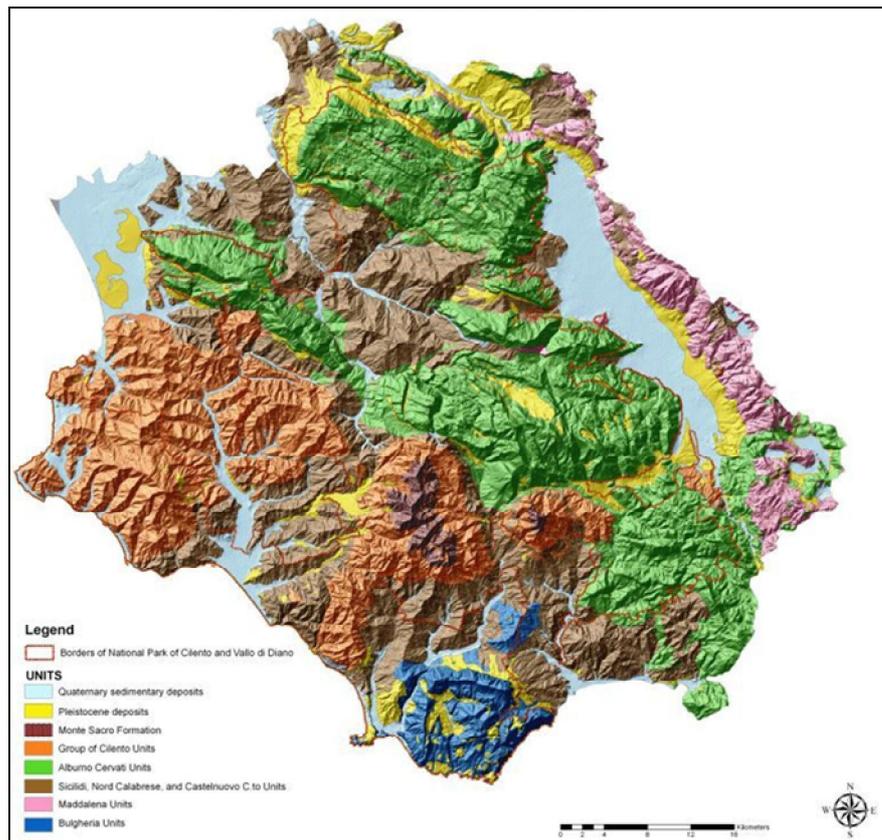


Figura 2. Carta geologica del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Aspetti climatici

Questa grande complessità orografica e geologica determina una struttura climatica che presenta differenze tra la zona costiera e quella più interna.

Lungo le coste il clima è più dolce in quanto mitigato dall'influenza del mare. Le precipitazioni sono concentrate nel periodo primaverile e tardo autunnale, facendo registrare una piovosità media di circa 980 mm/anno. Le temperature medie annuali si aggirano intorno ai 18 °C e in estate si verificano lunghi periodi di aridità.

I massicci montuosi e le aree interne hanno piovosità media compresa tra 1200 e 1900 mm/anno con massimi invernali-primaverili e minimi nei mesi di giugno-luglio. Nei mesi più freddi le temperature scendono frequentemente al di sotto di 0 °C. La durata e l'intensità del periodo freddo è molto variabile e per quattro mesi l'anno le temperature medie sono inferiori ai 10 °C. Le precipitazioni nevose sul Monte Cervati iniziano già nel mese di novembre e si sciolgono definitivamente nel mese di giugno.

Aspetti vegetazionali

Il Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano presenta un'eterogeneità ambientale che difficilmente si riscontra in altri luoghi, legata a diversi aspetti: vastità del territorio, azione dell'uomo, variabilità litologica, geomorfologica e climatica.

Geograficamente il Parco occupa una posizione di contatto tra la regione mediterranea e quella temperata, determinando una grande ricchezza di specie animali e vegetali che danno luogo a paesaggi naturali di elevato valore biogeografico e di elevata biodiversità. Infatti il forte contrasto di ambienti che variano dalle coste ai massicci montuosi ha fatto sì che nel Parco fossero presenti comunità di piante e animali che vanno dalle forme marine a quelle terrestri aride, semi-aride, nordiche, atlantiche, asiatiche, collinari e alto montane.

Inoltre è possibile distinguere due diversi sistemi di vegetazione: uno mediterraneo e uno appenninico.

La macchia mediterranea si sviluppa lungo la costa, spingendosi fino ai piedi dei rilievi e le specie tipiche sono il leccio, il lentisco, la fillirea, il mirto e infine, sono presenti anche pinete di pino d'Aleppo.

Salendo di quota, sopra la macchia mediterranea, i primi lembi di foresta sono formati da aceri, noccioli, roverelle, ornielli, carpini, cerri e castagni. Superati i 1000 m dominano grandi faggete e in alcuni luoghi boschi di abete bianco e boschi della più rara betulla. Infine, al di sopra delle faggete si incontrano le praterie montane.

Negli ambienti rupestri costieri quasi inaccessibili situati tra Capo Palinuro e Scario si conservano formazioni vegetali e specie uniche come le casmofite *Dianthus rupicola*, *Centaurea cineraria*, *Daucus gingidium*, *Inula chrithmoides*, *Crithmum maritimum*, *Iberis semperflorens* (*Dianthion rupicolae*) e la famosa *Primula palinuri* (primula di Palinuro), una pianta endemica scoperta nel 1787 dal botanico Petagna e diventata simbolo del Parco.

Sempre nel settore costiero del sistema carbonatico (Costa degli Infreschi) particolare interesse meritano i lembi residui di macchia primaria a *Euphorbia dendroides*, *Juniperus phoenicea* e *Pistacia lentiscus* (Oleo-Ceratonion).

I massicci carbonatici del Bulgheria e del Cervati ospitano habitat prioritari (direttiva CEE 92/43) rappresentati da garighe a *Lavandula angustifolia*, *Salvia officinalis* ed *Euphorbia spinosa* e da praterie ricche di orchidee a *Bromus erectus*, *Phleum ambiguum*, *Koeleria splendens*, *Globularia meridionalis*, *Asphodeline lutea*.

In questi ambiti i pascoli sono molto estesi a seguito di antichi disboscamenti e sono caratterizzati dalla presenza di comunità vegetali molto ricche floristicamente, riconducibili agli xerobrometi appenninici (Phleo-Bromion).

Negli ambienti di forra (Gole del Sammaro, del Mingardo, del Bussento e sui Monti Alburni) è presente una vegetazione casmofitica caratterizzata dalla rara *Portenschlagiella ramosissima* e da *Phagnalon rupestre*, *Athamanta sicula* e *Campanula fragilis* (*Campanulo fragilis*, *Portenschlagiellum ramosissimae*). In tali contesti sono presenti lembi di bosco misto ad *Ostrya carpinifolia*, *Acer neapolitanum*,

Acer campestre, *Corylus avellana*, *Alnus cordata*, *Tilia plathyphyllos*, *Fraxinus ornus* e localmente *Acer lobelii* e *Fraxinus excelsior*.

Il sistema arenaceo-conglomeratico si caratterizza per la presenza di boschi a cerro e farnetto sul Monte Farneta, cerrete d'alto fusto e boschi misti mesofili con numerosi individui di *Ilex aquifolium* e *Taxus baccata* sul Monte Centaurino e nei valloni del Monte Gelbison, che ospita sulle rupi sommitali la specie endemica *Minuartia moraldoi*.

Le faggete occupano una fascia altitudinale tra i 1100 e i 1700-1800 m, sia sui rilievi carbonatici (Monte Cervati e Monti Alburni) sia su quelli arenacei (Monte Gelbison). Sulla Costa dei Patrelli (Monte Motola) e a Sicignano (Monti Alburni) le faggete sono caratterizzate dalla presenza di *Abies alba*, specie oggi molto rara nell'Appennino meridionale, mentre sul Monte Cervati e sul Monte Faiatella sono presenti nuclei relitti di *Betula pendula*. Al loro limite inferiore le faggete entrano in contatto con boschi misti mesofili a dominanza di *Ostrya carpinifolia* e *Quercus cerris*, o con cenosi più termofile riferibili all'Ostryo-Carpinion. Nella fascia di transizione tra faggete e querceti sono diffusi boschi diradati, di origine secondaria, a dominanza di *Alnus cordata*.

Nella Regione Mediterranea e di Transizione del sistema argilloso-marnoso prevalgono cenosi di tipo secondario legate all'abbandono dei pascoli e delle attività agricole di tipo tradizionale.

La vegetazione potenziale è rappresentata da lembi di boschi termofili di cerro e roverella, mentre sono molto diffuse le macchie a erica, corbezzolo e mirto (Erico-Arbutetum), i cisteti e i cespuglieti a *Calicotome villosa*.

Sulle litologie argillose della regione Temperata prevalgono i pascoli mesofili a dominanza di *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus* e *Dorycnium pentaphyllum*.

Lungo i fiumi sono presenti boschi ripariali ad *Alnus glutinosa*, *Alnus cordata*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Salix alba*, con presenze lungo il Torrente Badolato di *Platanus orientalis* e saliceti a *Salix eleagnos*, *Salix purpurea* e *Salix triandra*.

4.1.2 Il database degli incendi nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano

La costruzione della banca dati degli incendi del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano è stata eseguita sulla base delle informazioni cartacee e dei verbali del Corpo Forestale dello Stato- CTA Vallo della Lucania, Settore Tecnico Amministrativo Provinciale Foreste di Salerno (STAPF Salerno).

Per ogni singolo incendio è stata redatta una scheda contenente i seguenti parametri: data di inizio incendio, comune e località del territorio investito dal fuoco, tipi di vegetazione bruciata (arbusteto, bassa macchia, bosco ceduo, bosco di alto fusto- misto, resinose, latifoglie, altre colture), superficie (in ettari) e coordinate geografiche del punto di innesco nella proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM- datum WGS84).

In questo studio è stato utilizzato il database relativo a tutti gli incendi registrati nel Parco nel periodo 1998-2009 e il numero totale di incendi è pari a 1871 eventi.

L'anno più interessato dagli incendi risulta essere il 2003 con un numero di incendi pari a 287 (Figura 3).

L'analisi della distribuzione mensile degli incendi (Figura 4) mostra che agosto, con 610 punti di innesco, è il mese con la concentrazione più elevata di eventi. Analizzando la superficie percorsa dagli incendi nel periodo 1998-2009 emerge che il 2007 è l'anno con l'estensione maggiore di area bruciata con 4084,3 ettari (Figura 5) mentre il mese con la più elevata superficie incendiata è agosto (Figura 6).

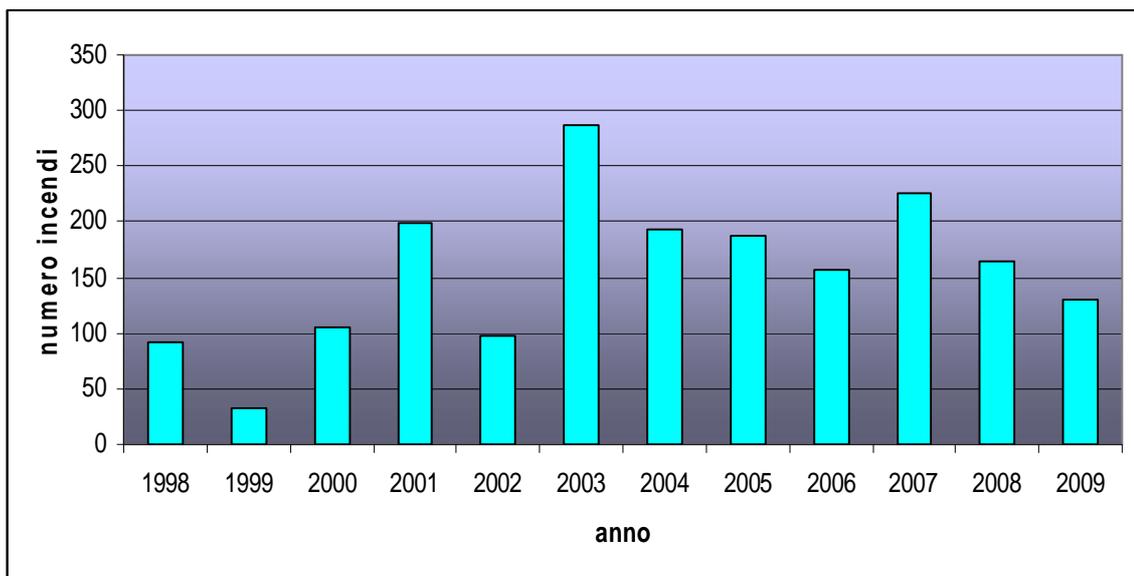


Figura 3. Numero di incendi per anno nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano nel periodo 1998-2009.

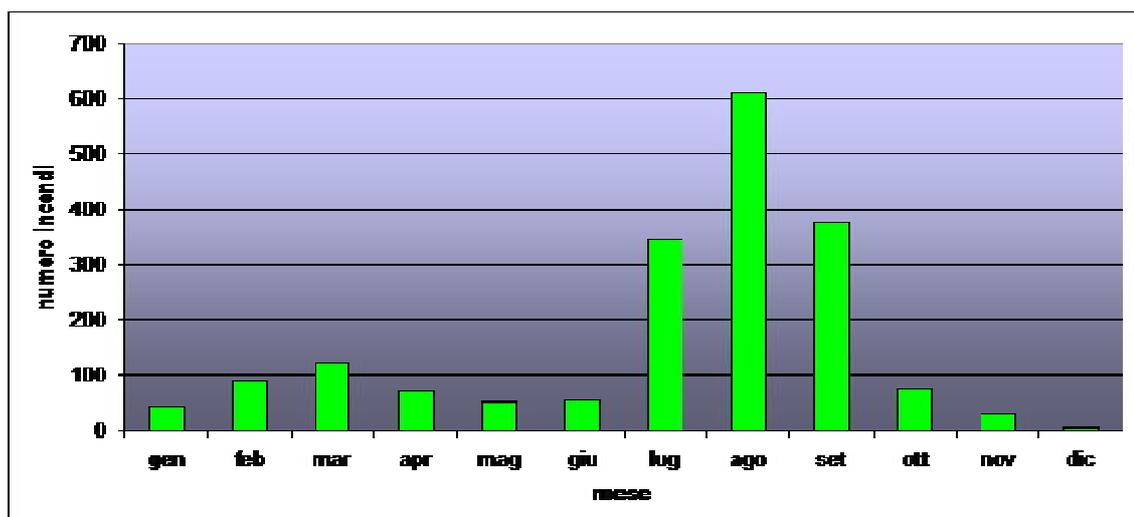


Figura 4. Numero di incendi per mese nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano nel periodo 1998-2009.

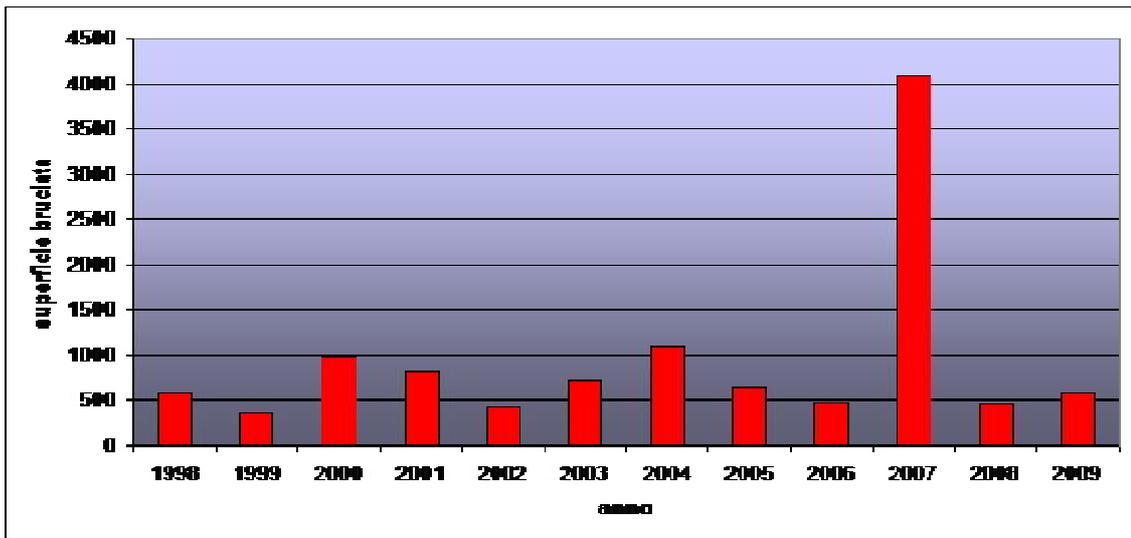


Figura 5. Superficie bruciata(in ettari) per anno nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano nel periodo 1998-2009.

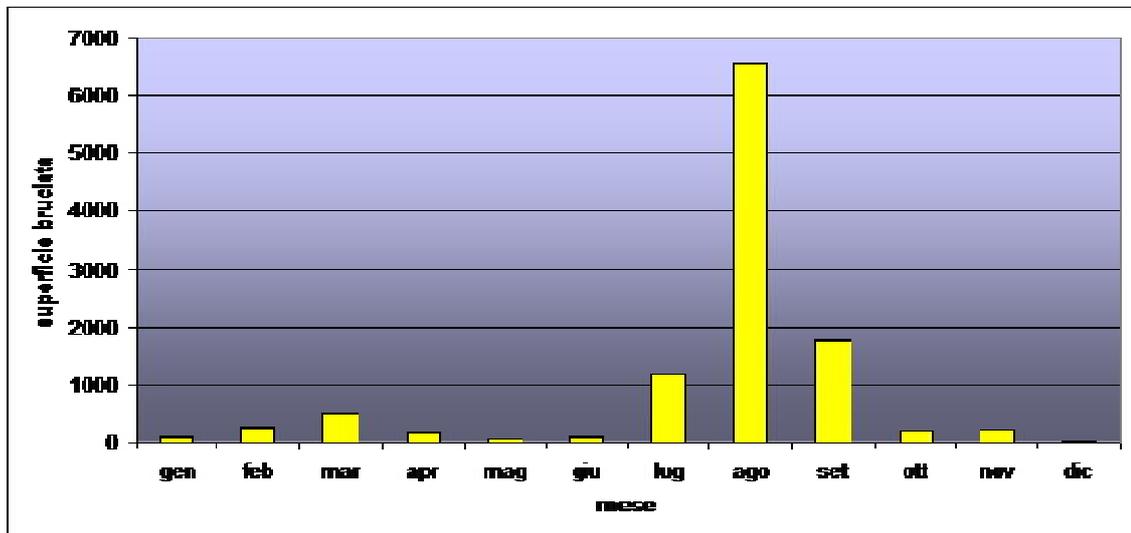


Figura 6. Superficie bruciata (in ettari) per mese nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano nel periodo 1998-2009.

4.1.3 Materiali

In questo lavoro per studiare la selettività degli incendi in relazione alla classificazione e topografia del territorio sono state utilizzate le classi individuate nei seguenti strati informativi: carta di uso del suolo, carta dei sistemi di terre, carta della quota, della pendenza e dell'esposizione.

Carta di uso del suolo

Il modello di distribuzione spaziale degli incendi non è casuale, ma è correlato alle diverse tipologie di uso e copertura del suolo ed al carico di combustibile ad esse associato (Turner & Romme, 1994; Catry et al., 2009; Romero-Calcerrada et al., 2008; Loepfe et al., 2010).

Analizzare il comportamento del fuoco in relazione all'eterogeneità del paesaggio significa verificare la selettività degli incendi in funzione delle tipologie di uso del suolo presenti nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano ovvero individuare quali tipologie di combustibile vengono preferite o evitate dal fuoco.

Secondo Turner & Romme (1994) per analizzare il comportamento selettivo degli incendi possono essere impiegate le carte di uso e copertura del suolo che presentano una buona correlazione tra le tipologie di uso del suolo e le caratteristiche del combustibile.

In questo studio la cartografia utilizzata è la carta di uso del suolo realizzata nel 2004 dal Dipartimento di Arboricoltura, Botanica e Patologia Vegetale (ArBoPaVe) della Facoltà di Agraria dell'Università Federico II di Napoli per conto del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano e aggiornata nel 2006 per la realizzazione del Piano AIB 2007-2011.

La carta è stata redatta sulla base di fotointerpretazione di ortofoto digitali e successivi campionamenti di controllo a terra. La scala di acquisizione dei poligoni non è mai stata inferiore al rapporto di scala 1:7000, in modo da permettere una restituzione cartografica in scala 1:10000 con un ottimo controllo dell'errore. Le ortofoto (prodotte dalla Regione Campania- Programma ORCA 2004-2005) con risoluzione di 1 m/px, sono state georeferenziate nel sistema di proiezione geografica Universale Trasversa di Mercatore (UTM) con datum WGS84.

La legenda è stata semplificata riaggregando le 82 categorie di uso del suolo in 29 macro-classi ritenute adatte a rappresentare la relazione incendi/uso del suolo in funzione della omogeneità di ciascuna classe in termini di quantità e continuità del combustibile (Figura 7):

1. Aree urbane: questa macroclasse comprende tutte le superfici artificiali, le zone urbanizzate, industriali e commerciali e reti di comunicazione, zone estrattive;
2. Agrumeti: si tratta di superfici agricole le cui colture permanenti sono rappresentate da agrumi;

3. Frutteti: rappresentati da alberi di melo, pero e fichi;
4. Vegetazione ripariale: costituita da specie arbustive ed erbacee lungo i corsi d'acqua con i saliceti a *Salix eleagnos*, *Salix purpurea* e *Salix triandra*; Comunità di greto a *Helicrysum italicum*, Comunità delle rive e dei fossi a *Paspalum paspaloides*, Comunità delle rive dei rii *Polygonum lapathifolium*, *Polygonum hydropiper*, *Xanthium italicum*;
5. Aree in evoluzione: questa macroclasse fa riferimento alle aree in evoluzione a dominanza di specie arbustive ed arboree in suoli che potenzialmente hanno la capacità di sostenere nel tempo comunità boschive. Pertanto allo stato del rilevamento sono catalogate in questa classe comunità vegetali con specie legnose di altezza superiore a 5 m con copertura per stand dell'ordine del 15-20% e specie legnose con portamento arbustivo di altezza inferiore a 5 m e copertura per stand del 50-60 %. Le specie forestali presenti sono *Cercis siliquastrum* (albero di Giuda), *Pistacia terebinthus* (terebinto), *Arbutus unedo* (corbezzolo), *Ostrya carpinifolia* (carpino nero), *Ulmus minor* (olmo campestre) *Quercus* sp. Le specie arbustive sono *Myrtus communis* (mirto), *Calicotome villosa*, *Erica arborea*, *Cistus* sp.pl., *Spartium junceum*, *Prunus spinosa* e *Rubus* sp.pl.
6. Rimboschimenti misti di conifere e latifoglie esotiche: sono stati effettuati negli anni 70-80 e le specie impiegate sono il pino radiata, pino austriaco, duglasia, abete rosso, eucalipto e robinia;
7. Boschi mesofili: sono i boschi a dominanza di carpino orientale, ontano napoletano, orniello, acero minore;
8. Cespuglieti: sono i cespuglieti a *Cytisus scoparius* e i cespuglieti a dominanza di *Spartium junceum*;
9. Vegetazione psammofila: è la vegetazione arbustiva ed erbacea dei sistemi dunali litoranei costituita da comunità annuali e perenni, garighe primarie su sabbie parzialmente stabili e compattate;
10. Vigneti: fa riferimento alla coltivazione intensiva dei terrazzi collinari con la presenza della vite;
11. Aree agricole: sono rappresentate le superfici coltivate a ortaggi e cereali destinate soprattutto all'autoconsumo e le aree agricole collinari e montane in rotazione o intervallate con prati-pascoli.
12. Faggeta: costituita prevalentemente da fustaie coetaneiformi e monospecifiche sempre superiore ai 60 anni. Nelle stazioni più difficilmente raggiungibili sono presenti popolamenti agamici. Le faggete caratterizzano i sistemi montuosi della regione temperata sia dei rilievi carbonatici che arenacei, nella fascia altitudinale che comprende anche i boschi a dominanza di betulla nei pianori sommatali, i boschi di faggio con abete bianco e i boschi di faggio con agrifoglio;
13. Boschi misti: sono boschi di conifere e latifoglie con coperture più o meno simili. Nella aree montane tipica è l'associazione abete bianco (*Abies alba*) e faggio (*Fagus sylvatica*).

