

LA PREVENZIONE DA INCENDI BOSCHIVI IN AREE DI RILEVANTE INTERESSE NATURALISTICO: IL RUOLO DEI SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI

WILDFIRE PREVENTION IN NATURALISTIC AREAS: THE ROLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

G.V. Pintus*, B. Arca*, A. Ventura*, P. Duce*, A. Franca, G.A. Re**, F. Sanna****

Riassunto

Negli ultimi dieci anni le regioni europee del bacino mediterraneo (Italia, Spagna, Portogallo, Francia e Grecia) hanno registrato una perdita media annua di circa 500000 ettari di territorio a causa degli incendi boschivi. Anche per le aree boscate della Sardegna il fenomeno degli incendi boschivi rappresenta una seria minaccia con importanti conseguenze non solo da un punto di vista ecologico, ma soprattutto per gli effetti sul sistema socioeconomico. Un elevato numero di ignizioni si verifica nelle aree a vegetazione erbacea che ricopre il cinquanta per cento della superficie dell'isola. Fra queste, i pascoli e pascoli arborati, spesso adiacenti ad aree a macchia e ad aree a boschi di latifoglie, costituiscono una combinazione di biomasse combustibili vegetali le cui quantità possono avere degli effetti sul comportamento degli incendi, in particolare sulla propagazione verso le aree boscate adiacenti, caratterizzate spesso da rilevante interesse naturalistico. La protezione delle aree boschive rappresenta per la Regione Sardegna una delle priorità, anche al fine di una loro valorizzazione, funzionale all'ampliamento dell'offerta turistica sia attraverso l'allungamento della stagione turistica, sia attraverso l'ampliamento delle opportunità di fruizione dei beni naturali localizzati sia nelle aree costiere, sia soprattutto nelle aree interne.

Gli obiettivi principali del presente lavoro sono quelli di dimostrare come le moderne tecnologie basate sui sistemi informativi geografici siano un valido strumento per i) lo studio ed elaborazione di piani di prevenzione dagli incendi, finalizzati alla protezione di un'area a forte valenza naturalistica ubicata nel centro Sardegna, e ii) la valutazione dell'efficacia di pratiche silvo-pastorali nella riduzione del rischio di incendio e nella contemporanea promozione di uno sviluppo sostenibile del settore silvo-pastorale.

Lo studio è stato condotto presso la foresta demaniale di Monte Pisanu, una delle principali aree boscate del centro Sardegna; all'interno di quest'area è presente la foresta di Sos Nibberos, recentemente dichiarata "monumento naturale" con un decreto della Regione Sardegna. Quest'area ha una estensione di 7 ettari ed è popolata da tassi millenari con fusto alto fino a 15 metri e diametro di 1 metro. Ampie aree forestali caratterizzate da coperture arboree non elevate sono destinate al pascolamento ovino e bovino controllato.

* Istituto di Biometeorologia (IBIMET), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sassari.

** Istituto per il Sistema Produzione Animale in Ambiente Mediterraneo (ISPAAM),
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sassari.

I. Introduzione

Il fenomeno degli incendi boschivi, in Italia così come in molte altre aree del bacino del Mediterraneo, ha assunto nel corso degli ultimi 40 anni proporzioni drammatiche. Il territorio italiano è stato interessato mediamente da 12000-15000 eventi l'anno, con una superficie media annua percorsa da incendio di oltre 100000 ettari, di cui mediamente il 20 per cento è costituito da superfici boscate.

L'insorgenza degli incendi boschivi è dovuta soprattutto a cause antropiche di natura sia colposa, sia soprattutto dolosa (Saba F., 2004, pp. 19-45; Romero-Calcerrada R., 2008, pp. 341-354). La propagazione è fortemente influenzata dal tipico clima caldo arido del periodo estivo, durante il quale si verifica la maggior parte degli eventi, e dall'intensità dei venti, unitamente alla elevata infiammabilità di molte specie diffuse nel bacino del Mediterraneo, che determinano spesso elevate velocità di propagazione delle fiamme, e possono rendere l'incendio difficilmente controllabile con i mezzi di lotta terrestri e aerei (R.A.S., 2011, pp. 1-121). Ciò nonostante l'apparato nazionale per la lotta agli incendi abbia subito negli ultimi anni un forte sviluppo e ammodernamento tecnologico, caratterizzato soprattutto dall'introduzione di mezzi aerei sempre più flessibili ed efficaci, dislocati su un elevato numero di basi, al fine di ridurre i tempi di intervento.