14. Boschi a dominanza di querce caducifoglie o semicaducifoglie: caratterizzati da roverella, cerro e farnetto consociate ad altre specie come orniello, carpino nero, carpinella e aceri in base alle condizioni stazionali;
15. Boschi a dominanza di querce sempreverdi: sono costituite per la maggior parte da leccete sia rupicole, che organizzate in boschi molto densi e compatti (comune di Casaletto Spartano). Nella zona di Vibonati, Tortorella e in generale nella collina costiera di fronte al Golfo di Policastro presenza di sughera con esemplari pluricentenari.
16. Boschi di conifere: pinete costiere dominate dal pino d'Aleppo (*Pinus halepensis*).
17. Boschi cedui di Castagno: sono utilizzati per ricavare materiali per paleria e hanno un turno variabile dai 12 ai 16 anni;
18. Castagneti da frutto: presenti nella zone agroforestali più fertili della Valle del Calore e a Roccadaspide (Marrone di Roccadaspide - I.G.P.), queste cultivar sono state introdotte probabilmente agli inizi del secolo XIX da monaci dei conventi francescani. Il frutto per la sua pezzatura è richiesto dall'industria dolciaria per la preparazione di marron glacés, marmellate, ma ha anche una destinazione di buon livello al mercato fresco (caldarroste e castagnaccio).
19. Formazioni a dominanza di Felce aquilina: tipiche di suoli profondi e freschi in zone rurali da poco abbandonate o sottoposte a disturbo (incendi).
20. Macchia bassa: dominata da cisto e calicotome. In versanti più esposti in prossimità del mare con poco suolo e scheletro affiorante, presenza dominante di *Euphorbia dendroides* (euforbia arborea). Nelle zone esposte a sud, sud-est su suoli esigui presenza dominante di Erica arborea. Nei versanti freschi sottoposti a continuo disturbo presenza di corbezzolo e leccio con portamento arbustivo.
21. Macchia alta: costituita dalla macchia a mirto e lentisco e dalla macchia-foresta a erica e corbezzolo con presenza di esemplari arborei di leccio e carpino nero.
22. Macchia e cespuglieti della costa cilentana. Formazioni con presenza in zona SIC di Ascea (IT8050042) dell'endemismo *Genista cilentina* e nelle dune boscate e nelle spiagge del ginepro fenicio (*Juniperus phoenicea* - (SIC IT8050041 "Scoglio del Mingardo e Spiaggia di Cala del Cefalo").
23. Oliveti: rappresentano le coltivazioni arboree con olivo che giocano un ruolo essenziale nella formazione del paesaggio agricolo collinare del Parco;
24. Praterie: appartengono a questa macroclasse le praterie a *Brachypodium ramosum*, *Brachypodium rupestre*, le praterie a dominanza di specie annuali, le praterie pseudosteppiche ad ampelodesma e iparrenia e le praterie xeriche dei versanti carbonatici;
25. Praterie continue: sono le formazioni a *Cymbopogon hirtus* e le cenosi erbacee con *Atractylis gummifera*, le praterie dei suoli argillosi caratterizzate da *Bromus erectus* e *Dorycnium pentaphyllum*;
26. Praterie d'altaquota: sono le praterie di dolina, le praterie altomontane a *Sesleria nitida*, *Anthyllis montana*, *Trinia dalechampii*; le comunità delle creste a *Sesleria tenuifolia*, *Carex kitaibeliana*, *Edraianthus graminifolius*;

27. Praterie discontinue: sono le praterie semicontinentali a *Dasypirum villosa* e *Stipa* sp.pl.;
28. Seminativi: rappresentati da cereali e specie foraggere;
29. Vegetazione delle rupi: comprende le comunità alotolleranti delle rupi costiere a *Crithmum maritimum*, *Inula crithmoides*, *Limonium remotispiculum*, le comunità delle falesie con *Dianthus rupicola*, l'endemica e simbolo del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano *Primula palinuri*, la *Centaurea cineraria*, le comunità delle rupi costiere a *Euphorbia dendroides*, *Pistacia lentiscus*, *Juniperus phoenicea*, comunità delle rupi interne con *Portenschlagiella ramosissima*, *Athamanta sicula*, *Campanula fragilis*.

La riaggregazione è stata realizzata cercando di mettere in evidenza la presenza antropica nella gestione di un territorio, come quello del Parco, nel quale l'uomo da sempre agisce, modellandolo e trasformandolo con le sue attività.

Dalle analisi sono state escluse quelle classi considerate non infiammabili, quali aree umide e corpi idrici.

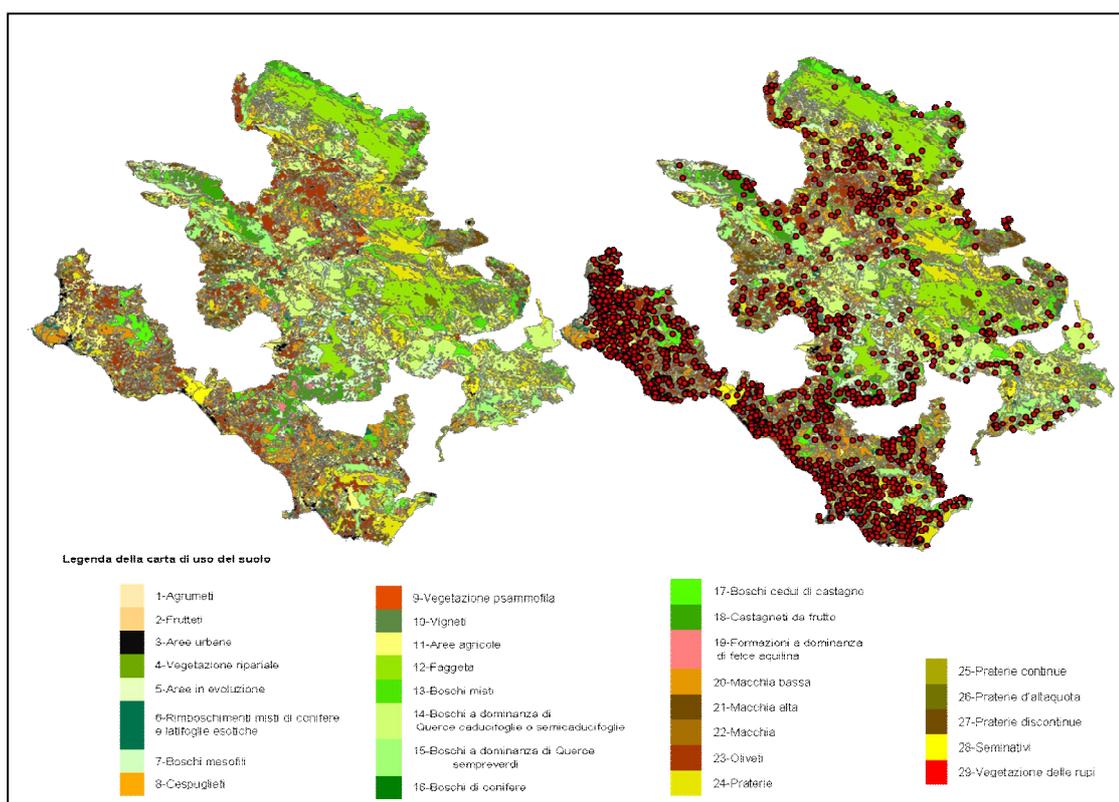


Figura 7. Carta di uso del suolo del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano riaggregata in 29 macroclassi; a destra, sovrapposizione degli incendi occorsi nel periodo 1998-2009 alla carta di uso del suolo.

Carta dei sistemi di terre

La carta dei sistemi di terre rappresenta un inventario delle risorse ambientali ed agroforestali del territorio. Essa illustra le strutture ambientali legate all'azione integrata, nel corso del tempo, del clima, della litologia, della morfologia, delle comunità biotiche e dei cambiamenti dovuti alla presenza e all'attività antropica.

In questo lavoro la carta dei sistemi di terre esaminata è stata realizzata dal Dipartimento di Arboricoltura, Botanica e Patologia Vegetale (ArBoPaVe) della Facoltà di Agraria dell'Università Federico II di Napoli, dalla società Risorsa srl e dal Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Salerno nel periodo 1999-2012 con una scala nominale di 1:25000.

La carta si articola nei seguenti livelli gerarchici:

- sistemi di terre (Figura 8);
- sottosistemi di terre;
- unità di terre.

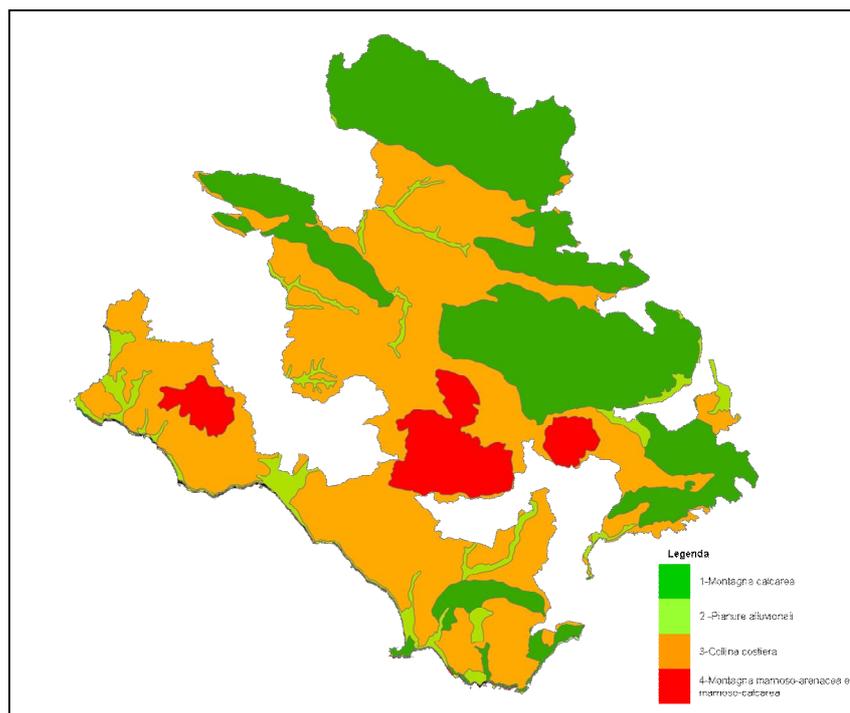


Figura 8. Carta dei sistemi di terre del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

I sistemi di terre individuati nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano sono: Montagna calcarea, Montagna marnoso-arenacea e marnoso-calcarea (Rilievi montani su flysch), Pianure alluvionali e Colline costiere (Rilievi collinari).

Il sistema Montagna calcarea comprende le aree sommitali ed i versanti montani alti dei rilievi calcarei. L'uso prevalente è forestale, zootecnico-pascolativo e ricreativo con aree a vegetazione naturale e seminaturale rappresentata da boschi di faggio, praterie di vetta, prati-pascoli. Le coperture pedologiche sono rappresentate da depositi da caduta di ceneri, a quote comprese tra 1000 e 1900 m, da depositi da caduta di ceneri e pomici, a quote comprese tra 900 e 1450 m s.l.m. La morfologia è caratterizzata da creste affilate con versanti molto ripidi; altopiani carsici ondulati; conche carsiche intramontane. Questo sistema comprende i sottosistemi del Rilievo calcareo costiero del Monte Bulgheria, i rilievi preappenninici dei Monti Alburni, del Massiccio del Cervati e dei Monti Picentini. Mentre le unità sono i pianori carsici e i versanti alti.

Appartengono al sistema della Montagna marnoso-arenacea e marnoso-calcarea le aree della media e bassa montagna (400- 1100 ms.l.m.) nelle quali alle quote superiori prevalgono gli usi forestali e zootecnico-pascolativi (boschi di querce caducifoglie, boschi di castagno, cespuglieti e praterie), mentre sui versanti bassi sono presenti sistemazioni antropiche (terrazzamenti) e l'uso è prevalentemente agricolo con oliveti, vigneti, orti arborati, colture foraggere. La morfologia è caratterizzata da sommità arrotondate con versanti ripidi o molto ripidi a profilo regolare. A questo sistema fanno riferimento i sottosistemi e unità dei rilievi montani su flysch, i rilievi collinari su flysch argilloso ed argilloso-calcareo, i rilievi collinari su flysch calcareo-marnosi, i rilievi collinari su flysch marnoso arenaceo.

Del sistema Collina costiera fanno parte i rilievi collinari su litologie marnoso-arenacee, conglomeratiche, argillose e calcaree a quote comprese tra 0 e 950 m s.l.m. La morfologia varia dai rilievi a bassa energia, con creste arrotondate e versanti regolari, incisi, a rilievi ad energia moderata, con sommità arrotondate e versanti dolcemente ondulati e incisi; per finire con dorsali collinari a più elevata energia, con creste arrotondate, di forma allungata e versanti lunghi, irregolarmente ondulati. L'uso è agricolo e forestale, con oliveti, colture cerealicole e foraggere. La vegetazione naturale è rappresentata da boschi misti di latifoglie termofile e leccio, macchia, gariga, praterie xerofile. Appartengono a questo sistema i sottosistemi e le unità della collina costiera con i versanti costieri e le falesie.

Infine, il sistema delle Pianure alluvionali comprende le aree morfologicamente depresse a quote generalmente comprese tra 280 e 490 m s.l.m. L'utilizzo è prevalentemente agricolo con seminativi, colture cerealicole e foraggere e la vegetazione naturale è rappresentata da lembi di formazioni ripariali. La densità urbana ed infrastrutturale è moderata, localmente elevata e si possono distinguere aree urbane accentrate e discontinue. Fanno parte di questo sistema, i sottosistemi e le unità delle pianure alluvionali dei principali fiumi del Parco e dei corsi d'acqua minori comprese le pianure alluvionali intramontane.

Carte della pendenza, esposizione ed altitudine

I fattori topografici sono pressoché costanti nel tempo ed è importante conoscerli in quanto influenzano le caratteristiche del combustibile, le condizioni climatiche e la propagazione del calore.

Riguardo l'evoluzione degli incendi la topografia esercita la sua influenza in funzione della pendenza, dell'esposizione e della altitudine.

Le carte relative a questi fattori sono state derivate dal DEM (Digital Elevation Model) con celle di dimensione di 20 metri, utilizzando lo strumento di analisi presente nel software ArcGIS 3-D-Analyst.

La pendenza di un versante facilita la propagazione del fuoco aumentando la superficie incendiata in quanto una maggiore inclinazione porta il calore verso l'alto per convezione determinando il riscaldamento del materiale sovrastante predisponendolo così alla combustione.

Inoltre, nel caso in cui la pendenza è molto forte, può verificarsi il rotolamento di materiale incendiato verso valle con l'innesco di altri incendi.

In questo lavoro i valori presenti nella carta della pendenza sono stati raggruppati in 7 classi ognuna con un intervallo percentuale pari a 8 (Figura 9).

L'esposizione indica la posizione di un versante rispetto ai punti cardinali e questo fattore determina l'irraggiamento solare influenzando la temperatura e l'umidità del versante ma anche la tipologia della vegetazione. I versanti sono investiti dalla radiazione solare con il seguente ordine crescente: Nord, Est, Ovest, Sud.

Pertanto un versante con esposizione Sud sarà illuminato per molte ore dal sole scaldandosi in misura maggiore rispetto ad uno a Nord; allo stesso tempo se il versante è esposto ai venti e alla brezza sarà meno umido e la vegetazione sarà caratterizzata da specie più adatte a condizioni xeriche. Tutte queste caratteristiche determinano una predisposizione maggiore alla propagazione del fuoco.

Per quanto riguarda la carta dell'esposizione sono state create 9 classi: Flat, Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ovest, Ovest, Nord-Ovest (Figura 10).

Infine, analizzando gli aspetti topografici, l'altitudine influisce sugli incendi sia per la diversa tipologia di vegetazione, sia per la differenza di temperatura, sia per la differenza di precipitazioni. La predisposizione alla propagazione del fuoco diminuisce con l'aumentare dell'altitudine, in quanto le aree poste a quote maggiori sono interessate da precipitazioni nevose invernali.

La carta dell'altitudine è costituita da 8 classi, ciascuna con un intervallo di 250 metri (Figura 11).

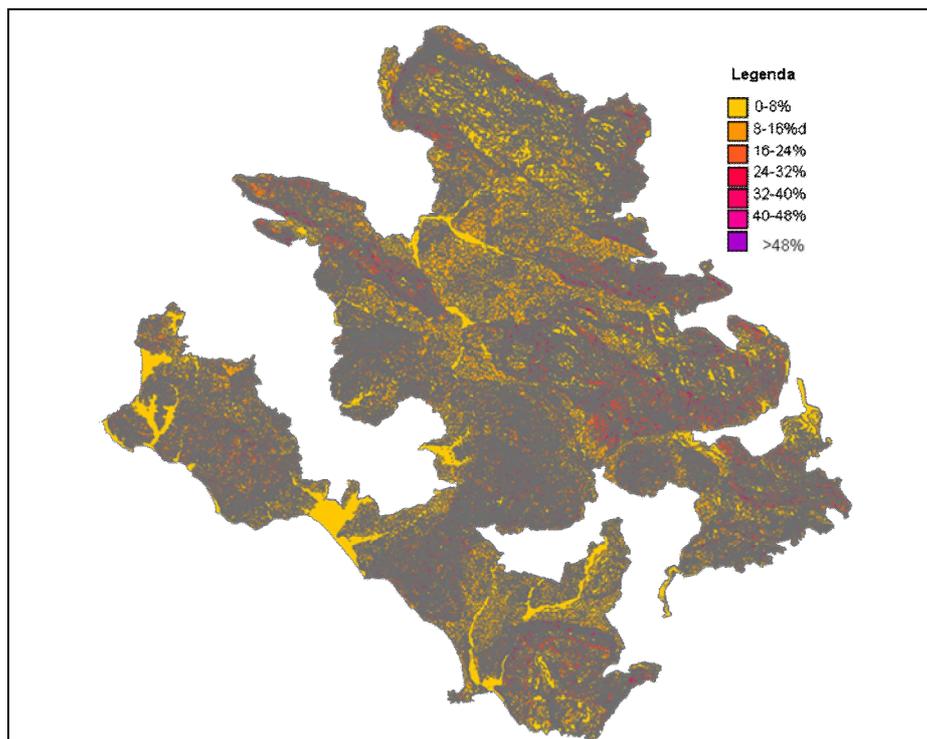


Figura 9. Carta della pendenza del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

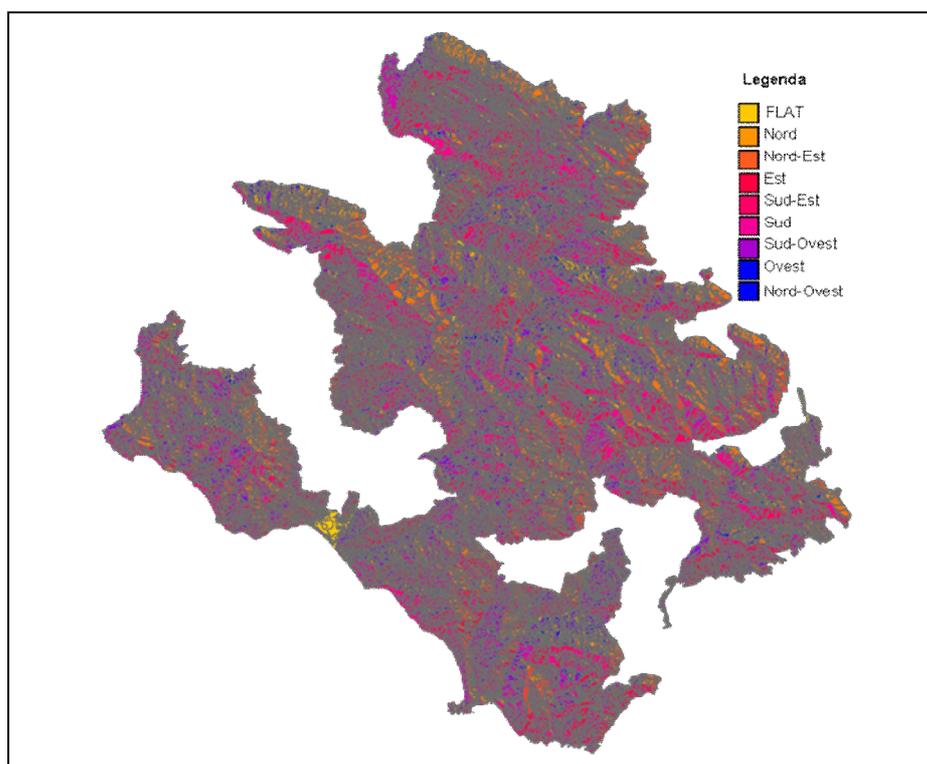


Figura 10. Carta dell'esposizione del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

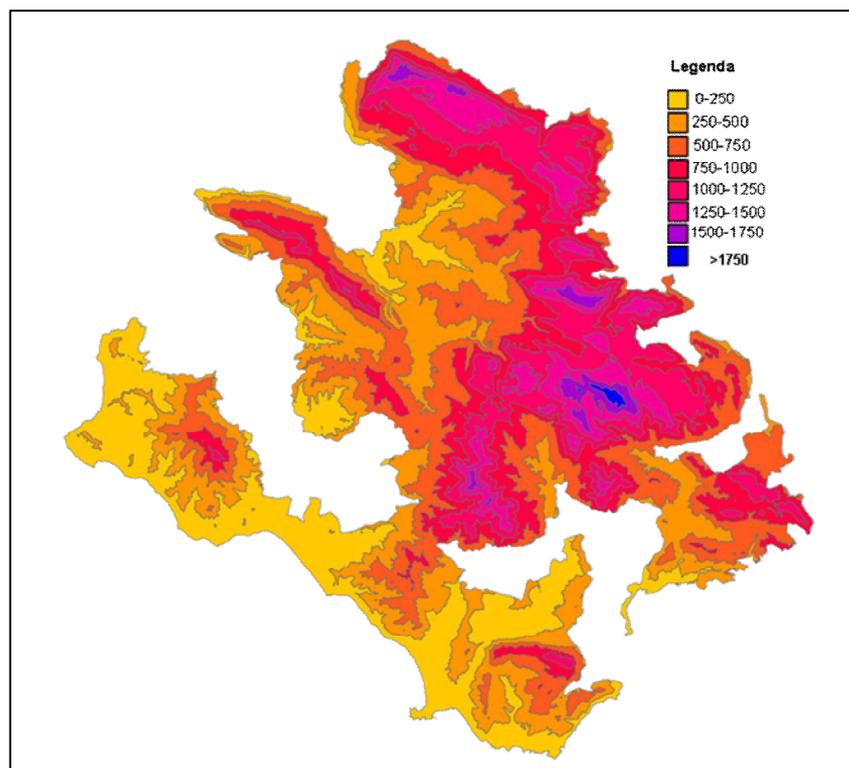


Figura 11. Carta dell'altitudine del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

4.1.4 Metodi

Analisi statistica della selettività degli incendi in relazione alle caratteristiche del paesaggio

Il regime degli incendi è legato alla struttura del paesaggio ma anche alla distribuzione spazio-temporale degli incendi che a sua volta è strettamente connessa ai fattori climatici, alla topografia, alla composizione e stato della vegetazione nonché all'azione che l'uomo esercita sul territorio con la sua presenza e con le sue attività (Latham & Williams, 2001; Wotton & Martell, 2005).

Il modello di distribuzione spaziale degli incendi non è casuale, ma è correlato a diversi fattori, ognuno dei quali è predisposto al passaggio del fuoco in maniera differente e interessa tutte le categorie con una probabilità proporzionale alla loro estensione superficiale (Bajocco & Ricotta, 2008).

L'analisi della selettività degli incendi nei confronti delle diverse tipologie del paesaggio si basa sulle stesse metodologie usate in zoologia per studiare la selettività degli habitat da parte degli animali (Alldredge et al., 1998).

In accordo con Moreira et al., (2001) e Bond & Keeley, (2005) il fuoco viene paragonato ad un 'erbivoro' che seleziona in maniera preferenziale le differenti

categorie vegetazionali: il ‘consumo’ della risorsa da parte del fuoco può essere definito ‘selettivo’ quando non è proporzionale rispetto alla disponibilità della risorsa stessa (superficie della classe interessata), sia per quanto riguarda il numero di incendi che la superficie bruciata (Mazzoleni et al., 2001; Nunes et al., 2005; Bajocco & Ricotta, 2008).

Per studiare la propensione al fuoco delle varie categorie di uso del suolo sono stati suggeriti diversi indici (Mouillot et al., 2003 e Lloret et al., 2002) e nel 2001 Moreira et al. hanno proposto di quantificare la selettività degli incendi nei confronti delle diverse categorie di uso del suolo per mezzo di una funzione di selezione della risorsa determinata da un semplice indice di selezione indicato come ‘rapporto di selezione’ (Manly et al. 1993).

Tale funzione w_i mette in relazione l’uso relativo della risorsa i (o_i) con la sua disponibilità relativa (π_i):

$$w_i = \frac{B_i / B_t}{S_i / S_t} = \frac{o_i}{\pi_i}$$

In particolare, o_i rappresenta l’uso relativo della risorsa i (stimata ad esempio come l’area consumata dal fuoco per le differenti categorie di uso del suolo) e π_i indica la sua disponibilità relativa (stimata come l’area delle differenti categorie di uso del suolo disponibili nell’area oggetto di studio).

Se w_i è uguale a 1, la categoria brucia in maniera proporzionale alla sua disponibilità ed il fuoco non mostra un comportamento selettivo nei suoi confronti.

Quando l’indice w_i è maggiore di 1, allora la risorsa è consumata oltre l’atteso ed è dunque selezionata positivamente dal fuoco.

Infine, la risorsa è selezionata negativamente se w_i risulta minore di 1, ovvero è usata meno di quanto ci si aspetterebbe.

Negli ultimi anni il comportamento selettivo del fuoco nei confronti di diverse tipologie vegetazionali e di uso del suolo è stato studiato sia per quanto riguarda il numero di incendi che la superficie bruciata (Nunes et al., 2005; Bajocco & Ricotta, 2008; Cumming 2001; Mazzoleni et al., 2001; Stolle et al., 2003; Pezzatti et al., 2009; Silva et al., 2009).

Cumming (2001) ha analizzato la composizione delle tipologie forestali in cui sono stati registrati gli incendi in Alberta (Canada), osservando che il fuoco mostra un comportamento selettivo per alcune tipologie forestali sia a scala locale che regionale.

Nunes et al. (2005) hanno dimostrato che gli incendi in Portogallo sono fortemente selettivi per la maggior parte delle tipologie di uso del suolo e che le tipologie con una maggiore discontinuità del combustibile, sono quelle che limitano la diffusione degli incendi nel territorio.

Bajocco & Ricotta (2008) hanno identificato le tipologie di uso del suolo in cui il numero e la dimensione degli incendi sono maggiori o inferiori rispetto ad un modello casuale utilizzando i dati relativi alla distribuzione degli incendi verificatisi in Sardegna, dimostrando che il numero degli incendi è superiore rispetto a quanto atteso in un modello casuale nelle aree urbane e agricole (selezione positiva) mentre è inferiore nelle foreste, nei pascoli e negli arbusteti (selezione negativa).

In questo studio per valutare il comportamento selettivo che gli incendi mostrano nei confronti delle caratteristiche del paesaggio è stato impiegato un test statistico che

consente di comprendere la significatività dei dati registrati. Esso si basa sul confronto tra il modello osservato e un modello casuale generato tramite processi di randomizzazione.

Questi test risalgono a Fisher (1935) e rappresentano un approccio molto usato per provare le ipotesi statistiche. Queste “tecniche di ricampionamento” comprendono tutti i metodi in cui i dati osservati (reali) vengono utilizzati per generare tramite randomizzazione una distribuzione di riferimento (Simon, 1995; Manly, 1997).

Tale distribuzione randomizzata viene poi utilizzata per stimare la probabilità che il pattern osservato nei dati reali sia casuale (accettazione dell’ipotesi nulla) o meno (rigetto dell’ipotesi nulla) (Legendre & Legendre, 1998).

Il numero delle randomizzazioni determina il livello di significatività del test (Fortin & Jacquez, 2000).

Sulla base di queste considerazioni, in questa tesi i test di randomizzazione vengono utilizzati per confrontare la distribuzione reale degli incendi con un modello randomizzato e verificare così la significatività della relazione tra gli incendi e le diverse caratteristiche di paesaggio.

I 1871 incendi occorsi nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano nell’arco di tempo 1998-2009 sono stati riassegnati alle categorie casualmente, in maniera tale che la probabilità di associazione di ogni evento ad una certa classe sia mantenuta proporzionale all’estensione relativa di quella classe.

Per ogni classe sono stati calcolati i valori di significatività p (per un test a due code) come la proporzione dei valori randomizzati che risultano inferiori o uguali rispetto ai valori reali.

Nelle Tabelle 1, 2, 3, 4, 5 vengono riportati il numero di incendi in ogni classe di ogni strato informativo esaminato, la significatività e il valore relativo all’Indice di selettività (w_i).

Sulla base del confronto con le simulazioni effettuate per la carta di uso del suolo, la distribuzione degli incendi è selettiva con un elevato livello di significatività per le classi: Frutteti, Aree urbane, Aree in evoluzione, Aree agricole, Boschi a dominanza di Querce sempreverdi, Boschi di conifere, Castagneti da frutto, Macchia bassa, Oliveti, Praterie (Tabella 1).

Classi di Uso del Suolo	Numero incendi	Significatività	Indice selettività (w_i)
Agrumeti	0	Negativa	-1
Frutteti	9	Positiva	0.6460
Aree urbane	40	Positiva	0.1889
Vegetazione ripariale	11	NS	-0.1887
Aree in evoluzione	32	Positiva	0.2503
Rimboschimenti misti	7	NS	-0.0120
Boschi mesofili	38	Negativa	-0.4726
Cespuglieti	95	NS	0.0098
Vegetazione psammofila	0	Negativa	-1
Vigneti	0	Negativa	-1
Aree agricole	161	Positiva	0.1536
Faggeta	7	Negativa	-0.9193
Boschi misti	26	Negativa	-0.4273
Boschi di Querce caducifoglie	138	Negativa	-0.2900
Boschi di Querce sempreverdi	57	Positiva	0.7083
Boschi di conifere	37	Positiva	0.3083
Boschi cedui di castagno	59	NS	-0.0731
Castagneti da frutto	75	Positiva	0.1888
Formazioni di felce aquilina	35	NS	0.1290
Macchia bassa	194	Positiva	0.2646
Macchia alta	51	NS	-0.0746
Macchia	1	NS	0.1297
Oliveti	260	Positiva	0.1191
Praterie	379	Positiva	0.1986
Praterie continue	97	NS	0.0618
Praterie d'altaquota	3	Negativa	-0.7300
Praterie discontinue	11	Negativa	-0.4287
Seminativi	46	NS	-0.0871
Vegetazione delle rupi	2	NS	-0.1911

Tabella 1. Dati relativi a numero di incendi, significatività e Indice di selettività (w_i) delle classi di uso del suolo del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Il numero degli incendi è superiore rispetto ad un modello neutrale nelle classi del Sottosistema di Terre: Monte Bulgheria, Pianura costiera, Rilievi collinari su flysch calcareo-marnosi, Rilievi collinari su flysch marnoso-arenaceo, Rilievi montani su flysch e Terrazzi (Tabella 2).

Classi Sottosistema	Numero incendi	Significatività	Indice selettività (w_i)
Monte Bulgheria	78	Positiva	0.4016
Monti Alburni-Massiccio Cervati	220	Negativa	-0.5046
Monti Picentini	0	Negativa	-1
Pianura costiera	29	Positiva	0.3406
Pianure alluvionali oloceniche	95	NS	0.0782
Rilievi collinari su flysch argilloso ed argilloso-calcareo	398	Negativa	-0.0838
Rilievi collinari su flysch calcareo-marnosi	125	Positiva	0.3735
Rilievi collinari su flysch marnoso-arenaceo	711	Positiva	0.2975
Rilievi montani su flysch	176	Positiva	0.1122
Terrazzi	26	Positiva	0.3173
Versanti costieri e falesie	13	NS	0.2841

Tabella 2. Dati relativi a numero di incendi, significatività e Indice di selettività (w_i) delle classi dei Sottosistemi di terre del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

I risultati dell'analisi della selettività per la carta dell'esposizione (Tabella 3), carta della pendenza (Tabella 4) e carta della quota (Tabella 5) mostrano che il numero degli incendi è selettivamente diverso dal caso con significatività elevata per le classi di pianura ed esposte a sud (classi Flat e Sud), con pendenza media (classi 16-24; 24-32) e altitudine compresa tra 0-250 metri e 500-750 metri.

Classi Pendenza	Numero incendi	Significatività	Indice selettività (w_i)
0-8 %	275	Negativa	-0.1234
8-16 %	547	NS	-0.0176
16-24 %	484	Positiva	0.0497
24-32 %	373	Positiva	0.0860
32-40 %	157	NS	0.0181
40-48 %	27	NS	-0.1550
>48%	8	Negativa	-0.1846

Tabella 3. Dati relativi a numero di incendi, significatività e Indice di selettività (w_i) delle classi della pendenza del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Classi Esposizione	Numero incendi	Significatività	Indice selettività (w_i)
FLAT	94	Positiva	0.7489
Nord	79	Negativa	-0.5032
Nord-Est	187	Negativa	-0.0908
Est	202	NS	0.0521
Sud-Est	214	NS	0.0610
Sud	306	Positiva	0.0741
Sud-Ovest	329	NS	0.0456
Ovest	262	NS	0.0276
Nord-Ovest	198	NS	-0.0311

Tabella 4. Dati relativi a numero di incendi, significatività e Indice di selettività (w_i) delle classi dell'esposizione del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Classi Altitudine	Numero incendi	Significatività	Indice selettività (w_i)
0-250 m	758	Positiva	0.3737
250-500 m	400	NS	-0.0274
500-750 m	458	Positiva	0.0527
750- 1000 m	207	Negativa	-0.2019
1000- 1250 m	41	Negativa	-0.7143
1250- 1500 m	6	Negativa	-0.8945
1500- 1750 m	1	Negativa	-0.9158
>1750 m	0	Negativa	-1

Tabella 5. Dati relativi a numero di incendi, significatività e Indice di selettività (w_i) delle classi di altitudine del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

Individuazione di aree omogenee dal punto di vista del rischio di incendio attraverso l'ordinamento e la segmentazione degli indici di selettività

Tutti gli strati informativi analizzati in questo lavoro mostrano un legame stretto tra paesaggio e regime degli incendi e per ridurre la ridondanza delle informazioni è stata applicata l'Analisi delle Componenti Principali (PCA).

La PCA è un ordinamento che permette di visualizzare l'organizzazione di un set di variabili in uno spazio multivariato (Legendre & Legendre, 1998), di ridurre la dimensione dei dati condensando l'informazione contenuta e di quantificare la correlazione esistente tra le variabili (Podani, 2007).

Il punto di partenza è rappresentato dalla costruzione di una matrice dalla quale per moltiplicazione della sua trasposta si ottiene una nuova matrice costituita da variabili che sono una combinazione lineare delle prime.

A queste nuove variabili (componenti principali) viene associata la maggior parte delle informazioni originali.

Le componenti principali sono ordinate in maniera tale che la prima componente sintetizza la porzione massima possibile della variabilità totale, la seconda la varianza massima residua e così di seguito. Quindi ognuna delle componenti successive viene derivata in modo da spiegare la più alta percentuale della varianza rimasta dopo il calcolo delle componenti precedenti (Podani, 2007).

Sostanzialmente, la PCA crea un nuovo sistema di coordinate dove gli oggetti della matrice vengono riproiettati, mantenendo ognuno la propria posizione relativa, su nuovi assi che sono combinazioni lineari degli assi originari. I nuovi assi sono perpendicolari tra loro ed orientati in direzione della massima varianza.

Una PCA non standardizzata è stata applicata ai cinque strati informativi: carta di uso del suolo, carta della pendenza, carta della quota, carta dell'esposizione, carta dei sottosistemi.

In questo studio i primi tre assi della PCA presentano la massima varianza generale della distribuzione: PC1= 47%; PC2= 22%; PC3= 18%.

Sulla base di questo risultato sono state scelte diverse combinazioni di tali assi e ognuna di esse è stata utilizzata come dataset per le analisi successive (Figura 12): dataset1- PC1 (prima banda dell'output della PCA); dataset2- PC1 e PC2 (prima e seconda banda dell'output della PCA); dataset3- PC1, PC2 e PC3 (prima, seconda e terza banda dell'output della PCA).

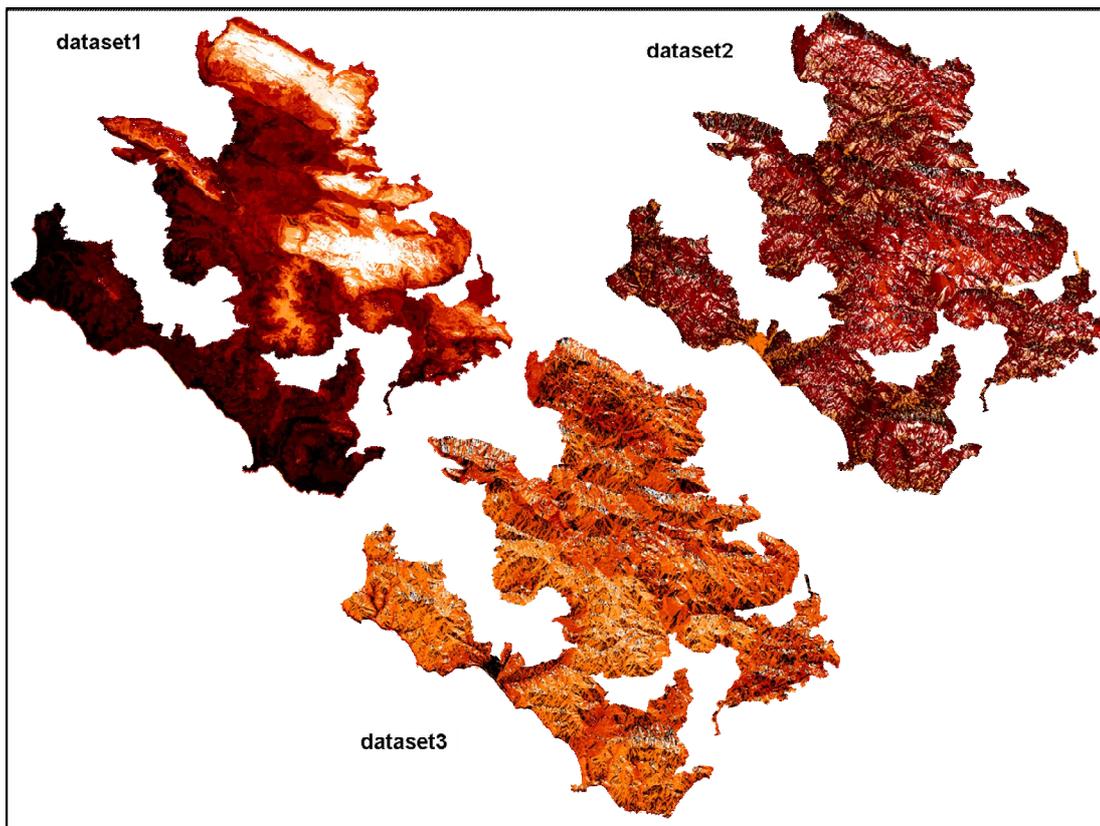


Figura 12 . Datasets ottenuti dall'analisi delle componenti principali (PCA).

Successivamente, per ottenere classi di rischio di incendio con estensione confrontabile è stata eseguita la segmentazione, un processo di suddivisione dell'immagine in gruppi di pixel (oggetti) con lo scopo di ridurre l'eterogeneità spettrale e geometrica (Hoffman & Reinhardt, 2000; Smith & Hoffmann, 2001).

Secondo questa metodologia, definita object-oriented, le informazioni semantiche necessarie per interpretare un'immagine non si trovano in un singolo pixel (metodologia pixel-based), ma negli oggetti che hanno significato nell'immagine e la loro reciproca relazione (Batz & Schäpe, 2000).

Il programma utilizzato in questo lavoro è eCognition (Definiens Imaging, Germany) (Benz et al., 2004), un software di analisi dell'immagine object-oriented, che usa la multiresolution segmentation applicando una tecnica di clustering spaziale (Haralick, 1979) attraverso la quale gli oggetti più piccoli sono uniti in altri più grandi (Batz et al., 2004).

La segmentazione multiresolution implementata in questo software permette di analizzare i singoli pixel prendendo in considerazione il loro intorno e dando origine a segmenti (oggetti) con le stesse caratteristiche spettrali. In questo modo la complessità dell'informazione presente nel pixel viene semplificata, soprattutto se si stanno

elaborando immagini ad elevata risoluzione geometrica e radiometrica (Smith & Hoffmann, 2001).

L'algoritmo di segmentazione è di tipo bottom-up ovvero i pixel dell'immagine vengono aggregati attraverso una serie di passaggi fino a quando i poligoni creati non hanno le stesse caratteristiche definite dall'operatore (Chirici et al., 2006).

Il software definisce i criteri sulla base dei quali stabilisce se unire oppure tenere separati due oggetti adiacenti (Zhang & Maxwell, 2006).

Questi criteri considerano l'eterogeneità spettrale h_s e l'eterogeneità di forma h_f (Baatz & Schäpe, 2000).

Il primo aspetto h_s è una misura dell'eterogeneità dell'oggetto ottenuto dall'unione di due oggetti adiacenti; il secondo h_f si basa sul cambiamento nell'oggetto prima e dopo che l'unione venga considerata (Zhang & Maxwell, 2006).

Il valore di fusione (F), dato dalla somma di questi due elementi, definisce il valore indicativo del cambiamento di eterogeneità tra gli oggetti e si ottiene come:

$$F = w * h_s + (1-w) * h_f$$

w è il peso assegnato dall'operatore associato all'eterogeneità spettrale (Definiens Imaging, 2004).

Inoltre nella segmentazione dell'immagine bisogna considerare altri tre aspetti: l'indice che descrive il livello di aggregazione dei pixel, definito scale parameter; lo shape/color che controlla l'influenza relativa del colore; la smoothness/compactness che determina il livello di eterogeneità spettrale (Pillai et al., 2005).

Questi parametri vengono fissati *ad hoc* sulla base di procedure di calibrazione manuale ed iterativa (Huruskainen & Pellikka, 2004).

In questo lavoro, i parametri e i loro relativi valori utilizzati per la creazione degli oggetti sono: 80 per lo scale parameter, 0.5 per il fattore shape/color e 0.3 per la smoothness/compactness.

Per ciascun dataset la segmentazione ha identificato 5 classi che rappresentano le classi di rischio di incendio: classe1- rischio molto basso; classe2- rischio basso; classe3- rischio medio; classe4- rischio alto; classe5- rischio molto alto (Figura 13).

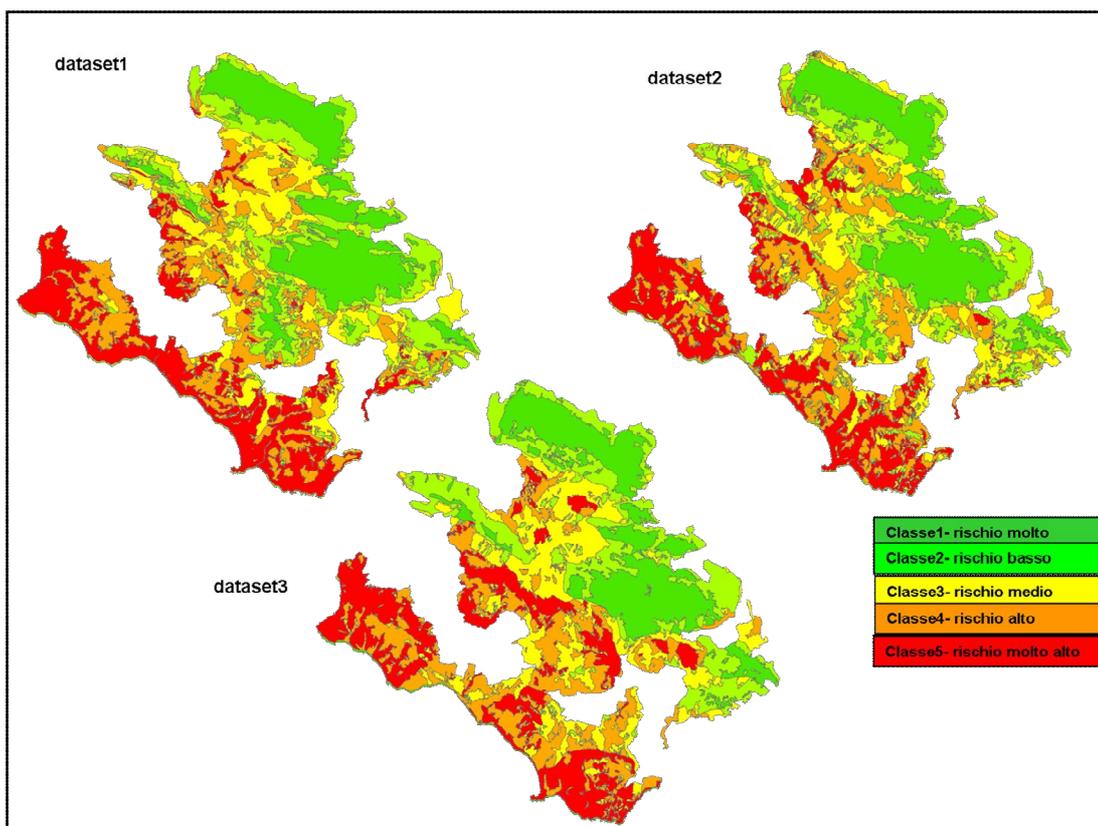


Figura 13. Rappresentazione grafica del rischio di incendio per i tre datasets.

4.1.5 Validazione della metodologia: Indice di Gini

La carta del rischio di incendio del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano realizzata mediante la nuova metodologia sviluppata in questo lavoro è stata validata applicando l'indice di Gini (1914).