Tuttavia, nei periodi con elevate frequenze giornaliere di incendio, l'apparato di lotta può non essere in grado di far fronte a tutte le richieste, e gli incendi non sottoposti a un pronto intervento di controllo possono diventare ingovernabili, percorrendo ampie superfici e arrecando danni rilevanti all'ambiente.

Varie analisi e studi condotti a livello nazionale e internazionale hanno enfatizzato le potenzialità delle azioni di pianificazione del territorio e di prevenzione a lungo e breve termine, realizzate anche grazie a all'uso di tecnologie informatiche, modelli di simulazione e sistemi di supporto alle decisioni (Martinez et al., 2009, pp. 1241-1252; Millington, 2005, pp. 33-42); tali interventi potrebbero essere inoltre utilizzati operativamente per una migliore gestione e coordinamento della fase di lotta attiva agli incendi. L'adozione di tali sistemi è particolarmente importante in quanto l'incendio è un evento che ha caratteristiche evolutive e dinamiche altamente variabili nel tempo e nello spazio, specialmente in presenza di coperture vegetali eterogenee e orografia complessa. In particolare, le coperture erbacee native del Bacino del Mediterraneo possiedono una struttura e funzioni ecosistemiche legate alla combinazione di diversi fattori, che vanno dalle variazioni climatiche inter e intra-annuali all'impatto degli animali al pascolo (Carmel et al., 1999, pp. 243-254; Del Pozo et al., 2006, pp. 791-798) sino al manifestarsi di più o meno severi fattori di disturbo, quali eventi naturali o attività antropiche (Espigares et al., 1995, pp. 145-152).

In un contesto silvopastorale, l'adozione dei suddetti modelli di simulazione richiede quindi la realizzazione di una complessa catena modellistica basata su: (i) il reperimento di una serie di tematismi relativi alle principali grandezze di influenza sul fenomeno, (ii) l'organizzazione di tali tematismi, adeguatamente georeferenziati, in un archivio omogeneo da utilizzare per le successive fasi di analisi spaziale dei dati, (iii) la produzione dei tematismi derivati da utilizzare per le applicazioni modellistiche.

Gran parte di queste attività possono essere realizzate solo grazie alla realizzazione di sistemi informativi geografici (GIS) delle aree di interesse, avvalendosi di specifiche suite di applicazioni software generalmente costituite da un motore cartografico e da un geodatabase oggi generalmente implementati in un'unica applicazione con funzionalità di Desktop GIS, nella quale un ambiente integrato consente l'utilizzo di funzionalità di acquisizione, archiviazione, consultazione ed elaborazione del dato territoriale, espresso principalmente sotto forma di modello raster o vettoriale (Kliskey A.D., 1995, pp. 15-22; Fiorucci P. et al., 2008, pp. 690-702). Infine, tali applicazioni consentono la riproiezione degli strati informativi in un sistema di riferimento omogeneo e la produzione dei relativi metadati (Travaglini D., 2004, pp. 128-134).

Un aspetto molto importante è rappresentato dalla qualità del dato da integrare all'interno del sistema informativo geografico, sia che si tratti di dati telerilevati sia che si tratti di dati di validazione rilevati a terra (Blaschke T., 2010, pp. 2-16). Relativamente ai dati telerilevati, da satellite e da piattaforma aerea, negli

ultimi anni si è osservato un notevole ampliamento delle risoluzioni spettrali, spaziali e temporali dei dati (Brivio P.A. et al., 2006, pp. 21-22). Per quanto riguarda la risoluzione spaziale si è ad esempio passati da ordini di grandezza delle decine e centinaia di metri (Landsat, Modis, ecc.) a risoluzioni dell'ordine di qualche metro e in alcuni casi submetriche (IKONOS, Quickbird, dati LIDAR, ecc.) (Arroyo L.A. et al., 2008, pp. 1239-1252; Lentile L.B., 2006, pp. 319-345; Wu J. et al., 2008, pp. 223-236). L'esigenza di utilizzare tali dati per fini di pianificazione territoriale ha determinato forti investimenti da parte di molte amministrazioni pubbliche, soprattutto a livello regionale, che ha ampliato notevolmente i set di dati disponibili (Scanu et al., 2006, pp. 249-268; Matta et al., 2009, pp. 1405-1409).