Tale indice viene utilizzato in economia per misurare la disuguaglianza sociale e per rappresentare la distribuzione del reddito all'interno di una popolazione fornendo un'interpretazione geometrica della curva di Lorenz (1905).

La curva di Lorenz è uno strumento grafico che ci permette di ottenere informazioni sulla distribuzione di un certo parametro, in genere il reddito, mettendo in relazione ciascuna quota cumulata della popolazione con la corrispondente quota del reddito posseduta dagli individui.

La distribuzione può avere due valori estremi: il reddito è ugualmente distribuito nella popolazione (equidistribuzione) oppure tutto il reddito è posseduto da una sola persona (massima concentrazione).

Il coefficiente di Gini (G) è rappresentato graficamente dall'area tra la retta di equidistribuzione e la retta di perfetta disuguaglianza e può assumere valori compresi tra 0 (massima uguaglianza) e 1 (massima disuguaglianza) (Figura 14).

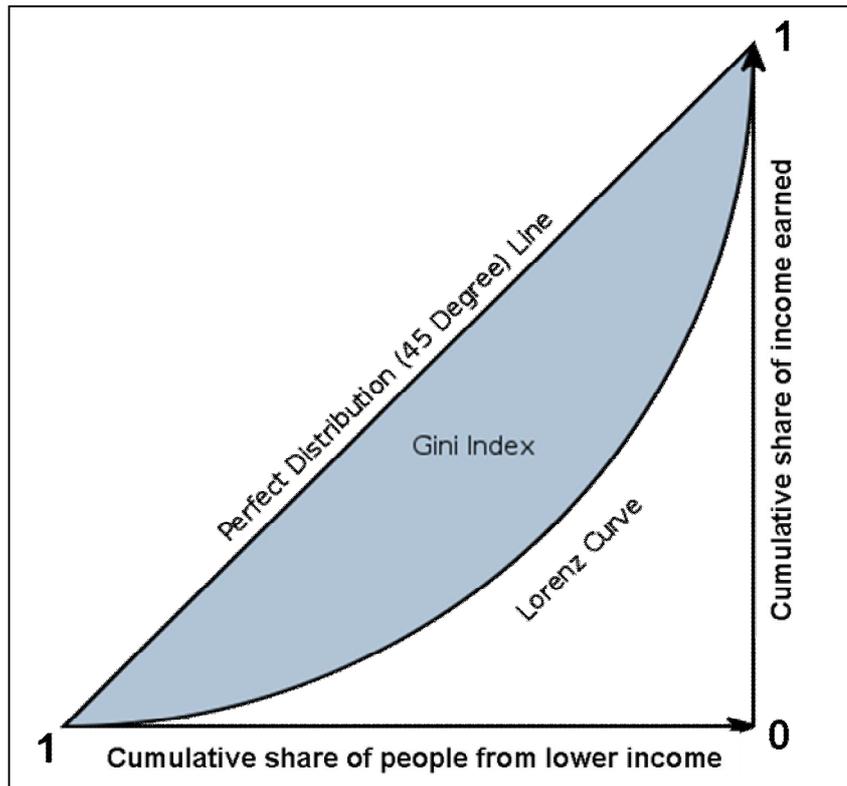


Figura 14. Rappresentazione grafica dell'Indice di Gini.

L'area può essere approssimata a dei trapezi e può essere calcolata mediante la formula:

$$G = 1 - \sum_{n=1}^N (X_n - X_{n-1})(Y_n + Y_{n-1})$$

Oltre che nel campo economico l'indice di disuguaglianza di Gini è stato utilizzato per comprendere la distribuzione delle frane occorse nelle classi dei diversi parametri ambientali e per selezionare, in questo modo, i fattori che più influenzano il verificarsi del fenomeno (Vergari et al., 2011).

4.1.6 Risultati e discussione

Il calcolo del coefficiente di Gini è stato applicato alle classi di rischio dei tre datasets analizzati, restituendo un valore rispettivamente di $G=0.45$ per il dataset1; $G=0.35$ per il dataset2 e $G=0.30$ per il dataset3.

Il dataset1, avendo il coefficiente di Gini più elevato, conferma che il rischio di incendio non è distribuito in modo uniforme e casuale, ma esistono aree con caratteristiche tali da essere selezionate positivamente dal fuoco con una probabilità di innesco da elevata a molto elevata, rispetto ad altre che invece vengono evitate dal fenomeno con una probabilità di innesco che varia da molto bassa a bassa.

In questo caso di studio, la metodologia sviluppata, partendo da informazioni riguardanti la topografia e l'uso e copertura del suolo, ha permesso di analizzare la selettività del fuoco individuando, mediante la segmentazione, classi omogenee di rischio di incendio in un territorio come quello del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano caratterizzato da un'elevata eterogeneità ambientale legata all'estensione del territorio, all'attività umana, alla variabilità litologica, geomorfologica e climatica.

In conclusione, una conoscenza dettagliata di come il fuoco preferisce alcune caratteristiche di paesaggio mentre evita altre è importante per capire il ruolo degli incendi nei processi ecologici.

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza lo stretto legame esistente tra la struttura del paesaggio, la presenza antropica e la propensione alla propagazione del fuoco.

Da un punto di vista applicativo, la metodologia proposta può essere utile per migliorare la gestione delle risorse sul territorio e per una corretta prevenzione del rischio di incendio, rappresentando la base per qualsiasi attività di gestione e controllo del fenomeno.

4.2 Analisi della selettività degli incendi in relazione ai cambiamenti di uso del suolo nella Regione Sardegna

L'uso del fuoco in Sardegna è testimoniato da una documentazione storica che ci consente di comprendere come il suo impiego come strumento culturale fosse comune, tanto da necessitare di essere regolamentato già nella raccolta di norme giuridiche chiamata "Carta de Logu" risalente all'incirca al IX - X sec. d.C. (Beccu, 2004).

Gli incendi in questo territorio sono favoriti da pratiche secolari che hanno sempre incoraggiato all'uso del fuoco per bonificare il territorio per usi agro-pastorali.

Infatti, il fuoco è uno strumento tradizionale di gestione, utilizzato da millenni sia per il disboscamento sia per numerose operazioni colturali.

La storicità del fenomeno degli incendi in Sardegna deve essere considerato come il risultato dell'azione combinata delle caratteristiche fisiche del territorio e dell'azione dell'uomo.

Le dinamiche socio-economiche in corso negli ultimi 50 anni hanno profondamente modificato i sistemi tradizionali di uso del suolo: i terreni coltivati stanno subendo un progressivo abbandono a causa delle migrazioni delle popolazioni montane verso le zone urbane, le pratiche selvicolturali associate alle economie tradizionali (raccolta di legna da ardere e foraggio) hanno mostrato una drastica riduzione, la gestione pastorale è diventata per la maggior parte sedentaria con l'eliminazione quasi completa della transumanza e del pascolo estensivo (Mazzoleni et al., 2004b).

Questi cambiamenti hanno determinato in molte aree una generale espansione della copertura arbustiva e boschiva alla quale si associa il contemporaneo aumento delle interfacce urbano-foresta determinando in questo modo nuove relazioni tra le variazioni di uso e copertura del suolo e la selettività degli incendi.

In questo caso di studio, prendendo in considerazione i cambiamenti di uso e copertura del suolo avvenuti in Sardegna nell'arco di tempo 1990-2006 dovuti all'abbandono dei terreni agricoli e dei pascoli, si vuole studiare il rischio di incendio, definito come la possibilità che un incendio, determinato dalla presenza e dall'attività di un agente scatenante, abbia inizio (FAO, 1986; NWCG, 2006).

4.2.1 Area di studio

Lineamenti geografici

La Regione Sardegna è situata al centro del bacino occidentale del Mediterraneo e con un'estensione di 23.821 km² costituisce la seconda isola italiana e dell'intero Mediterraneo (Figura 15).

Oltre l'80% del territorio è montuoso-collinare; i rilievi, caratterizzati spesso da versanti ripidi e scoscesi, non raggiungono elevate altitudini e non sono presenti vere e proprie catene montuose, ma massicci arrotondati, separati da altopiani e da pianure che dividono l'isola in settori con altitudine diversa.

I principali massicci montuosi sono il Gennargentu (Punta la Marmora m 1.834), Supramonte (Monte Corراسi m 1.463), Monte Limbara (Punta Balistreri m 1.362) e Monte Linas (Punta Perda de Sa Mesa m 1.236) (Bacchetta et al., 2009).

L'esame dei caratteri fisici dell'Isola consente di riconoscere l'esistenza di alcune grandi regioni geomorfologiche che hanno una notevole rilevanza anche dal punto di vista del paesaggio vegetale e storico-culturale (Mori, 1966).

L'altitudine media è di 338 m s.l.m., più del 13% del territorio regionale è caratterizzato da un'altimetria superiore ai 600 m ed è costituito prevalentemente da colline e altopiani rocciosi, chiamati "Giare" se basaltici o "Tonneri" se calcarei.

Tra gli altopiani più antichi, ricordiamo gli altopiani granitici del nuorese e del Buddusò, quelli calcarei dell'Anglona e del Logudoro, ed i pianori della Planaria e del Bosano. Questi ultimi costituiti da vulcaniti oligo-mioceniche risalenti a circa 18-20 milioni di anni fa. Di origine più recente, invece, sono gli altopiani basaltici (circa 4-5 milioni di anni fa) che caratterizzano la Sardegna centromeridionale.

Le zone pianeggianti sono il 18,5% e la pianura del Campidano, con i suoi 2350 km², è la più estesa occupando circa un decimo dell'intera isola e sviluppandosi per circa 110 km da Cagliari sino a nord della città di Oristano. Tale pianura è compresa tra i massicci del Gennargentu ad est ed i massicci dell'Iglesiente ad ovest, e comprende la piana della Nurra che si sviluppa tra il golfo dell'Asinara e la Rada di Alghero ad est della città di Sassari. La pianura del Sulcis e quella dal basso Flumendosa hanno una discreta estensione e infine vi sono altre pianure litoranee, un tempo ricoperte da paludi e ora bonificate o in corso di bonifica.

A causa della ridotta distanza tra le vette e la costa i corsi d'acqua dell'isola sono caratterizzati da un regime idrologico irregolare e torrentizio. La portata dei fiumi è legata agli eventi pluviometrici che si verificano durante l'arco dell'anno: nei mesi piovosi tardo-autunnali sono caratterizzati da piene rilevanti e durante la stagione estiva, quando le piogge sono più rare, da magre assai accentuate. I corsi d'acqua maggiori quali il Tirso, il Flumendosa, il Coghinas, il Cedrino, il Liscia, il Flumini Mannu e il fiume Temo presentano carattere di perennità anche se nei mesi estivi presentano deflussi ridotti e talvolta pressoché nulli a causa della costruzione degli sbarramenti. Il Tirso, che nasce in territorio di Buddusò e sfocia nel Golfo di Oristano, con i suoi 160 Km di lunghezza ed un bacino idrografico di 3375 km² è il corso d'acqua più importante

della Sardegna. Gli affluenti del Tirso sono numerosi: sulla sinistra idrografica, all'altezza del Lago Omodeo, sfocia il Fiume Taloro; nella parte settentrionale del corso del Tirso confluiscono il Rio Liscoi nella piana di Ottana ed il Rio Mannu nella valle del Goceano.

Gli altri due corsi d'acqua di rilevanza regionale sono: il Flumendosa, che nasce dal massiccio del Gennargentu e sfocia dopo 122 km presso la costa sudorientale dell'isola, ed il fiume Coghinas, che nasce dal gruppo montuoso del Marghine e sfocia lungo le coste settentrionali dell'isola. I numerosi laghi presenti sul territorio regionale sono tutti di origine artificiale ad eccezione del lago di Baratz, ubicato nella parte nord-occidentale, unico lago naturale della Sardegna.



Figura 15. Rappresentazione cartografica dell'area di studio: Regione Sardegna.

Lineamenti geologici

La varietà litologica della Sardegna si riflette sulla varietà delle forme del rilievo, passando dai paesaggi delle pianure alluvionali di origine tettonica (es. Campidano) ai paesaggi collinari impostati su sedimenti marini marnosi e arenacei (es. Marmilla), ai rilievi montuosi più o meno arrotondati impostati su rocce metamorfiche (es. Gerrei), ai rilievi granitici (es. Monti dei Sette Fratelli, Gallura, etc), agli edifici vulcanici (Monte Arci, Montiferru), agli altipiani lavici (es. Campeda), ai rilievi tabulari calcareo-dolomitici (es. Tacchi dell'Ogliastra) o ai paesaggi dei massicci carbonatici (Golfo di Orosei, Marganai, Monte Albo).

Nel territorio sardo sono rappresentate, in misura circa equivalente, rocce metamorfiche, magmatiche e sedimentarie (Carmignani et alii, 2001).

La struttura geologica della Sardegna è riconducibile ad un basamento costituito da rocce di età comprese tra il Cambriano (e forse il Precambriano) ed il Carbonifero inferiore, derivato da differenti eventi geologici e cicli orogenetici che ha subito deformazioni e metamorfismo di grado variabile durante l'orogenesi Ercinica.

Fino al Giurassico vive una fase di continentalità che la vede legata alla vicina Corsica e al continente europeo. Nel Paleozoico si sono formate le rocce più antiche: formazioni granitiche e sedimentarie con un'età compresa tra 500 e 250 milioni di anni (Ma) sono diffuse nella parte centro-orientale dell'isola.

Il "basamento sardo" è costituito dall'insieme di queste rocce, con deformazioni dovute a magmatismo e metamorfismo diffuso del medesimo periodo.

Tra 250 e 50 Ma si verifica l'Orogenesi Alpina che, pur non influenzando in maniera determinante sull'isola, determina marginalmente effetti visibili nella parte nord-orientale.

Tra 50 e 25 Ma avviene la separazione del blocco sardo-corso dal continente europeo: un movimento rotatorio in senso antiorario che si completa determinando l'attuale posizione delle isole.

La Fossa Sarda, un rift si è formata durante le ultime fasi di questa rotazione e costituisce una vasta depressione che attraversa l'Isola dal Golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari. Questo elemento strutturale viene progressivamente colmato da materiale magmatico derivato dall'attività tettonica di tipo distensivo e da materiale sedimentario. Le rocce sedimentarie sono prevalentemente marine rappresentate da argille, sabbie, marne e calcari associate a rocce vulcaniche.

Tra 5 e 2 Ma una nuova fossa tettonica, il Graben del Campidano, si forma tra il Golfo di Cagliari e il Golfo di Oristano. Questa struttura si crea in parziale sovrapposizione con la precedente Fossa Sarda e in questa nuova depressione incominciano ad accumularsi materiali detritici provenienti dallo smantellamento delle terre emerse attigue (Pracchi & Terrosu Asole, 1971).

Infine, nel Pleistocene i processi esogeni insieme ai sempre più diffusi cambiamenti dovuti all'attività antropica hanno agito sull'aspetto attuale dell'isola determinandone la fisiografia. Nel settore orientale, nei settori a Sud-Est e a Nord-Ovest la Sardegna risulta costituita da un basamento metamorfico antico (Paleozoico) principalmente granitico

talvolta ricoperto da rocce sedimentarie più recenti (Mesozoico) di tipo carbonatico e occasionali colate laviche di età riferibili al Plio-Quaternario.(Bacchetta et al., 2009).

La Fossa Sarda occupa la restante porzione occidentale e la sua presenza fa registrare un netto contrasto sia morfologico che strutturale.

La diversificata struttura geologica determina una chiara eterogeneità nei suoli dell'isola insieme alle differenti tipologie di vegetazioni presenti e alle attività antropiche che hanno profondamente alterato la copertura del territorio.

Aspetti climatici

Il clima della regione sarda è caratterizzato da una netta bistagionalità: durante il periodo estivo presenta una stagione caldo-arida che si alterna ad una temperata-umida che va dai mesi autunnali a quelli primaverili (Arrigoni, 1968; Bacchetta et al., 2009). La stagione caldo-arida aumenta di intensità e durata procedendo dal Nord al Sud dell'isola e dalle montagne al mare.

La stagione freddo-umida subisce variazioni di intensità e durata con l'altitudine, ma in senso inverso (Arrigoni, 1968).

Le piogge sono più abbondanti nel versante occidentale dell'isola e si registra un incremento a parità di altitudine procedendo verso Nord.

Le precipitazioni variano nel tempo e nello spazio, con un regime caratterizzato comunque da un massimo invernale al quale si giunge dopo abbondanti precipitazioni autunnali (Arrigoni, 1968).

In particolare, le precipitazioni mensili seguono un andamento stagionale di tipo marcatamente mediterraneo: circa l'80% delle precipitazioni annuali si registra da ottobre ad aprile con il valore medio stagionale di 636 mm (Delitala et al., 2000); mentre il minimo si registra nei mesi estivi con un picco a luglio (Figura 16).

Sulla base dell'andamento delle precipitazioni annuali è possibile individuare quattro regioni caratterizzate da differenti valori pluviometrici: le aree a ridosso del Gennargentu (Barbagia, Ogliastra e zone limitrofe), la parte centrale della Gallura (a ridosso del Limbara), l'altopiano di Campeda e infine l'Iglesiente.

Le zone più aride sono la Nurra e il Campidano e una terza area localizzabile nella fascia centrale del Nord-Sardegna (attorno al bacino del Coghinas).

In alcune fasce della parte meridionale dell'isola si registrano valori inferiori ai 500 mm l'anno, mentre le precipitazioni variano da 700 a 900 mm l'anno nelle aree collinari interne. Tali valori vengono superati solo in corrispondenza delle cime più elevate, nelle aree montane interne.

La latitudine, le condizioni di insularità e l'orografia influenzano la temperatura media annua: i valori medi sono compresi tra gli 11°C delle aree interne dell'isola e i 17°C delle aree costiere, con minimi a gennaio-febbraio e massimi a luglio-agosto (Arrigoni, 1968) (Figura 17). L'influenza del mare ha un ruolo dominante nella stagione invernale facendo emergere una maggiore continentalità delle zone interne e determinando una stabilizzazione dei fenomeni estremi nella regione costiera. Nonostante questo fattore,

l'andamento delle temperature riflette l'altitudine, con una diminuzione annuale media di $0,57^{\circ}\text{C}$ ogni 100 metri di quota (Bacchetta et al., 2009). Nella stagione estiva, invece, domina l'effetto stabilizzante delle aree anticicloniche e si evidenzia un gradiente nord-sud nei valori di temperatura.

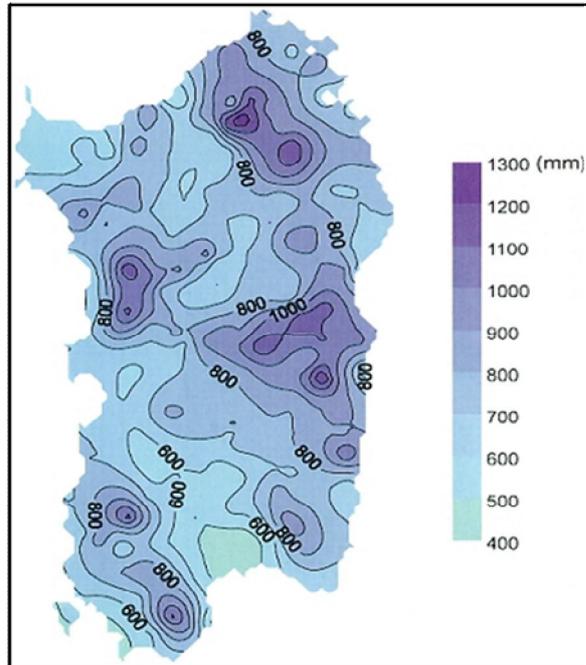


Figura 16. Andamento medio annuo delle precipitazioni (Chessa & Delitala, 1997).

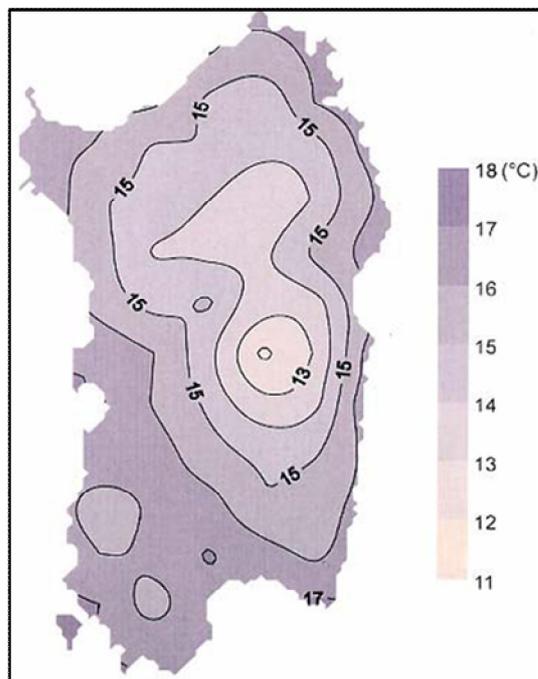


Figura 17. Andamento medio annuo delle temperature (Chessa & Delitala, 1997).

Aspetti vegetazionali

La posizione geografica, la complessità paleogeografica e paleoclimatica, l'eterogeneità degli aspetti bioclimatici e litomorfologici spiegano l'elevata biodiversità specifica della Sardegna che fa dell'Isola uno dei 25 *hotspots* della biodiversità globale (Medail & Quezel, 1999; Myers *et al.*, 2000).

Secondo la Check-list della Flora Vascolare Italiana (Conti *et al.*, 2005) la Sardegna ha una flora composta da 2407 entità tassonomiche.

Conti *et al.*, (1997) indicano 291 entità della flora sarda nella Lista Rossa delle piante d'Italia: 5 estinte in natura, 39 gravemente minacciate, 41 minacciate, 69 vulnerabili, 119 a rischio minore, 17 dati insufficienti e 1 non valutata (categorie IUCN).

L'elemento corologico dominante è lo stenomediterraneo (29%), seguito dall'euroasiatico (17%) e dall'eurimediterraneo (16%) (Pignatti, 1994).

Secondo Arrigoni *et al.* (1977-1991), le specie endemiche sono 202 di cui circa 60 in comune con la Corsica. Conti *et al.* (2005) hanno indicato 243 taxa endemici (pari al 10,1% della Flora Sarda), mentre Bacchetta *et al.* (2005) hanno censito per l'Isola 347 endemiti, includendo anche gli endemiti sardo-corsi, non considerati tali nella Check-list.

La vegetazione naturale è rappresentata dalla dominanza di sclerofille sempreverdi caratterizzate dalla sclerofillia, un adattamento che limita la traspirazione proteggendo la foglia e allo stesso tempo riducendo l'efficienza fotosintetica e la capacità di crescita (Bussotti & Schirone, 2001).

La flora sarda appartiene alla regione biogeografica mediterranea (Rivas-Martínez, 2004), alla subregione mediterranea occidentale ed alla provincia sardo-corsa (Arrigoni, 1983).

La presenza di numerose specie endemiche consente di individuare una provincia biogeografica sarda e al suo interno una ripartizione dell'isola in settori che sono stati solo in parte definiti sulla base della distribuzione degli endemismi e degli elementi paleogeografici, geomorfologici, geolitologici, geopedologici, climatici, bioclimatici, ecosistemici e vegetazionali (Arrigoni, 1983).

Le regioni lito-geomorfologiche svolgono un ruolo importante anche dal punto di vista del paesaggio vegetale e storico-culturale (Mori, 1966).

Il settore Nord-orientale dell'isola è caratterizzato da rilievi granitici e il principale massiccio montuoso è il Limbara. Nelle zone pianeggianti o leggermente acclivi dominano le sugherete e la cui diffusione è stata incrementata dall'uomo attraverso il taglio selettivo e gli incendi.

La sughera è presente in formazioni pure o miste con leccio o querce caducifoglie, aperte e luminose, con una flora molto ricca che nello strato arbustivo è caratterizzato da *Cytisus villosus* Pourret, *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L., *Myrtus communis* L., *Lavandula stoechas* L., *Teline monspessulana* (L.) Koch e *Cistus* spp. pl.

Le leccete sono presenti su tutte le tipologie geologiche dell'isola, in condizioni bioclimatiche che vanno dal termomediterraneo superiore sino al supramediterraneo e

supratemperato inferiore (Rivas-Martínez, 2004) e man mano che si sale di quota, si arricchiscono di elementi mesofili: *Ilex aquifolium* L., *Sanicula europaea* L. e *Polystichum setiferum* (Forsskal) Woynar.

La regione ad Est del Nuorese (Baronie), è caratterizzata sui substrati metamorfici dalle leccete con *Erica arborea* L. e *Galium scabrum* Presl., mentre sui calcari sono presenti leccete con *Rhamnus alaternus* L. e *Acer monspessulanum* L.. I settori scistosi pianeggianti sono occupati da sugherete, mentre i settori collinari alle quote più basse da boscaglie ad *Olea europaea* L. var. *sylvestris* Brot.

Il settore montuoso centrale è formato da massicci disposti in senso longitudinale e ospita il gruppo orografico più ampio ed elevato dell'isola che si estende nella regione della Barbagia. Il massiccio scistoso principale è quello del Gennargentu e le vette più alte sono: Punta La Marmora 1834 m s.l.m. e Bruncu Spina 1829 m s.l.m.. Alle quote più elevate di questo massiccio montuoso si incontrano microboschi con *Juniperus nana* Willd., *Berberis aetnensis* C. Presl., *Prunus prostrata* Labill., *Daphne oleoides* Schreb. e garighe con endemismi come *Genista pichi-sermolliana* Vals., *Genista salzmanni* DC., *Thymus catharinae* Camarda, *Astragalus genargenteus* Moris, *Ruta corsica* DC. e *Armeria sardoa* Sprengel ssp. *genargentea* Arrigoni (Arrigoni, 1986).

Le querce caducifoglie dominano le aree montane e submontane e sono caratterizzate dalla presenza delle specie endemiche *Glechoma sardoa* Bég. e *Paeonia morisii* Cesca, Bernardo et Passalacqua.

A quote più basse sono presenti mesoboschi di leccio, con *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L. e talvolta *Fraxinus ornus* L. e *Ostrya carpinifolia* Scop..

Nei settori più occidentali del Gennargentu, nelle aree più elevate dell'Ogliastra e nei territori della Barbagia di Belvì si trovano boschi di castagno cedui che si alternano a boschi di querce caducifoglie e *Corylus avellana* L. (Arrigoni *et al.*, 1996). I settori calcarei mesozoici del Supramonte sono caratterizzati da numerosi endemismi: *Lactuca longidentata* Moris, *Limonium morisianum* Arrigoni, *Ptychotis sardoa* Pign. et Metlesics e *Rhamnus persicifolius* Moris (Arrigoni & Di Tommaso, 1991). Il paesaggio vegetale è caratterizzato da tre diversi tipi di leccete calcicole che si susseguono nei piani fitoclimatici termo-, meso- e supramediterraneo (Arrigoni *et al.*, 1990).

La regione del Gerrei è tabulare, di media altitudine ed è collocata tra il basso Flumendosa ed il massiccio dei Sette Fratelli (1023 m s.l.m.). In questo settore vi sono aree con scarse precipitazioni per effetto della posizione a nord, ovest e sud dei sistemi montuosi. I boschi e le boscaglie termoxerofile di olivastro e filliree, i ginepreti edafoxerofili a *Juniperus oxycedrus* L. dominano queste aree mentre secondariamente si riscontrano boschi di leccio e formazioni edafogrofile costituite da oleandreti e, in zone limitate, ontaneti e saliceti a *Salix purpurea* L.

Le aree montuose più elevate sono quelle del massiccio del Monte Linas nell'Iglesiente e quelle di Is Caravius (1113 m) e Monte Lattias (1086 m) nella parte centrosettentrionale del Sulcis dove dominano dal livello del mare sino alle vette le formazioni climatofile a leccio.

Nelle zone più elevate ed oceaniche dominano *Ilex aquifolium* L. e *Acer monspessulanum* L. In funzione del chimismo delle rocce e delle condizioni

bioclimatiche si ritrovano ontaneti, saliceti, oleandreti e viticeti sulle litologie granitiche e metamorfiche; pioppeti, saliceti a *Salix alba* L., frassineti e ulmeti su rocce carbonatiche e nelle aree planiziali delle zone nord-orientali del Sulcis e della piana del Cixerri.

I ginepreti a *Juniperus turbinata* Guss. e *Juniperus oxycedrus* L. costituiscono le formazioni edafoxerofile. I sistemi dunali costieri sono coperti da boscaglie a ginepro coccolone, *Quercus calliprinos* Webb. e, nell'area di Fluminimaggiore, da pinete a *Pinus pinea* L.

Le tassinete con carattere relittuale sono presenti nei canali di Longuvresu (Pula) e Longufresu (Uta) nel Sulcis e quelle di Su Canali Mau a Gonnosfanadiga (Bacchetta *et al.*, 2005).

A Nord dell'ampia depressione del Campidano il domina Montiferru (1050 m s.l.m.), edificio vulcanico riolitico Plio-Pleistocenico che si prolunga nei vasti tavolati basaltici di Campeda, della Planargia e di Abbasanta. Le superfici tabulari di queste aree sono occupate da sugherete mesofile con *Luzula forsteri* (Sm.) DC., *Viola alba* Besser ssp. *dehnhardtii* (Ten.) W. Becker, *Brachypodium sylvaticum* (Hudson) Beauv. e querceti con *Malus dasycphylla* Borkh., *Teucrium scorodonia* L., *Ornithogalum pyrenaicum* L.. I versanti riolitici del Montiferru sono caratterizzati da tre tipi di lecceta in rapporto a tre diversi piani fitoclimatici. Ampie sugherete si trovano procedendo verso nord nei settori del Logudoro, Mejlogu e Planargia, su tavolati vulcanici Oligo-Miocenici, prevalentemente riolitici e andesitici. L'estremità nord-occidentale dell'isola è occupata dalla Nurra e sui substrati metamorfici si sviluppa la vegetazione a *Juniperus turbinata* Guss. con *Euphorbia characias* L., *Pistacia lentiscus* L. e *Rubia peregrina* L.; mentre sui substrati calcarei dominano i ginepreti con *Chamaerops humilis* L. Nella cintura costiera prossima alla falesia si verifica il contatto con la vegetazione di gariga primaria a *Centaurea horrida* Badarò. Ad ovest della Nurra si estendono i substrati calcarei e marnosi Miocenici del Sassarese e del Logudoro e i tavolati, incisi dal reticolo idrografico, sono le morfologie dominanti. Sui versanti settentrionali, su affioramenti marnosi o su suoli profondi di colluvio dominano boschi misti di leccio con querce caducifoglie, *Fraxinus ornus* L., *Viburnus tinus* L. e *Spartium junceum* L.. Il paesaggio vegetale della catena del Marghine-Goceano è dominato dalle querce caducifoglie con *Acer monspessulanum* L., *Glechoma sardoa* Bég. e *Paeonia morisii* Cesca, Bernardo et Passalacqua. Nelle forre e negli impluvi sono presenti formazioni relittuali quasi pure a *Taxus baccata* L. e *Ilex aquifolium* L..

Nell'area dell'Anglona, costituita da un insieme di tavolati trachitici e trachiandesitici, depressioni marnose, larghe valli e spuntoni vulcanici si alternano formazioni boschive calcicole dominate da *Quercus ilex* L. con querce caducifoglie, *Fraxinus ornus* L., *Viburnus tinus* L. e *Spartium junceum* L., e acidofile costituite da sugherete.

Nei settori collinari prossimi alla fascia costiera sono presenti formazioni a *Olea europaea* L. var. *sylvestris* Brot. Sulle quali ha avuto un forte impatto l'attività agropastorale. Le specie tipiche di questa fascia sono *Quercus calliprinos* Webb., *Ceratonia siliqua* L., *Pistacia lentiscus* L., *Rhamnus alaternus* L., *Phillyrea angustifolia* L., *Calicotome villosa* Poiret et Link e *Asparagus albus* L.

La fascia costiera è caratterizzata dalla presenza di elementi termofili come *Juniperus turbinata* Guss., *Chamaerops humilis* L., *Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Mill. ed *Euphorbia dendroides* L., che costituiscono boscaglie e macchie seriali; le pinete sono tutte concentrate 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 (Bacchetta *et al.*, 2005).

Il paesaggio delle dune costiere è dominato da *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* (Sibth et Sm.) Ball, che caratterizza le boscaglie delle dune stabilizzate; sulle dune grigie dominano le camefite *Crucianella maritima* L., *Armeria pungens* (Link) Hoffmgg. et Link ed *Ephedra distachya* L., mentre le geofite *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. e *Agropyron junceum* (L.) Beauv., con l'endemica *Silene corsica* DC., caratterizzano le dune bianche ed embrionali.

I pioppeti e i saliceti a *Salix alba* L. prevalgono nelle aree carbonatiche e dove le acque divengono più eutrofiche; boschi e boscaglie planiziali a *Populus alba* L., *Fraxinus oxycarpa* Bieb. e *Ulmus minor* Mill. si ritrovano nelle aree impaludate della parte meridionale dell'isola e infine lungo i corsi d'acqua a regime torrentizio sono presenti boscaglie e macchie a *Nerium oleander* L., *Vitex agnus-castus* L. e *Tamarix* L. spp. pl.

4.2.2 Il database degli incendi nella Regione Sardegna

In questo studio sono stati utilizzati i dati disponibili per la regione Sardegna relativi a tutti gli incendi registrati dal 2001 al 2010 da parte del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione.

Per ogni incendio, il database contiene informazioni relative alla data dell'evento, alle coordinate geografiche del punto d'innescò nella proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM- datum WGS84), alla stima della superficie bruciata (espressa in ettari) rilevata da misurazioni in campo.

Nello specifico, in base ai dati disponibili nel periodo di tempo considerato (2001-2010), il numero complessivo degli eventi verificatesi in Sardegna è di 28493.

Il fenomeno degli incendi in Sardegna dal punto di vista del numero degli eventi all'anno si è mantenuto sostanzialmente invariato, mantenendo costante l'allarme per il rischio di incendi in questa regione. Gli anni con un numero maggiore di eventi sono il 2001, il 2007 e il 2010 rispettivamente con 3415, 3310 e 3650 eventi registrati, mentre l'anno meno interessato dagli incendi risulta essere il 2006 con 2195 eventi (Figura 18).

L'analisi della distribuzione mensile degli incendi (Figura 19) mostra che agosto, con 64367 punti di innescò, è il mese con la concentrazione più elevata di eventi. Analizzando la superficie percorsa dagli incendi nel periodo 2001-2010 emerge che il 2007 è l'anno con l'estensione maggiore di area bruciata con 34301 ettari (Figura 20) mentre il mese con la più elevata superficie incendiata è luglio (Figura 21).

Lo sviluppo e la propagazione degli incendi sono associate a cause bio-climatiche che possono favorire l'innescò e la propagazione del fuoco, aumentando la possibilità che i focolai si sviluppino in incendi. In particolare, essi vengono favoriti soprattutto dalle

temperature elevate, dal forte vento e dalla carenza idrica sia del suolo che della vegetazione.

In Sardegna queste condizioni si verificano principalmente tra maggio e ottobre; in particolar modo i mesi di luglio e agosto sono quelli caratterizzati da una maggiore aridità climatica ed è proprio in questo periodo che si sviluppano il maggior numero di incendi.

Pertanto l'inizio della stagione degli incendi si verifica tra maggio e giugno, quando si osserva un brusco aumento del numero dei focolai, e la fine della stagione, meno marcata, è caratterizzata da una lenta decrescita tra agosto e novembre (Locci & Delitala, 2004).

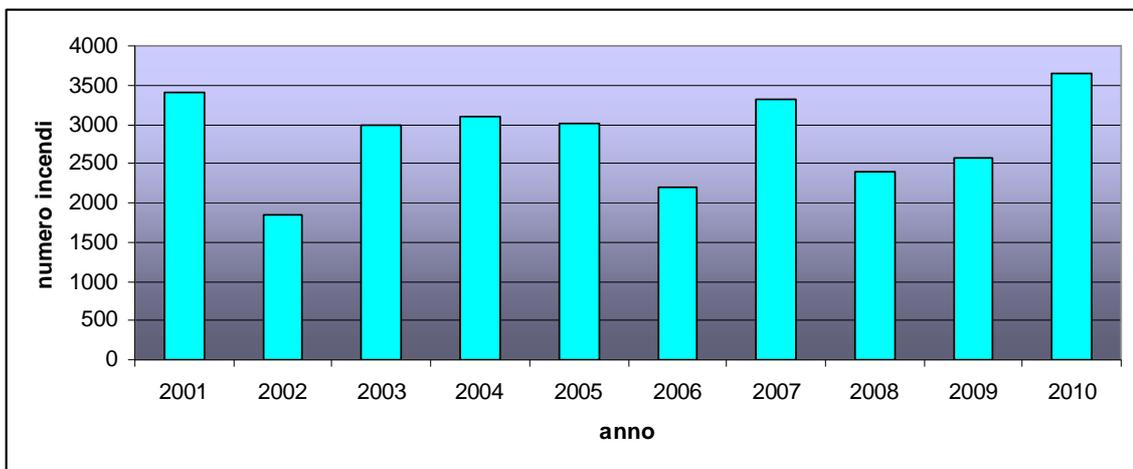


Figura 18. Numero di incendi per anno nella Regione Sardegna nel periodo 2001-2010

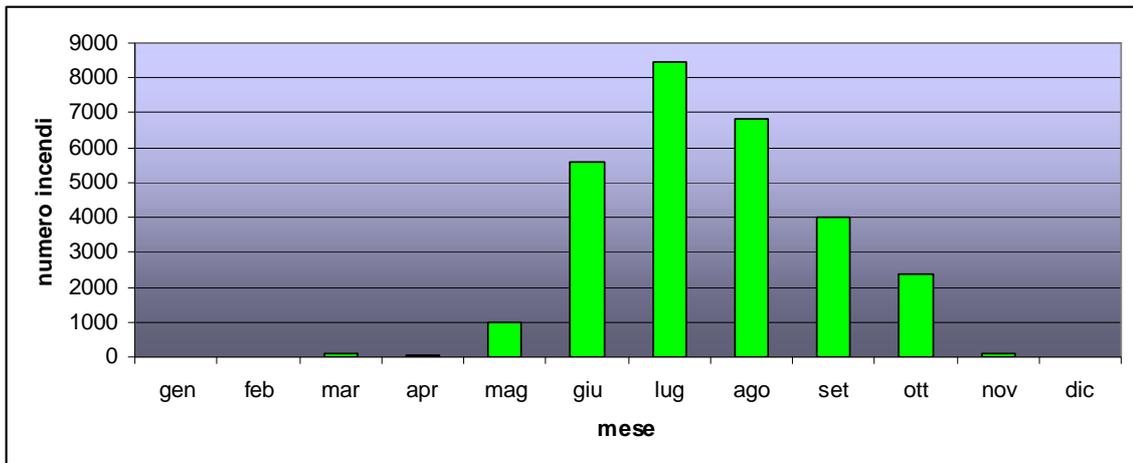


Figura 19. Numero di incendi per mese nella Regione Sardegna nel periodo 2001-2010

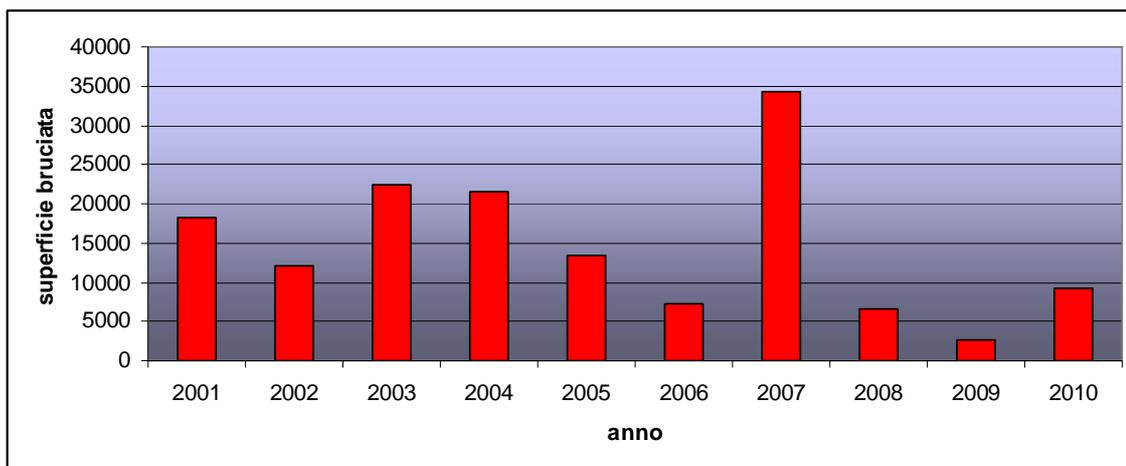


Figura 20. Superficie bruciata (in ettari) per anno nella Regione Sardegna nel periodo 2001-2010

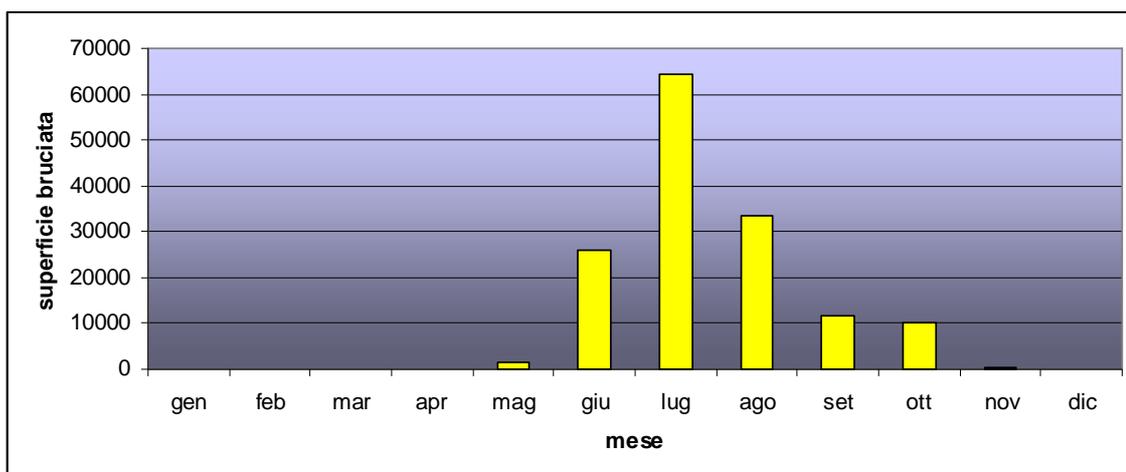


Figura 21. Superficie bruciata (in ettari) per mese nella Regione Sardegna nel periodo 2001-2010

4.2.3 La relazione degli incendi con l'uso del suolo: Classificazione CORINE Land Cover

Diversi autori hanno dimostrato che nell'area mediterranea l'uso del suolo e la copertura del suolo (LULC) rappresentano fattori determinanti per l'innescò degli incendi (Nunes et al., 2005; Bajocco and Ricotta, 2008; Catry et al., 2009).

Questo accade sia perché il fuoco viene utilizzato come pratica tradizionale di gestione del territorio (creare nuovi pascoli o bruciare le stoppie) (Carmona-Moreno et al., 2005; Moreira et al., 2009) sia perché le differenti tipologie di LULC sono sfruttate in modo diverso dall'uomo determinando in questo modo livelli differenti di rischio di incendio (Bajocco et al., 2011).

Da un punto di vista biologico i fattori più importanti che influenzano l'innescò e la propagazione dell'incendio sono la disponibilità e l'infiammabilità del combustibile, mentre il diverso comportamento del fuoco è legato alle diverse tipologie di LULC, che sono le uniche variabili del paesaggio legate al fuoco che possono essere controllate (Moreira et al., 2011).

Di conseguenza comprendere il ruolo dei cambiamenti di LULC nell'influenzare il comportamento del fuoco è diventato uno dei principali argomenti di studio per definire le linee guida della gestione del paesaggio e le politiche volte a ridurre il rischio e il pericolo di incendio.

In uno studio sulle interazioni tra paesaggio e incendi nell'Europa meridionale, Moreira et al., (2011) sostengono che i cambiamenti di LULC avvenuti negli ultimi decenni nell'Europa mediterranea hanno determinato in generale un aumento del rischio di incendio dovuto principalmente all'espansione delle coperture arboree e arbustive in quelle aree che in precedenza erano ricoperte da carichi meno elevati di combustibile, come ad esempio i terreni agricoli o i pascoli.

Nel bacino del Mediterraneo la maggior parte degli incendi è di origine antropica e aspetti come le condizioni socio-economiche, la gestione e l'uso del territorio (es. pratiche agro-pastorali) e la distribuzione delle attività antropiche all'interfaccia rurale-foresta devono essere considerati determinanti per il passaggio del fuoco (Botelho et al., 1998; Diaz-Delgado et al., 2004).

In molti ecosistemi forestali il regime degli incendi è controllato dagli insediamenti umani e dalla gestione del territorio da parte dell'uomo (es. Veblen *et al.*, 1999; Guyette *et al.*, 2002; Bergeron *et al.*, 2004; Hessburg *et al.*, 2005), e varia nei diversi periodi storici in funzione dei cambiamenti che si hanno nei livelli di densità di popolazione e nei comportamenti culturali (Yang *et al.*, 2007).

Il fuoco viene avvertito come un "problema ecologico" di enorme portata (Mazzoleni *et al.*, 2001) a causa del progressivo abbandono delle campagne e delle pratiche agricole tradizionali che si è verificato in Europa a partire dalla seconda metà del secolo scorso e che sta trasformando i paesaggi rurali tradizionali in fisionomie vegetazionali arbustive e forestali non-gestite e particolarmente inclini al passaggio di incendi estesi e distruttivi (Moreira *et al.*, 2001; Mazzoleni & Esposito, 2004b).

Nella regione mediterranea il pattern di distribuzione spaziale degli incendi non è casuale, bensì tende ad essere fortemente correlato alle differenti tipologie di copertura del suolo ed al carico di combustibile ad esse associato (Turner & Romme, 1994; Catry et al., 2009; Romero-Calcerrada et al., 2008; Loepfe et al., 2010).

La configurazione spaziale delle componenti strutturali e funzionali del paesaggio controlla in larga misura la probabilità di innesco e di propagazione degli incendi (Burgan et al., 1998), e pertanto differenti combinazioni di regime degli incendi e tipologie di paesaggio determineranno differenti pattern di incidenza del fuoco (Moreira et al., 2001).

In questa tesi per analizzare la distribuzione degli incendi in relazione ai cambiamenti di uso e copertura del suolo verificatisi dal 1990 al 2006 sono state utilizzate le carte di uso del suolo realizzate nell'ambito del progetto CORINE Land Cover (CLC) rispettivamente dell'anno 1990 e 2006 (EEA, 2002).

La carta di uso del suolo è un tipo di classificazione territoriale che tiene conto sia della copertura del suolo che dell'attività antropica. Tale classificazione, riassumendo le principali variabili socio-economiche che rispecchiano l'uso del suolo (Botelho *et al.*, 1998; Prestemon *et al.*, 2002; Diàz Delgado *et al.*, 2004; Mercer & Prestemon, 2005), può rappresentare un'utile chiave di lettura per studiare le dinamiche del fuoco.

La carta CLC è ottenuta dalla fotointerpretazione di immagini telerilevate Landsat TM ed è distribuita in Italia dall'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) (<http://www.clc2000.sinanet.apat.it>). Essa è redatta secondo la proiezione geografica UTM (*datum* WGS84); la scala di realizzazione è 1:100000 e l'unità areale minima cartografata è di 25 ha.

La legenda è articolata in 44 voci suddivise in tre unità gerarchiche; l'unità gerarchica principale è formata da 5 macrotipologie: territori modellati artificialmente, territori agricoli, territori boscati e ambienti semi-naturali, zone umide, corpi idrici.

In questo studio è stata operata, per semplificazione, una riaggregazione delle 44 categorie di uso del suolo in 7 macroclassi ritenute adatte a rappresentare la relazione incendi/cambiamenti di uso del suolo in funzione della transizione da terreni agricoli e pascoli a cespuglieti e foreste con un aumento potenziale di biomassa e quindi di combustibile (Figura 22):

1. Territori modellati artificialmente (1), comprende tutti i territori a forte antropizzazione (zone urbanizzate, zone industriali, commerciali e reti di comunicazione, zone estrattive).
2. Territori agricoli (2), comprende: le superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione; le colture permanenti non soggette a rotazione che forniscono più raccolti e che occupano il terreno per un lungo periodo prima dello scasso e della ripiantatura; i prati stabili ovvero superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee, non soggette a rotazione; le zone agricole eterogenee e, infine, le aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota.

3. Boschi di latifoglie (3.1.1) comprendente formazioni vegetali costituite da alberi ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali a latifoglie.
4. Boschi di conifere (3.1.2) ovvero formazioni vegetali costituite principalmente da alberi ma anche cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali conifere.
5. Boschi misti (3.1.3) comprende le formazioni vegetali costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli ed arbusti, dove non dominano né le latifoglie, né le conifere.
6. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea (3.2) comprendente le brughiere e cespuglieti ovvero formazioni vegetali basse e chiuse, composte principalmente di cespugli, arbusti e piante erbacee; le aree a vegetazione sclerofilla ovvero le macchie (associazioni vegetali dense composte da numerose specie arbustive miste su terreni silicei acidi in ambiente mediterraneo) e le garighe (associazioni cespugliose discontinue delle piattaforme calcaree mediterranee); le aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione, ovvero vegetazione arbustiva o erbacea con alberi sparsi che possono derivare dalla degradazione della foresta o da una rinnovazione della stessa ricolonizzazione di aree non forestali.
7. Zone aperte con vegetazione rada o assente (3.3) comprende le spiagge, dune, sabbie di ambienti litorali e continentali e ne fanno parte anche i letti sassosi dei corsi d'acqua a regime torrentizio; le rocce nude, falesie, affioramenti; aree con vegetazione rada.

I codici riportati in parentesi fanno riferimento ai diversi livelli gerarchici CORINE Land Cover: la classe 1 e la classe 2 sono rappresentate al primo livello CORINE; le classi 3.2, 3.3 al secondo livello; le classi 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3 al terzo livello gerarchico. Le classi relative a Zone umide (4) e Corpi idrici (5) sono state escluse dalle analisi, in quanto considerate non infiammabili.

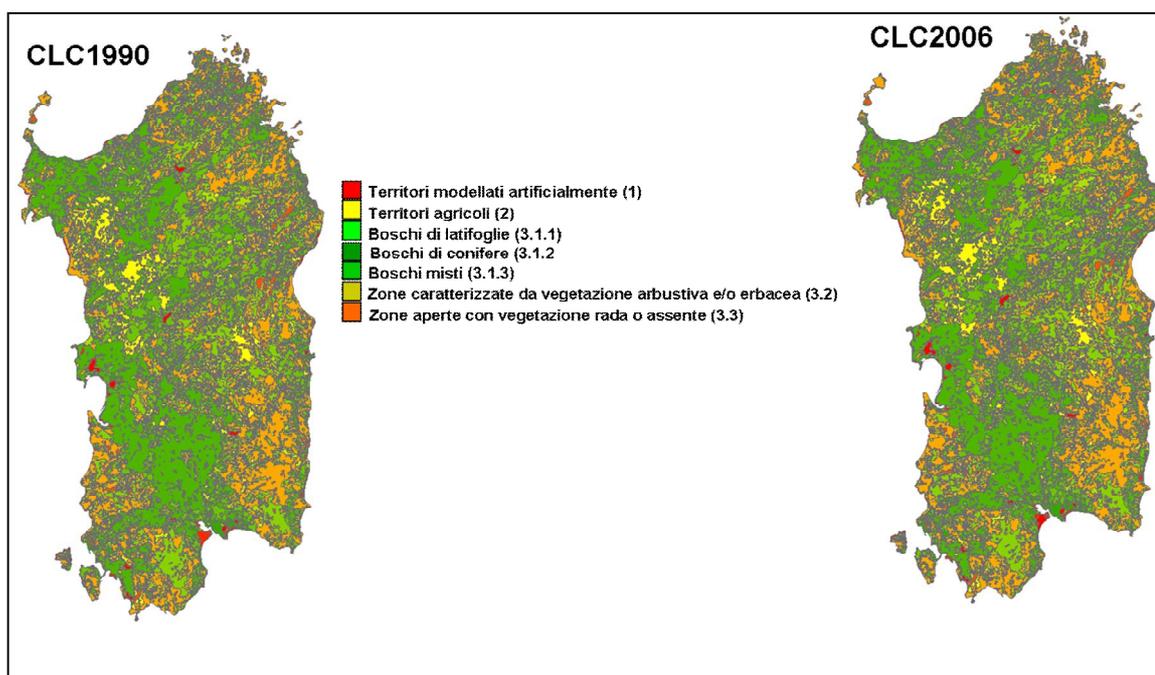


Figura 22. Carta di Uso del Suolo (CLC) della Regione Sardegna per l'anno 1990 (CLC90) e l'anno 2006 (CLC2006) riaggregata in 7 macroclassi: 1- Territori modellati artificialmente, 2- Territori agricoli, 3.1.1- Boschi di latifoglie, 3.1.2- Boschi di conifere, 3.1.3- Boschi misti, 3.2- Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea, 3.3- Zone aperte con vegetazione rada o assente.

4.2.4 Metodi

Creazione mappa del cambiamento del paesaggio sardo

Tramite elaborazioni in ambiente GIS le nuove mappe CLC1990 e CLC2006 sono state incrociate generando una mappa del cambiamento del paesaggio sardo contenente le seguenti categorie (Figura 23):

- 1) ripresa della vegetazione, ovvero tutti i poligoni che implicano una transizione dai terreni agricoli e pascoli verso i cespuglieti e le foreste con un aumento di biomassa;
- 2) altro, tutte quelle classi che non sono interessate da tale processo.

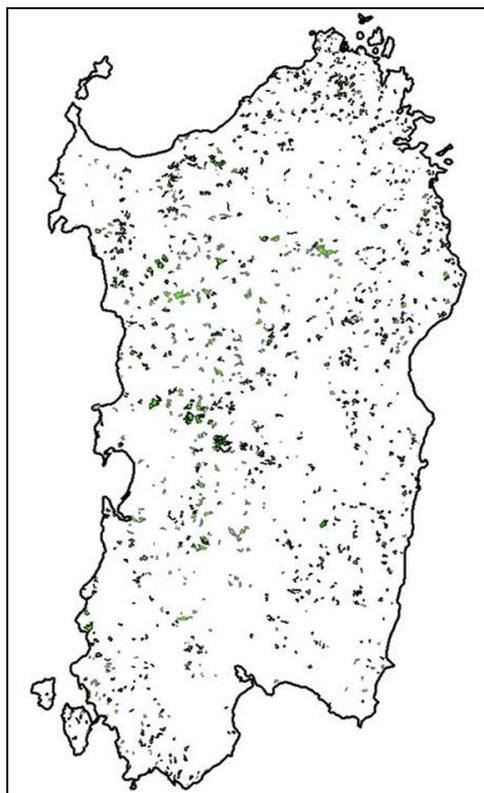


Figura 23. Carta del cambiamento di uso del suolo della Regione Sardegna ottenuta incrociando le carte CLC1990 e CLC2006.

Dal database degli incendi del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna sono state ricavate le coordinate geografiche dei punti di innesco dei 28493 incendi che si sono verificati nell'area di studio nel periodo 2001-2010.

Successivamente lo strato informativo relativo a tutti gli incendi avvenuti in Sardegna è stato sovrapposto alla mappa di cambiamento del paesaggio ed è stato calcolato all'interno dei poligoni che presentavano un aumento di biomassa e quindi di combustibile il numero di incendi (Figura 24) e l'estensione della superficie bruciata.

Le stesse analisi, inoltre, sono state condotte su un subset di 14116 punti di innesco che ricadevano nei poligoni di ripresa della vegetazione nell'intervallo di tempo 2006-2010.

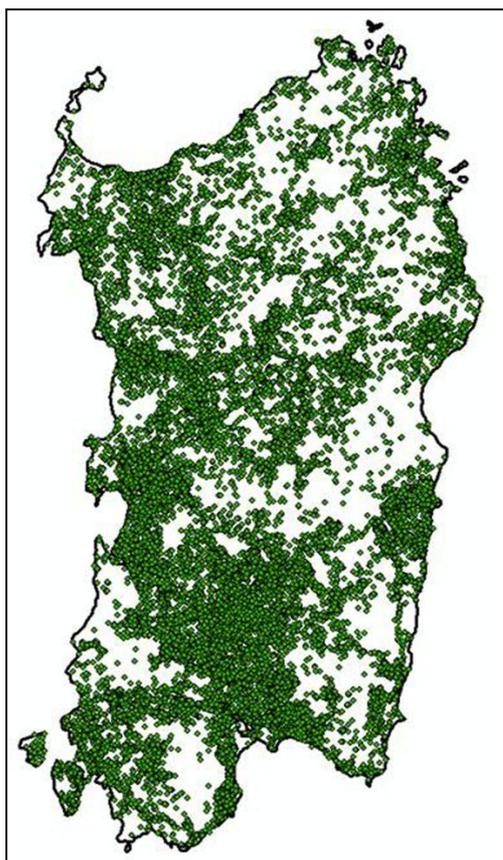


Figura 24. Sovrapposizione degli incendi registrati dal 2001 al 2010 alla carta del cambiamento di uso del suolo della Regione Sardegna

Analisi statistica della selettività degli incendi in relazione ai cambiamenti di uso del suolo

Per determinare se il numero degli incendi occorsi nelle classi di cambiamento di uso del suolo è diverso dal caso, è stato usato il test di randomizzazione (vedi paragrafo 4.1.3) sviluppato da Bajocco e Ricotta (2008) sia per il periodo 2001-2010 sia per il periodo 2006-2010.

I 28493 incendi avvenuti in Sardegna nel periodo 2001-2010 sono stati riassegnati ai poligoni di cambiamento di uso del suolo casualmente, in maniera tale che la probabilità di associazione di ogni evento ad una certa classe di cambiamento sia mantenuta proporzionale all'estensione relativa di quella classe.

L'ipotesi nulla è che gli incendi si verificano in maniera casuale nel territorio così che per ogni classe di cambiamento di uso del suolo non ci sia differenza tra l'abbondanza

relativa degli incendi che vi ricadono (uso della risorsa) e l'estensione relativa della classe stessa nel paesaggio esaminato (disponibilità della risorsa).

Il numero reale degli incendi avvenuti in ciascuna classe è stato quindi confrontato con i risultati di 999 simulazioni casuali, ognuna basata su 28493 incendi. Per ogni poligono di cambiamento di uso del suolo, sono stati calcolati i valori di significatività p (per un test a due code) come la proporzione dei valori randomizzati che risultano inferiori o uguali (superiori o uguali) rispetto ai valori reali.

Successivamente, la stessa analisi è stata eseguita per verificare se l'estensione della superficie bruciata nelle classi di cambiamento di uso del suolo è significativamente diversa rispetto al caso. È stata utilizzata sia la distribuzione logaritmica che i valori assoluti della superficie incendiata. In particolare, nel caso della distribuzione logaritmica sono stati considerati incendi con dimensione minima di 10 m² in modo tale che la minima estensione di superficie bruciata sia pari a 1.

4.2.5 Risultati e discussione

Le analisi sulla selettività del fuoco nei confronti delle diverse classi di cambiamento di uso e copertura del suolo in Sardegna evidenziano che in entrambi i periodi considerati, 2001-2010 e 2006-2010, il numero effettivo dei punti di innesco nei poligoni nei quali è avvenuta una transizione è stato significativamente inferiore rispetto a quanto atteso sulla base dell'ipotesi nulla.

Per entrambi i datasets analizzati il valore di p è risultato inferiore a 0.001.

Dai risultati emerge che al cambiamento di copertura del suolo dovuto all'abbandono delle campagne è associato una diminuzione statisticamente significativa della probabilità di innesco degli incendi.

Gli stessi risultati si ottengono se si prendono in considerazione solo i poligoni nei quali si verifica una ripresa della vegetazione; tali poligoni sono ottenuti dalle classi CLC situati nelle zone più marginali della Sardegna dove l'abbandono delle pratiche agricole e pastorali tradizionali è più ampiamente diffuso.

In base alle randomizzazioni effettuate, la distribuzione degli incendi in termini di valore assoluto della superficie incendiata è non significativa. Al contrario, la significatività è positiva ($p < 0.001$) nel caso della distribuzione logaritmica della superficie bruciata, mettendo in evidenza che nelle aree di ripresa della vegetazione, quindi con aumento di vegetazione ovvero di combustibile, gli incendi hanno una superficie inferiore rispetto all'atteso.

In Sardegna, come in tutte le regioni nelle quali la maggior parte degli incendi è di origine antropica, l'innesco è influenzato principalmente da variabili legate all'azione umana (Nunes et al., 2005; Bajocco and Ricotta, 2008; Catry et al., 2009; Moreira et al., 2010; Conedera et al., 2011).

L'abbandono dei terreni agricoli di solito è associato ad una diminuzione della pressione antropica e, non a caso, questo processo determinerà una riduzione della probabilità di innesco degli incendi.

La propagazione del fuoco è controllata da diversi fattori tra cui i principali sono le condizioni climatiche, la topografia e il tipo di combustibile (vegetazione).

Bajocco e Ricotta (2008) e Pezzatti et al. (2009) hanno evidenziato l'influenza della tipologia di vegetazione sulle dimensioni del fuoco rispettivamente in Sardegna e nel Ticino (Svizzera); mentre per il Portogallo Moreira et al. (2010) hanno dimostrato che gli incendi di grandi dimensioni si verificano con una probabilità più elevata nei boschi e negli arbusteti.

Quindi le aree interessate da un numero elevato di eventi sono di solito diverse dalle zone nelle quali si verificano incendi di grandi dimensioni (Moreira et al., 2010).

Da questo punto di vista, a causa della riduzione della pressione antropica, le aree nelle quali si è verificato l'abbandono delle pratiche agricole tradizionali sono legate (almeno nel nostro caso) ad una diminuzione del rischio di incendio e al tempo stesso, a causa dell'aumento della biomassa vegetale e del carico di combustibile, il fuoco in queste aree ha una probabilità maggiore di trasformarsi in incendi di grandi dimensioni (Bajocco e Ricotta, 2008).

Il numero e la dimensione degli incendi sono influenzati da fattori diversi, quindi è opportuno analizzare queste due variabili separatamente. Infatti l'innesco degli incendi è solitamente associato ad elementi socioeconomici e culturali, mentre la propagazione del fuoco è principalmente controllata dalla quantità e la continuità del combustibile.

Attualmente il fenomeno sembra rafforzato da un disagio legato ad una serie di circostanze: lo spopolamento di vaste aree, l'abbandono dell'agricoltura, la distribuzione di nuovi insediamenti nell'ambiente rurale, la diffusione di infrastrutture di trasporto, l'insorgere di interessi spesso conflittuali con la conservazione delle risorse naturali quindi sarebbe opportuno studiare il comportamento del fuoco tenendo conto di tutti questi aspetti socio-ecologici.

4.3 Analisi della selettività degli incendi all'interfaccia rurale- foresta nella Regione Sardegna

Il progressivo sviluppo di nuovi insediamenti urbani nell'ambiente rurale crea una particolare struttura di paesaggio dove la presenza contemporanea di attività antropiche e combustibile infiammabile accresce il rischio d'incendio con maggiori frequenze di ricorrenza dei processi di ignizione.

Comprendere e prevedere i modelli di innesco degli incendi e controllare le aree dove il rischio di incendio è elevato, è essenziale per gli enti delegati alla lotta antincendio per migliorare l'efficacia della prevenzione e la dislocazione delle risorse (Vasconcelos et al., 2001; Chuvieco et al., 2003).

Gli incendi si verificano e si propagano nel territorio secondo un pattern non casuale, ma in funzione della presenza e della configurazione degli habitat ad esso favorevoli (Turner et al., 1989); alcune tipologie di paesaggio vengono interessate dal fuoco in maniera preferenziale, mentre altre vengono selezionate negativamente (Forman, 1997). Il fuoco, oltre che dalle condizioni climatiche e cause antropiche, è significativamente influenzato dalla copertura del suolo e dalle caratteristiche del combustibile (umidità, infiammabilità) (Turner and Romme, 1994), in questo modo la probabilità di innesco riguarderà soprattutto la natura delle diverse tipologie di uso del suolo e di copertura del suolo (LULC) (Yang et al., 2007).

Negli ultimi decenni sono avvenuti notevoli flussi migratori della popolazione dalle zone interne più marginali e montane verso le aree costiere ed urbane determinando profondi cambiamenti nelle pratiche di gestione agro-silvo-pastorali tradizionali dando così l'avvio a processi dinamici della vegetazione con un progressivo aumento della copertura arbustiva ed arborea (Mazzoleni et al., 2009).

L'aumento della pressione antropica nelle aree circostanti le foreste dà origine ad una configurazione peculiare del paesaggio dove la presenza contemporanea di attività agricole e di tipologie di combustibile infiammabile aumenta in modo significativo il rischio d'innesco (Stewart et al., 2007; Lampin-Maillet et al., 2009).

In questa tesi, le nuove strutture di paesaggio, nelle quali l'uso del suolo da parte dell'uomo è intercalato tra classi naturali e semi-naturali, sono definite "interfacce rurali-foresta" (rural-forest interface, RFI).

Le mappe di uso del suolo e di copertura del suolo (LULC) con un'elevata risoluzione spaziale possono aiutare nella valutazione del rischio d'incendio in regioni dove il paesaggio è caratterizzato da un complesso mosaico di coperture e usi del suolo come le RFI e le tecniche di telerilevamento rappresentano uno strumento utile per creare delle mappe di LULC (Cleve et al., 2008).

In questo studio per valutare il rischio d'incendio in un paesaggio complesso come quello delle RFI della regione Sardegna è stata utilizzata la mappa di uso del suolo e di copertura del suolo ottenuta dalla classificazione object-oriented dell'immagine telerilevata del sensore satellitare QuickBird. In particolare si vuole analizzare la

selettività degli incendi nei confronti delle interfacce rurale- foresta e delle tipologie vegetali naturali e semi-naturali come i cespuglieti e le foreste.

4.3.1 Il telerilevamento per la classificazione del territorio: il sensore satellitare QuickBird

Il telerilevamento è la tecnica, la disciplina che consente di ottenere informazioni qualitative e quantitative su un oggetto, un territorio o un fenomeno mediante l'analisi di dati acquisiti da un dispositivo a distanza, il sensore, senza entrare in contatto diretto con essi.

Attraverso l'utilizzo di sensori montati a bordo di satelliti, viene registrata la radiazione emessa o riflessa da un oggetto e, a seconda della tipologia del sensore, vengono prodotte immagini con differenti caratteristiche consentendo applicazioni in molteplici ambiti.

Le immagini satellitari sono utilizzate per differenti scopi e consentono di acquisire dati originali, di monitorare le dinamiche di fenomeni in evoluzione e di avere una visione che supera quella dell'occhio umano, consentendo di registrare la radiazione elettromagnetica nelle bande oltre il visibile.

Le informazioni sugli oggetti sono ottenute mediante la misura della radiazione elettromagnetica, proveniente da una fonte di energia (la fonte principale di energia è il sole), successivamente riflessa o emessa dagli oggetti stessi.

Infatti, ogni oggetto, colpito dalla radiazione incidente, assorbe una parte di energia e ne riflette una certa quantità dipendente dalle caratteristiche della superficie stessa. Per ogni superficie è possibile costruire un grafico dei valori di riflettanza in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente: tale grafico è detto "firma o risposta spettrale" ed è caratteristico di ogni superficie. Attraverso la firma spettrale è possibile identificare diversi elementi sulla superficie terrestre come il suolo, la vegetazione, l'acqua e le superfici urbanizzate e identificare le differenti caratteristiche al loro interno come lo stato di salute, l'umidità o la concentrazione dei nutrienti.

L'acqua presenta una scarsa variabilità spettrale, con un forte assorbimento dell'energia nell'infrarosso medio e variazioni possono essere determinate dalla presenza di materiale organico e inorganico presente in sospensione.

La curva di riflettanza del suolo dipende da differenti fattori come l'umidità, la tessitura, l'irregolarità morfologica, la presenza di ossidi di ferro e di materiale organico. Ad esempio suoli a tessitura fine, poco drenati, avranno una riflettanza bassa mentre suoli ben drenati a tessitura più grossolana avranno valori di riflettanza superiori.

La vegetazione ha una caratteristica firma spettrale: le piante riflettono molto nelle bande del Verde e dell'Infrarosso Vicino (NIR) mentre la riflessione risulta notevolmente inferiore nell'intervallo del Blu e del Rosso dello spettro elettromagnetico. Tale andamento è dovuto alla presenza dei pigmenti fotosintetici nelle regioni del Visibile e alla struttura della foglia e della chioma nel NIR.

Qualunque sia la superficie telerilevata, l'energia riflessa viene registrata sotto forma di numero in una griglia costituita da linee e colonne nella quale l'unità elementare è il pixel. Ciascun pixel contiene la media dei valori di riflettanza degli oggetti identificati in una certa porzione di territorio. A seconda del sensore, la dimensione della superficie analizzata per identificare il valore del pixel varia e tale parametro viene definito risoluzione spaziale; mentre l'intervallo di tempo che intercorre tra due riprese successive della stessa area viene definita risoluzione temporale.

Il telerilevamento da satellite rappresenta uno strumento importante d'indagine per le scienze ecologiche perché consente di studiare la struttura e l'evoluzione degli ecosistemi terrestri con una continuità spaziale e temporale che non è consentita da un'analisi a terra di tipo tradizionale.

Lo sviluppo di sensori con un'elevata risoluzione spaziale, come il QuickBird e l'IKONOS, hanno consentito di realizzare mappe di uso del suolo e di copertura del suolo con accuratezze elevate.

In questo studio, è stata utilizzata l'immagine georiferita del sensore satellitare QuickBird, che è caratterizzata da una risoluzione spaziale di 2.4 m, un range spettrale da 450 a 890 nm con un numero di bande di acquisizione pari a 4.

La scena analizzata è formata da 4200 colonne \times 5800 linee ($\sim 10 \times 14$ km) ed è stata acquisita il 22 luglio 2007 (Figura 24).

La scena satellitare ricopre la città di Quartu Sant'Elena, vicino Cagliari, localizzata tra 39°13' N e 39°20' N di Latitudine e tra 9°15' E e 9°23' E di Longitudine.

Questa area di studio è stata scelta perché situata in una zona di transizione tra un'area rurale con presenza di urbano sparso e un'area con vegetazione boschiva. La presenza nel paesaggio selezionato di questa transizione naturale, lo rende ideale per studiare l'influenza della copertura del suolo nei confronti del rischio d'innescio in un'area del bacino mediterraneo particolarmente interessata dalla ricorrenza di incendi come la regione Sardegna.

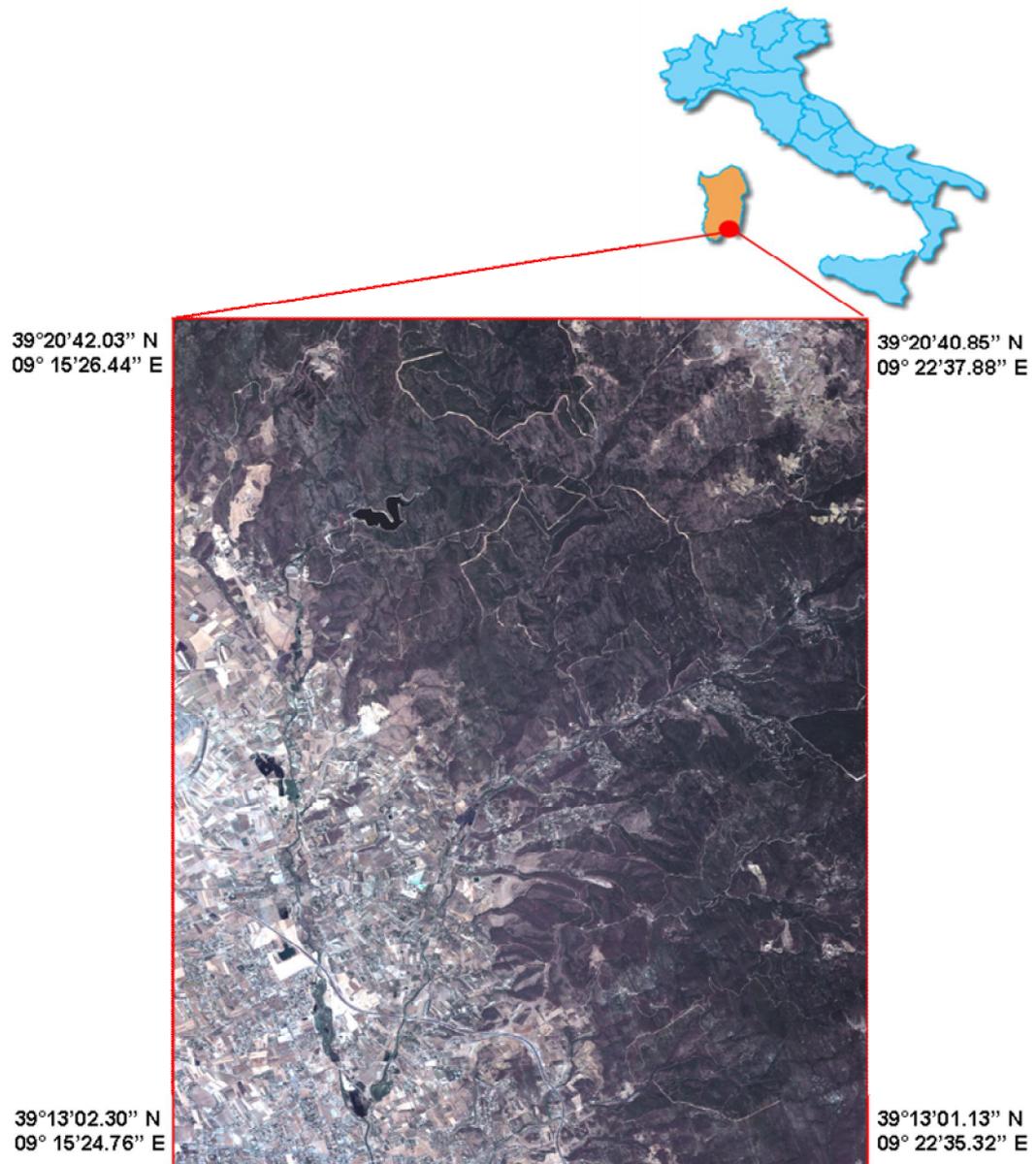


Figura 24. Immagine QuickBird a colori reali dell'area di studio.

4.3.2 Metodi

Segmentazione e classificazione object-oriented

L'introduzione di tecniche di classificazione object-oriented (Chierici et al. 2003, Benz et al. 2004) basate su poligoni generati dalla segmentazione automatica di immagini digitali ha aperto nuovi scenari sulle possibilità di derivare cartografie tematiche (Dorren et al. 2003, Mitri et al. 2006).

Questo approccio, spostando l'analisi dal singolo pixel a insiemi di pixel (oggetti), consente di ampliare il contenuto informativo estraibile in modo automatico o semiautomatico dall'unità elementare di classificazione.

L'immagine QuickBird è stata segmentata con il software eCognition 7.0 (Definiens, Munchen, Germany) e per il processamento è stato usato un valore di scale parameter pari a 10, di shape criterion uguale a 0.5 e di compactness di 0.5.

La classificazione object-oriented è stata eseguita usando il metodo Nearest Neighbour (NN), che assegna le classi agli oggetti sulla base delle misure delle distanze minime.

Il classificatore NN può usare variabili collegate alle proprietà spettrali, di tessitura e di forma degli oggetti.

Le variabili scelte in questo lavoro sono: la media e la deviazione standard e per ogni banda di ciascun dataset sono stati calcolati i valori. L'algoritmo NN utilizza gli attributi di un set di poligoni (training sites) sia fotointerpretati, sia scelti sul campo mediante rilievi in situ e riportati sull'immagine per assegnare le classi ai restanti oggetti presenti nella scena.

Successivamente sono state individuate 4 classi principali: agricolo, urbano, vegetazione (che comprende cespuglieti e foreste di sclerofille) e acqua (Figura 25a). Nella classe urbano è compreso tutto ciò che è realizzato dall'uomo (case, manufatti, strade).

Dalla classificazione object-oriented dell'immagine risulta che la classe urbano ricopre solo lo 0.7% dell'area studiata e quindi è stata unita alla classe agricolo per ottenere una classe definita "area rurale/urbana" ovvero aree rurali con presenza di urbano sparso.

Per stimare l'efficacia di un algoritmo di classificazione rispetto ad un altro o il risultato di una classificazione, è importante determinare l'accuratezza delle informazioni contenute nella mappa finale in termini di oggetti correttamente assegnati alla corrispondente classe al suolo.

Per la stima dell'accuratezza viene utilizzato un metodo che si basa sul confronto tra i dati di riferimento a terra, detti test, e i training, ovvero i dati utilizzati per classificare. Questo metodo prende in considerazione la matrice di confusione (Congalton et al., 1983; Congalton, 1998), ovvero una matrice quadrata di numeri in cui le righe e le colonne rappresentano il numero di classi in cui sono stati suddivisi gli oggetti autonomamente dal classificatore e dalla osservazione diretta. Sulla diagonale principale si troveranno gli oggetti assegnati contemporaneamente alla stessa classe sia dalla classificazione che dall'osservazione diretta e che quindi risultano corretti, mentre tutti quelli al di fuori sono considerati errori.

Dalla matrice di confusione è possibile determinare una serie di parametri: l'accuratezza totale (overall accuracy), che indica il numero di oggetti classificati correttamente rispetto al numero totale di oggetti analizzati; l'accuratezza dell'utente (user's accuracy) ovvero la probabilità che ad un oggetto dell'immagine assegnato a una data classe corrisponda effettivamente quella classe al suolo; l'accuratezza del produttore (producer's accuracy), dato dal rapporto tra il numero di oggetti correttamente classificati nella classe considerata ed il numero di oggetti di riferimento totali in quella classe; infine il coefficiente di concordanza Khat di Cohen o coefficiente kappa (Congalton et al., 1983; Congalton, 1998). Questo parametro confronta l'errore generato dalla classificazione ottenuta con quello di una classificazione eseguita in modo casuale e può assumere valori compresi tra 0 e 1: maggiore è il valore di kappa, maggiore sarà la concordanza tra dati reali e dati classificati.

In questo studio, la verifica dell'accuratezza per la classificazione dell'immagine QuickBird ha restituito i seguenti valori: 0.95 per il kappa index; 0.96 per la user's accuracy; 0.89 e 0.91 rispettivamente per producer's accuracy e overall accuracy.

Analisi statistica della selettività degli incendi all'interfaccia rurale -foresta

Sull'immagine classificata è stata sovrapposta una griglia di 100×100 pixels (240×240 m) ottenendo un numero di celle pari a 2436 e in ognuna di esse la percentuale di copertura per i pixel urbano/rurale era determinata in classi con intervalli del 10% (Figura 25b). Queste classi con intervalli del 10% di pixel urbano/rurale rappresentano tipologie diverse di RFIs con proporzioni differenti di copertura del suolo dovuto alla presenza antropica nei confronti della copertura naturale del suolo, passando da celle nelle quali la presenza della classe vegetazione (cespuglieti e foresta) è predominante (la copertura della classe urbano/rurale è inferiore al 10%) a celle nelle quali la classe urbano/rurale è più elevata (la copertura della vegetazione naturale è inferiore al 10%). La classe relativa ai corpi idrici in quanto considerata non infiammabile è stata esclusa dalle analisi per definire le diverse tipologie di interfacce rurale- foresta.

Per analizzare l'influenza della distribuzione della copertura del suolo nei confronti del rischio d'innescò, è stata studiata la distribuzione spaziale dei punti d'innescò effettuando lo stesso tipo di analisi statistica precedentemente descritta (vedi paragrafo 4.1.3).

La prima parte del lavoro ha riguardato l'estrazione delle coordinate dei 271 punti di innescò occorsi nell'area di studio nel periodo 1995-2006 dal database del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna.

In accordo con Eufirelab (2004) la scala temporale più appropriata per valutare il rischio d'innescò di incendio è il lungo termine (minimo 10 anni).

Considerando questo lasso di tempo, tutti gli incendi verificatesi nell'intervallo di tempo 1995-2006 rappresentano un buon compromesso tra la rappresentatività (quantità) dei dati e la stabilità temporale del paesaggio oggetto di studio.

Successivamente i punti di innesco sono stati sovrapposti sull'immagine QuickBird classificata e sono stati contati gli incendi che ricadevano all'interno di ogni tipologia di interfaccia rurale- foresta (RFI).

Inoltre, per valutare il rischio d'incendio è stato calcolato l'indice di selettività (selectivity ratio, SR), dato dal rapporto tra il numero di focolai occorsi in una determinata tipologia di RFI rispetto all'area relativa di quella tipologia RFI nell'area di studio.

L'indice SR può assumere valori compresi tra $[0, \infty]$: valori maggiori di 1 indicano tipologie di RFI nelle quali gli incendi si verificano con una frequenza maggiore di quanto ci si aspetterebbe da una distribuzione casuale; valori più bassi di 1 individuano aree dove gli inneschi occorrono con una frequenza minore rispetto a quanto ci si attenderebbe.

I 271 incendi sviluppati nell'area di studio durante il periodo 1995-2006 sono stati riassegnati a caso alle tipologie di RFI in modo tale che la probabilità di assegnazione di ciascun focolaio per una determinata tipologia di RFI era uguale alla dimensione relativa di quella RFI.

L'ipotesi nulla è che gli incendi avvengono casualmente in un paesaggio in modo tale che non ci siano differenze tra l'abbondanza relativa dei focolai in ogni tipologia di RFI e la dimensione relativa di ciascuna RFI all'interno dell'area di studio.

Questi valori sono stati poi confrontati con i valori ottenuti dalle 999 randomizzazioni.

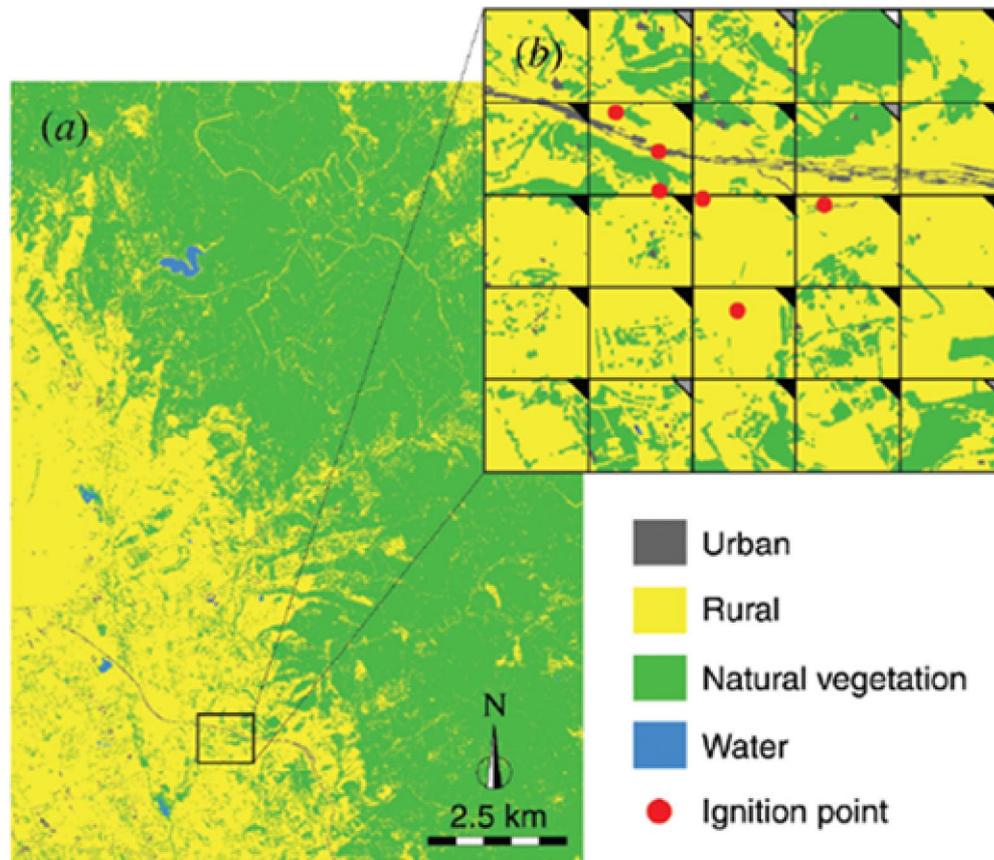


Figura 25. Immagine classificata dell'area di studio (a). Il particolare (b) mostra una porzione dell'immagine classificata di 1200x1200 m nella quale tutti i punti di innesco nel periodo 1995-2006 sono sovrapposti alle celle di 250x250 metri. I triangoli in alto a destra di ogni cella indicano il rischio di incendio: alto (triangolo nero); medio (triangolo grigio); basso (triangolo bianco).

4.3.3 Risultati e discussione

I risultati dell'analisi della selettività mostrano che il numero di incendi è più alto rispetto a quanto ci si aspetterebbe da una distribuzione casuale (valore di $p < 0.05$) nelle tipologie di RFI dove la percentuale di copertura della classe rurale/urbano è più elevata del 50%.

Al contrario, il numero di incendi è più basso di quanto atteso in tutte quelle tipologie di RFI con percentuale di copertura della classe rurale/urbano inferiore al 30%.

Infine, le tipologie di RFI intermedie con una percentuale di copertura della classe rurale/urbano tra il 30% e il 50% tendono a bruciare in misura proporzionale alla loro disponibilità e non mostrano risultati significativi.

Una conoscenza dettagliata della distribuzione spaziale del rischio d'incendio in paesaggi complessi come quello mediterraneo è necessario per una gestione corretta del territorio e per i problemi connessi alla prevenzione degli incendi.

Nell'ambito dell'aumento della presenza antropica in aree favorevoli agli incendi, le interfacce rurali- foresta rappresentano una sfida particolarmente importante per la gestione del rischio d'incendio.

Sulla base della definizione data per le RFI, queste interfacce individuano sempre due componenti: la presenza dell'uomo nell'uso del suolo (campi, strade, insediamenti abitativi) e la vegetazione naturale.

Tuttavia, nel contesto di questa descrizione generale, è comunemente accettato che categorie differenti di LULC siano selezionate diversamente dal fuoco (Nunes et al. 2005, Bajocco and Ricotta 2008).

Pertanto, sarebbe utile documentare l'aumento o la diminuzione della tendenza degli incendi a verificarsi in ciascuna tipologia di LULC che dà origine all'interfaccia rurale-forestale.

Mappe accurate e aggiornate di uso e copertura del suolo ad alta risoluzione spaziale sono strumenti utili per analizzare la relazione tra la copertura del suolo e il rischio d'innescamento, specialmente in zone complesse e frammentate come i paesaggi mediterranei, caratterizzati da una densità elevata di tipologie diverse e intercalate di LULC all'interno di aree relativamente limitate (Carranza et al., 2007).

In questa ottica, la classificazione object-oriented delle immagini telerilevate ad elevata risoluzione spaziale, rappresentano un metodo efficiente per produrre mappe di LULC e per individuare aree critiche dove il rischio d'incendio è particolarmente elevato.

Sulla base dell'ipotesi descritta in questo lavoro, ovvero il rischio d'incendio è legato preferenzialmente all'uso del suolo di tipo antropico, le tipologie di RFI con una percentuale di copertura di rurale- foresta più elevata del 50% brucia più frequentemente rispetto a quanto ci si aspetterebbe da una distribuzione casuale degli incendi.

Questo risultato è in buon accordo con studi precedenti realizzati a scala più ampia (MMA 2007; Bajocco and Ricotta, 2008; Catry et al., 2009) che indicano che nel bacino mediterraneo un numero elevato di incendi sono causati da attività agricole.

Catry et al., (2009) hanno trovato che circa il 25% di incendi occorsi in Portogallo nel periodo 2001-2005 sono localizzati nelle aree di interfaccia urbano-rurale sebbene questa classe di copertura del suolo interessa solo il 2.7% del paese.

Studi successivi potrebbero prendere in considerazione la configurazione spaziale delle caratteristiche dell'urbano (isolato, sparso, abitazioni dense o molto dense, Lampin-Maillet et al., 2010) all'interfaccia rurale- foresta per migliorare ulteriormente la classificazione delle diverse tipologie di interfaccia.

Infine, il diverso comportamento osservato per le RFI rispetto ai punti di innescamento può essere utilizzato per produrre una mappa nella quale ogni RFI viene associata ad un diverso rischio d'innescamento (elevato, medio, basso) in accordo con i risultati dell'analisi di selettività.

In particolare, le RFI nelle quali gli incendi si verificano più frequentemente rispetto a quanto atteso, verrebbero associate ad un rischio elevato; le RFI dove gli inneschi sono significativamente meno frequenti rispetto a quanto ci si aspetterebbe , avrebbero un rischio d'incendio basso; e infine, le RFI che bruciano in proporzione alla loro area relativa presenterebbero un rischio di incendio medio.

La mappa del rischio d'incendio realizzata utilizzando una griglia (in contrapposizione ad una mappatura tradizionale per poligoni, nella quale il rischio d'incendio è associato a differenti classi di LULC), è facile da produrre ad ogni scala spaziale ed è semplice da interpretare, anche in assenza di approfondite conoscenze statistiche.

5. CONCLUSIONI

Nella Regione Mediterranea il fuoco ha contribuito alla definizione del paesaggio vegetale attuale, acquisendo nel corso degli anni sempre maggiore importanza, passando da componente naturale ad elemento antropico di gestione della vegetazione. Tale condizione associata ai cambiamenti del clima e di uso del suolo e all'abbandono delle tradizionali pratiche agro-silvo-pastorali ha determinato nuove configurazioni di paesaggio e quindi la necessità di analizzare e identificare le caratteristiche che influenzano il passaggio del fuoco e accrescono il rischio di incendio.

Per una corretta gestione del fenomeno risulta essenziale capire la dinamica degli incendi in funzione delle caratteristiche del paesaggio, dei cambiamenti di uso e copertura del suolo e della presenza antropica in quanto gli incendi non si verificano in maniera casuale sul territorio, ma evidenziano un comportamento definito "selettivo".

In questo studio le analisi sulla selettività del fuoco sono state condotte al fine di verificare la distribuzione degli incendi in relazione alle differenti categorie di paesaggio in modo da realizzare una carta del rischio di incendio nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo e di Diano.

Una successiva indagine di selettività ha riguardato i cambiamenti di uso e copertura del suolo nei confronti della probabilità di innesco degli incendi e della superficie bruciata per individuare un eventuale aumento del rischio di incendio in concomitanza dell'abbandono dei terreni agricoli e dei pascoli nella Regione Sardegna.

L'ultima analisi ha avuto come obiettivo lo studio della selettività degli incendi all'interfaccia rurale- foresta mediante la classificazione object-oriented del territorio sardo.

In conclusione questo lavoro ha permesso di analizzare il regime degli incendi sia dal punto di vista ecologico che socioeconomico che temporale.

Da una parte, l'analisi della suscettibilità al passaggio del fuoco delle diverse tipologie territoriali ha evidenziato come il fuoco mostri un comportamento selettivo nei confronti di alcune classi, dimostrando che i fattori che agiscono sulla selettività del fuoco sono distinte in: cause antropiche, che controllano direttamente il modello degli incendi, e cause bioclimatiche, che agiscono indirettamente determinando la distribuzione del combustibile.

Pertanto per individuare aree omogenee dal punto di vista del rischio di incendio è stata eseguita la segmentazione, generalmente impiegata come punto di partenza per la classificazione object-oriented, che applicando una tecnica di clustering spaziale, ha permesso di identificare classi di rischio con estensione confrontabili.

Dall'altro lato, l'analisi del cambiamento di uso del suolo da agricolo/pascolo verso cespuglieto/foresta ha rivelato che la probabilità di innesco degli incendi diminuisce nelle classi dove si è verificata una ripresa della vegetazione con aumento di biomassa e quindi di combustibile.

Inoltre le tecniche di telerilevamento rappresentano uno strumento utile per l'individuazione delle nuove configurazioni di paesaggio, caratterizzate dalla presenza

contemporanea di tipologie di combustibile infiammabile e dell'uomo con le sue attività, e per la creazione di mappe con un'elevata risoluzione spaziale aiutando in questo modo la valutazione del rischio di incendio in regioni dove il paesaggio è caratterizzato da un complesso mosaico di coperture e usi del suolo come le interfacce rurale -foresta.

I risultati ottenuti mettono in luce lo stretto legame esistente tra la distribuzione spaziale degli incendi e la presenza antropica e l'uso e copertura del suolo in un paesaggio come quello mediterraneo dove l'uomo con la sua presenza ed attività agisce sul territorio modellandolo e modificandolo.

Infine, da un punto di vista applicativo, la metodologia sviluppata per il rischio di incendio e le analisi di selettività del fuoco evidenziano la possibilità di utilizzare le informazioni ottenute sia per il monitoraggio che per la gestione degli incendi fornendo indicazioni importanti alle autorità preposte alla gestione delle risorse del territorio in un'ottica di prevenzione del fenomeno degli incendi.

6. BIBLIOGRAFIA

Agee J.K., (1993). Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press. Washington, D.C.

Allredge, J. R., Thomas, D. L., McDonald, L. L., 1998. Survey and comparison of methods for study of resource selection. J. Agric. Biol. Environ. Stat., 3: pp. 237-253.

Arrigoni, P. V., 1968. Fitoclimatologia della Sardegna. Webbia, 23: pp. 1-100.

Arrigoni, P.V., Camarda, L., Corrias, B., Diana, S., Raffaelli, M., Valsecchi, F., 1977-1991. Le piante endemiche della Sardegna 1-202. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, pp. 16-28.

Arrigoni, P. V., 1983. Aspetti corologici della flora sarda. In: Il Popolamento animale e vegetale della Sardegna, Lavori della Società Italiana di Biogeografia, 8: pp. 83-109.

Arrigoni, P. V., 1986. Contributo alla conoscenza della vegetazione del Monte Gennargentu, in Sardegna. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 25: pp. 63-96.

Arrigoni, P.V., Di Tommaso, P.L., Mele A., 1990. Caratteri fisionomici e fitosociologici delle leccete delle montagne calcaree della Sardegna centroorientale. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 27: pp. 205-219.

Arrigoni, P. V. & Di Tommaso, P.L., 1991. La vegetazione delle montagne calcaree della Sardegna centro-orientale. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 28: pp. 201-310.

Arrigoni, P. V., Di Tommaso, P. L., Camarda, I., Satta, V., 1996. La vegetazione dell'azienda forestale "Uatzo" (Sardegna centrale). Parlatorea, 1: pp. 61-72.

Baatz, M. & Schäpe, A., 2000. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In: Strobl J., Blaschke T., Greisebener G. (eds): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI. Beiträge zum AGITSymposium Salzburg 1999. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe: pp. 12–23.

Baatz, M., Benz, U.C., Dehghani, S., Heynen, M., Holtjie, A., Hofmann, P., Lingenfelder, I., Mimler, M., Sohlbach, M., Weber, M., Willhauck, G., 2004. eCognition Professional. User Guide 4. Definiens Imaging, Munchen, Germany.

- Bacchetta, G., Bagella, S., Biondi, E., Farris, E., Filigheddu, R., Mossa, L., 2009. Vegetazione forestale e serie di vegetazione della Sardegna (con rappresentazione cartografica alla scala 1:350.000). *Fitosociologia*, 46 (1): pp. 3-82.
- Bacchetta, G., Bagella, S., Biondi, E., Farris, E., Filigheddu, R., Mossa, L., 2005. Carta delle Serie di Vegetazione della Sardegna in scala 1: 250000. Note illustrative. Ministero dell'Ambiente, Roma.
- Bajocco, S. & Ricotta, C., 2008. Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): Which land cover classes do wildfires prefer? *Landscape Ecology*. DOI 10.1007/s10980-007-9176-5.
- Bajocco, S., Rosati, L., Ricotta, C., 2010. Knowing fire incidence through fuel phenology: a remotely sensed approach. *Ecological Modelling*, 221: pp. 59-66.
- Bajocco, S., Salvati, L., and Ricotta, C., 2011. Land degradation versus fire: A spiral process? *Prog. Phys. Geogr.* 35: pp. 3-18, 2011.
- Beccu, E., 2004. Cause storiche degli incendi in Sardegna. Atti convegno: Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall'analisi delle cause alle proposte di intervento, Cagliari, 14-15 Maggio 2004, pp. 117-121.
- Benz, U., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., 2004. Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GISready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58: pp. 239-258.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Flannigan, M., Kafka, V., 2004. Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in Northwestern Quebec. *Ecology*, 85: pp. 1916-1932.
- Blasi, C., Bovio, G., Corona, P., Marchetti, M., Maturani, A., 2004. (a cura di)– Incendi e complessità ecosistemica. Dalla pianificazione forestale al recupero ambientale. Palombi Editore, Roma. Ministero Ambiente e Tutela del Territorio e Società Botanica Italiana, Ed. Palombi & Partner, Roma.
- Bond, V. J. & Keeley, J. E., 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: pp. 387-394.
- Botelho, H. S., Loureiro, C., Ribeiro, M., Rego F., 1998. Mapping fire patterns in Trastos- Montes region In: Viegas DX. (eds), *Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire and Forest Meteorology*. Coimbra, Portugal, ADAI, University of Coimbra, 2693-2702.

- Bovio, G., Camia, A., Marzano, R., 2002. Gli incendi boschivi nelle aree a rischio di desertificazione: analisi a scala regionale. *L'Italia Forestale e Montana*, 3: pp. 208-224.
- Burgan, R. E., Klaver, R. W., Klaver, J. M., 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire* 8: pp. 159–170.
- Bussotti, F. & Schirone, B., 2001. La vegetazione mediterranea. In: Piotta B., Di Noi A., (Eds.), *Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea. Manuale ANPA*, Roma, pp. 17-23.
- Carmignani, L., Oggiano, G., Barca, S., Conti, P., Eltrudis, A., Funedda, A., Pasci, S., 2001. Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000 – Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Carmona-Moreno, C., Belward, A., Malingreau, J. P., Hartley, A., Garcia-Alegre, M., Antonovskiy, M., Buchshtaber, V., and Pivoravov, V., 2005. Characterizing interannual variations in global fire calendar using data from Earth observing satellites. *Global Change Biol.* 11: pp. 1537–1555.
- Carranza, M.L., Acosta, A. and Ricotta, C., 2007. Analyzing landscape diversity in time: the use of Rényi's generalized entropy function. *Ecological Indicators*, 7: pp. 505–510.
- Catry, F.X., Rego, F.C., Silva, J.S., Moreira, F., Camia, A., Ricotta, C., Conedera, M., 2010. Fire starts and human activities. In: Silva J.S., Rego F., Fernandes P., Rigolot E., (Eds.) *Towards integrated fire management – outcomes of the European project Fire Paradox*. European Forest Institute Research Report, 23: EFI, Joensuu: pp. 9-22.
- Catry, F.X., Rego, F.C., Bacao, F.L., Moreira, F., 2009. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 18: pp. 921–931.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., Williams, D., 1983. *Fire in Forestry. Vol. 1. Forest Fire Behavior and Effects*, John Wiley and Sons.
- Chierici, G., Corona, P., Travaglini, D., 2003. Sperimentazione di tecniche di classificazione object-oriented di immagini QuickBird a fini forestali. *L'Italia Forestale e Montana* 4: pp. 231-250.
- Chierici, G., Barbati, A., Corona, P., La Monaca, A., Marchetti, M., Travaglini, D. 2006. Segmentazione di immagini telerilevate multirisoluzione per la derivazione di cartografie di uso/copertura del suolo multiscala. *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 37: pp. 113-137.

- Chuvieco, E., Allgo" Wer, B. And Salas, J., 2003. Integration of physical and human factors in fire danger assessment. In *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping, the Role of Remote Sensing Data*, E. Chuvieco (Ed.), pp. 197–218 (Singapore: World Scientific Publishing).
- Cleve, C., Kelly, M., Kearns, F.R. Andmoritz, M., 2008. Classification of the wildland–urban interface: a comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32: pp. 317–326.
- Conedera, M., Torriani, D., Neff, C., Ricotta, C., Bajocco, S., and Pezzatti, G. B., 2011. Using Monte Carlo simulations to estimate relative fire ignition danger in a low-to-medium fire prone region. *For. Ecol. Manage.* 261: pp. 2179–2187.
- Congalton, R.G., Oderwald, R.G., and Mead, R.A., 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49: pp. 1671-1678.
- Congalton, R.G., and Brennan, M., 1998. Change detection accuracy assessment: Pitfalls and considerations. *Proceedings of the Sixty Fourth Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Tampa, Florida, pp. 919-932 (CD-ROM).
- Conti, F., Abbate, G., Alessandrini, A., Blasi, C., 2005. An annotated checklist of the Italian vascular Flora. Palombi Editore. Roma.
- Conti, F., Manzi, A., Pedrotti, F., 1997. Liste rosse regionali delle piante d'Italia. Dipartimento di Botanica ed Ecologia, Università degli Studi di Camerino, Camerino.
- Cramer, W., 2001. Fire ecology, Mediterranean forests and global change. *Forest Ecology and Management*, 147: pp. 1–2.
- Cumming, S.G., 2001. Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: What do fires burn? *Ecological Applications*, 11: pp. 97–110.
- Davis, F.W. & Michaelsen, J.C., 1995. Sensitivity of fire regime in chaparral ecosystems to global climate change. In: *Global Change and Mediterranean-type Ecosystems*, edited by W. C. Oechel and J. M. Moreno, Springer-Verlag, New York: pp. 435-456.
- Definiens Imaging GmbH, 2004. eCognition User Guide 4. Definiens Imaging, GmbH, Munich, Germany.

- Delitala, A., Cesari, D., Chessa, P. A., Ward, M. N., 2000. Precipitation over Sardinia (Italy) during the 1946-1993 rainy seasons and associated large-scale climate variations. *International Journal of Climatology*, 20: pp. 519–541.
- Di Pasquale, G., 1998. Evidences of past fires by soil charcoals in Mediterranean area. In: *Fire Management and Landscape Ecology*, Trabaud L., Ed., International Association of Wildland Fire, Fairfield, Washington: pp. 289-295.
- Di Pasquale, G., Mazzoleni, S., 2001. Late holocene vegetation dynamics in the Cilento region (southern Italy): preliminary data. *British Archaeological Report*.
- Diàz-Avalos, C., Peterson, D.L., Alvarado, E., Ferguson, S.A., Besag J., 2001. Spacetime modelling of lightning-caused ignitions in the Blue Mountains. *Oregon. Canadian Journal of Forest Research*, 31: pp. 1579–1593.
- Diàz-Delgado, R., Lloret, F., Pons, X., 2004. Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology*, 19: pp. 731-745.
- Dorren, L.K.A., Maier, B., Seijmonsbergen, A.C., 2003. Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. *Forest Ecology and Management* 183: pp. 31-46.
- EEA (European Environmental Agency), 2002. European Topic Center-Terrestrial Environment. CORINE land cover update. I&CLC2000 project. Technical Guidelines. <http://www.clc2000.sinanet.apat.it/cartanetclc2000>.
- EUROFIRELAB, 2004. Common methods for mapping the wildland fire danger, EUcontract 390 EVR1- CT-2002-40028, Deliverable D-08-05. Available online at: <http://eufirelab.org> (accessed 24 May 2010).
- FAO, 1986. *Wildland Fire Management Terminology*. FAO Forestry Paper 70. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1986.
- Fisher, R.A., 1935. *The Design of Experiments*. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Flannigan, M.D. & Harrington, J.B., 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953-80. *Journal of Applied Meteorology*, 27: pp. 441-452.
- Forman, R.T.T., 1997. *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Fortin, M.J. & Jacquez, G.M., 2000. Randomization tests and spatially autocorrelated data, *Bulletin of the Ecological Society of America*, 81: pp. 201-205.

- Gini, C., 1914. Sulla misura della concentrazione e della variabilità dei caratteri. Atti del Regio Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti, LXXIII (parte II): pp. 1203-1248.
- Guyette, R., Muzika, R., Dey, D., 2002. Dynamics of an anthropogenic fire regime. *Ecosystems*, 5: pp. 472–486.
- Haralick, R.M., 1979. Statistical and Structural Approaches to Texture. Proceedings of the IEEE, vol. 67, n. 5, May 1979, pp.786-804.
- Hardy, C.C., J.P., Menakis, D.G., Long, J., Brown, & D., Bunnell, 1998. Mapping historic fire regimes for the western United States: integrating remote sensing and biophysical data. Proceedings of the Seventh Biennial Forest Service Remote Sensing Applications Conference. Nassau Bay, TX, PP. 288–300.
- Hessburg, P. F., Agee, J. K., Franklin, J. F., 2005. Dry forests and wildland fires of the inland Northwest USA: Contrasting the landscape ecology of the presettlement and modern eras. *Forest Ecology and Management*, 211: pp. 117-139.
- Hofmann, P. & Reinhardt, W., 2000. The Extraction of GIS Features from High Resolution Imagery Using Advanced Methods based on Additional Contextual Information - First Experiences. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (B4), Amsterdam, Netherlands.
- Hurskainen, P. & Pellikka, P., 2004, October 18-21. Change detection of informal settlements using multi-temporal aerial photographs – the case of Voi, SEKenya. Proceedings of the 5th AARSE conference, Nairobi, Kenya.
- Krumel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., O'Neill, R.V., Coleman, P.R., 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos*, 48: pp. 321-324.
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Morge, D. And Ferrier, J.P., 2009. Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33: pp. 224–232.
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Bouillon, C., Morge, D. and Ferrier, J.P., 2010. Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France. *Journal of Environmental Management*, 91: pp. 732–741.
- Latham, D., Williams, E., 2001. Lightning and forest fires. In: Johnson E.A., Miyanishi K. (Eds.), *Forest Fires, Behavior and Ecological Effects*. Academic Press.
- Legendre, P. & Legendre, L., 1998. Numerical ecology. Second English edition. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

- Lloret, F., Calvo, E., Pons, X., Diàz-Delgado, R., 2002. Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology*, 17: pp. 745-759.
- Locci, F. & Delitala, A., 2004. Le condizioni climatologiche legate agli incendi in Sardegna. *Atti convegno: Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall'analisi delle cause alle proposte di intervento*, Cagliari, 14-15 Maggio 2004: pp. 83-91.
- Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., Oliveres, J., Pinol, J., Lloret, F., 2010. Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management* 259: pp. 2366–2374.
- Lorenz, M.O., 1905. Methods of measuring the concentration wealth. *Publ. Am. Stat. Assoc.*, 9(70): pp. 209-219.
- Manly, B.F.J., 1997. *Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology* Chapman and Hall, London
- Manly, B.F.J., Mcdonald, L.L., Thomas, D.L., 1993. *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*. Chapman & Hall, London, UK.
- Marchetti M., Bertani R., Scatarzi I., 2004. Zonizzazione del territorio italiano in funzione del rischio di incendi. In: Blasi C., Bovio G., Corona P., Marchetti M., Maturani A., (Eds.), *Incendi e complessità ecosistemica, dalla pianificazione forestale al recupero ambientale*, Roma: pp. 121-132.
- Mazzoleni, S., Migliozzi, A., Ricotta, C., Bajocco, S., Di Pasquale, G., Saracino, A., 2009. Boschi di neoformazione e nuovi scenari di propagazione d'incendio. *Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura*. Taormina (Me), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze: pp. 372-377.
- Mazzoleni, S. & Esposito, A., 2004a. Tipi di vegetazione e ricostituzione postincendio. In: Blasi C., Bovio G., Corona P., Marchetti M., Maturani A., (Eds.), *Incendi e complessità ecosistemica, dalla pianificazione forestale al recupero ambientale*, Roma, pp. 241-244.
- Mazzoleni, S. & Esposito, A., 2004b. Effetti dell'incendio. In: Blasi C., Bovio G., Corona P., Marchetti M., Maturani A. (Eds.), *Incendi e complessità ecosistemica, dalla pianificazione forestale al recupero ambientale*, Roma, pp.227-238.
- Mazzoleni, S., Bellelli, M., Esposito, A., Ricotta, C., Di Pasquale, G., Blasi, C., 2001. Incendi e paesaggio vegetale: il caso del Cilento. *L'Italia Forestale e Montana*, 6: pp. 417-429.

- Mazzoleni, S., 1993. Incendi e vegetazione mediterranea. In: S. Mazzoleni e G. Aronne (ed.). *Introduzione all'ecologia degli incendi*. Liguori, Napoli: 43-72.
- Médail, F. & Quézel, P., 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean basin: setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13: pp. 1510-1513.
- Mercer, D. E. & Prestemon, J. P., 2005. Comparing production function models for wildfire risk analysis in the wildland-urban interface. *Forest Policy and Economics*, 7: pp. 782-795.
- Mitri, G.H., Gitas, I.Z., 2006. Fire type mapping using object-based classification of Ikonos imagery. *International Journal of Wildland Fire* 15: pp. 457-462.
- MMA, 2007. *Los incendios forestales en España. Decenio 1996–2005* (Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Centro de Coordinación de la Información Nacional sobre Incendios Forestales).
- Moreira, F., Rego, F.C., Ferreira, P.G., 2001. Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: Implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, 16: pp.557-567.
- Moreira, F., Ferreira, P., Rego, F.C., Bunting, S., 2001a. Landscape changes and breeding bird assemblages in north-western Portugal: the role of fire. *Landscape Ecology*, 16: pp. 175–187.
- Moreira, F., Vaz, P., Catry, F., and Silva, J. S., 2009. Regional variations in wildfire susceptibility of land-cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. *Int. J. Wildland Fire* 18: pp. 563–574.
- Moreira, F., Catry, F. X., Rego, F., and Bacao, F., 2010. Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: when do ignitions turn into big fires? *Landsc. Ecol.* 25: pp. 1405–1417.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, F., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., and Bilgili, E., 2011. Landscape – wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *J. Environ. Manage.* 92: pp. 2389–2402, 2011.
- Mori, A., 1966. Sardegna. In: Migliorini (Ed.), *Le Regioni d'Italia*. UTET, Torino.
- Mouillot, F., Ratte, J., Joffre, R., Moreno, J., Rambal, S., 2003. Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a mediterranean landscape (Corsica, France). *Landscape Ecology*, 18: pp. 665-674.

- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: pp. 853-858.
- Naveh, Z., 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio*, 29: pp. 199-208.
- Nunes, M.C.S., Vasconcelos, M.J., Pereira, J.M.C., Dasgupta, N., Alldredge, R.J, Rego, F.C., 2005. Land-cover type and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively? *Landscape Ecology*, 20: pp. 661–673.
- NWCG, 2006. Glossary of Wildland Fire Terminology. National Wildfire Coordinating Group, PMS 205, Boise, Idaho, 2006.
- Pausas, J.P., 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climate Change*, 63: pp. 337–350.
- Pezzatti, G.B., Bajocco, S., Torriani, D., Conedera, M., 2009. Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (Southern Switzerland). *Plant Biosystems*, 143 (3): pp. 609–620.
- Pickett, S.T., White, P.S., 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. In: Pickett S.T., White P.S. (Eds), Academic Press, New York, NY, USA.
- Pignatti S., 1994. *Ecologia vegetale*. UTET, Torino.
- Pillai, R.B., Weisberg, P.J., Lingua, E., 2005. Object-oriented classification of repeat aerial photography for quantifying woodland expansion in central Nevada. Proceeding of the 20th Biennial Workshop on Aerial Photography, Videography and High Resolution Digital Imagery for Resource Assessment, October 4-6, 2005, Weslaco, Texas.
- PNCVD, 2007. Piano AIB 2007 – 2011 a cura di PNCVD - Ottobre 2007, Supervisione scientifica: Dip. ARBOPAVE Università degli studi Napoli "Federico II", Responsabile: prof. Stefano Mazzoleni.
- Podani, J., 2007. *Analisi ed esplorazione multivariata dei dati in ecologia e biologia*. Liguori Editore.
- Pracchi, R. & Terrosu Asole, A., 1971. *Atlante della Sardegna*. La Zattera Editrice, Cagliari.

- Prestemon, J. P., Pye, J. M., Butry, D. T., Holmes, T.P., Mercer, D.E., 2002. Understanding broad scale wildfire risks in a human-dominated landscape. *Forest Science*, 48: pp. 685-693.
- Rivas-Martínez, S., 2004. Global Bioclimatics (Clasificación Bioclimática de la Tierra). http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics_1.htm
- Roberts, D.W., 1996. Landscape vegetation modelling with vital attributes and fuzzy systems theory. *Ecological Modelling*, 90: pp. 175-184.
- Romero-Calcerrada, R., Novillo, C., Millington, J., Gomez-Jimenez, I., 2008. GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (Central Spain). *Landscape Ecology*, 23: pp. 341–354.
- Saba, F., 2004. Le cause degli incendi boschivi e rurali in Sardegna dalle ipotesi all'analisi dei dati. Atti convegno: Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall'analisi delle cause alle proposte di intervento, Cagliari, 14-15 Maggio 2004, pp. 19-40.
- Silva, J.S., Moreira, F., Vaz, P., Catry, F., Godinho-Ferreira, P., 2009. Assessing the relative fire proneness of different forest types in Portugal. *Plant Biosystems*, 143 (3): pp. 597-608.
- Smith, G.M. & Hoffmann, A., 2001. An Object Based Approach to Urban Feature Mapping. In Jürgens, Carsten (ed.) *Remote Sensing of Urban Areas*. Regensburger Geographische Schriften, Heft 35, Regensburg, pp. 100-106.
- Stambaugh, M.C. & Guyette, R.P., 2008. Predicting spatio-temporal variability in fire return intervals using a topographic roughness index. *Forest Ecology and Management*, 254: pp. 463–473.
- Stolle, F., Chomitz, K.M., Lambin, E.F., Tomich, T.P., 2003. Land use and vegetation fires in Jambi Province, Sumatra, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 179: pp. 277–292.
- Stewart, S.I., Radeloff, V.C., Hammer, R.B. And Hawbaker, T.J., 2007. Defining the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, 105: pp. 201–207.
- Sturtevant, B. R., Gustafson, E. J., Li, W., He, H. S., 2004. Modelling disturbance and succession in forest landscapes using LANDIS: introduction. *Ecological Modelling*, 180: pp. 1-5.
- Susmel, L., 1973. *Sviluppi e problemi attuali del controllo degli incendi nella foresta mediterranea*. Forest Dep., FAO, Roma

- Turner, M.G., Gardner, R.H., Dale, V.H., O'Neill, R.V., 1989. Predicting the spread of disturbance across heterogeneous landscape. *Oikos*, 55: pp. 121-129.
- Turner, M. G. & Romme, W. H., 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape Ecology*, 9: pp. 59-77.
- Vasconcelos, M.J.P., Silva, S., Tome´, M., Alvim, M. And Pereira, J.M.C., 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67: pp. 73–81.
- Vázquez, A. & Moreno, J. M., 1998. Patterns of lightning-, and people-caused fires in peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 8: pp. 103-115.
- Vázquez, A. & Moreno, J.M., 1993. Sensitivity of fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic areas of Spain. *Landscape and Urban Planning*, 24: pp. 129-142.
- Veblen, T.T., Kitzberger, T., Donnegan, J., 2000. Climatic and human influences on fire regimes in ponderosa pine forests in the Colorado Front Range. *Ecological Applications*, 10: pp. 1178–1195.
- Veblen, T.T., Kitzberger, T., Villalba, R., Donnegan, J., 1999. Fire history in northern Patagonia: The roles of humans and climatic variation. *Ecological Monographs*, 69: pp. 47-67.
- Vega-Garcia, C. & Chuvieco, E., 2006. Applying local measures of spatial heterogeneity to Landsat-TM images for predicting wildfire occurrence in Mediterranean landscapes. *Landscape Ecology*, 21: pp. 595–605.
- Vergari, F., Della Seta, M., Del Monte, M., Fredi, P., and Lupia Palmieri, E., 2011. Landslide susceptibility assessment in the Upper Orcia Valley (Southern Tuscany, Italy) through conditional analysis: a contribution to the unbiased selection of causal factors. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 11: pp. 1475-1497.
- Viedma O., Moreno J.M., Rieiro I., 2006. Interactions between land use/land cover change, forest fires and landscape structure in Sierra de Gredos. *Environmental Conservation*, 33: pp. 212–222.
- Viegas, D.X. & Viegas, M.T., 1994. A relationship between rainfall and burned area for Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 4: pp. 11-16.
- Wittemberg, L. & Malkinson, D., 2009. Spatio-temporal perspectives of forest fires regimes in a maturing Mediterranean mixed pine landscape. *European Journal of Forest Research*, 128: pp. 297–304.

Wotton, B.M. & Martell, D.L., 2005. A lightning fire occurrence model for Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: pp. 1389-1401.

Yang, J., He, H. S., Shifley, S. R., Gustafson, E. J., 2007. Spatial Patterns of Modern Period Human-Caused Fire Occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *Forest Science*, 53: pp. 1-15.

Zhang, Y. & Maxwell, T., 2006. A fuzzy logic approach to supervised segmentation for object- oriented classification. ASPRS 2006 Annual Conference Reno, Nevada.