Gli obiettivi del presente lavoro sono quelli di dimostrare come le moderne tecnologie basate sui sistemi informativi geografici siano un valido strumento per i) lo studio ed elaborazione di piani di prevenzione dagli incendi, finalizzati alla protezione di un'area a forte valenza naturalistica ubicata nel centro Sardegna, e ii) la valutazione dell'efficacia di pratiche silvo-pastorali nella riduzione del rischio di incendio e nella contemporanea promozione di uno sviluppo sostenibile del settore silvo-pastorale.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

Lo studio è stato condotto presso la foresta demaniale di Monte Pisanu (Fig. 1). Questa foresta ha un'estensione globale di circa 2000 ettari ripartiti nei territori montani della catena del Goceano dei comuni di Bottida (circa 1400 ettari) e di Bono (594 ettari). Il Monte Rasu con i suoi 1258 metri domina questa regione caratterizzata da una altitudine media di 750 metri e da un clima tipicamente mediterraneo. Il periodo autunno-invernale è abbastanza piovoso con scarse precipitazioni nevose mentre la stagione primaverale-estiva è contraddistinta da scarse precipitazioni. Le condizioni climatiche estive e l'elevata ventosità che periodicamente interessa quest'area caratterizzano il paesaggio e la vegetazione, costituita prevalentemente da roverelle, sughere e lecci (Sanna, 2007, pp. 1-197). Alcune aree che in passato erano state interessate da interventi di rimboschimento con il cedro dell'atlante e il pino nero, sono attualmente oggetto di un programma di rinaturalizzazione e recupero con l'eliminazione parziale o totale di queste conifere. L'intervento antropico ha, inoltre, permesso la sopravvivenza di alcune specie relitte e rare come il biotopo *Taxus bacata* L. e *Ilex aquifolium* L. La presenza massiccia di estese formazioni di sughera (*Quercus suber* L.) e di castagno (*Castanea sativa* Mill.) sono legate a motivazioni di tipo economico. La prima ha rivestito e riveste tuttora un ruolo abbastanza importante nell'economia dell'isola; il secondo, come nella vicina Corsica, è stato massicciamente impiantato nel XIX sec., sia per il legname sia per i suoi frutti utilizzabili per l'alimentazione umana e del bestiame (Pintus G.V., 2007, pp. 1-86; ROTA M.P., 1998, pp. 39-51; Sanna, 2007, pp. 1-197). Il ricco sottobosco è caratterizzato da specie erbacee e arbustive, tra cui spiccano, per diffusione e importanza, *Erica arborea* L. e *Arbutus unedo* L., ma anche *Cistus*, *Cistus*, *Helichrysum italicum* (Roth), ad occupare le radure lasciate libere da sugherete, roverelle e, quando presenti, da lecci. Dal punto di vista erbaceo le specie botaniche più rappresentate appartengono in generale alle Famiglie delle Graminacee, delle Asteracee e delle Leguminose. In alcuni siti, forte è la dominanza di specie colonizzanti e scarsamente pabulari quali *Asphodelus microcarpus* Salzm. Et Viv. a tal punto da ridurre notevolmente la superficie a pascolo.

2.2 Trattamento dei dati

La realizzazione del lavoro ha richiesto la creazione di un sistema informativo geografico (GIS) sviluppato in ambiente ArcGIS (ArcGis 9.3.1), che contiene gli strati informativi utilizzati sia per la rappresentazione dell'area oggetto dello studio, sia per le successive applicazioni modellistiche (Fig. 2). Gli strati informativi sono costituiti da dati in formato raster e vettoriale; considerate le finalità di base per le quali è stato realizzato

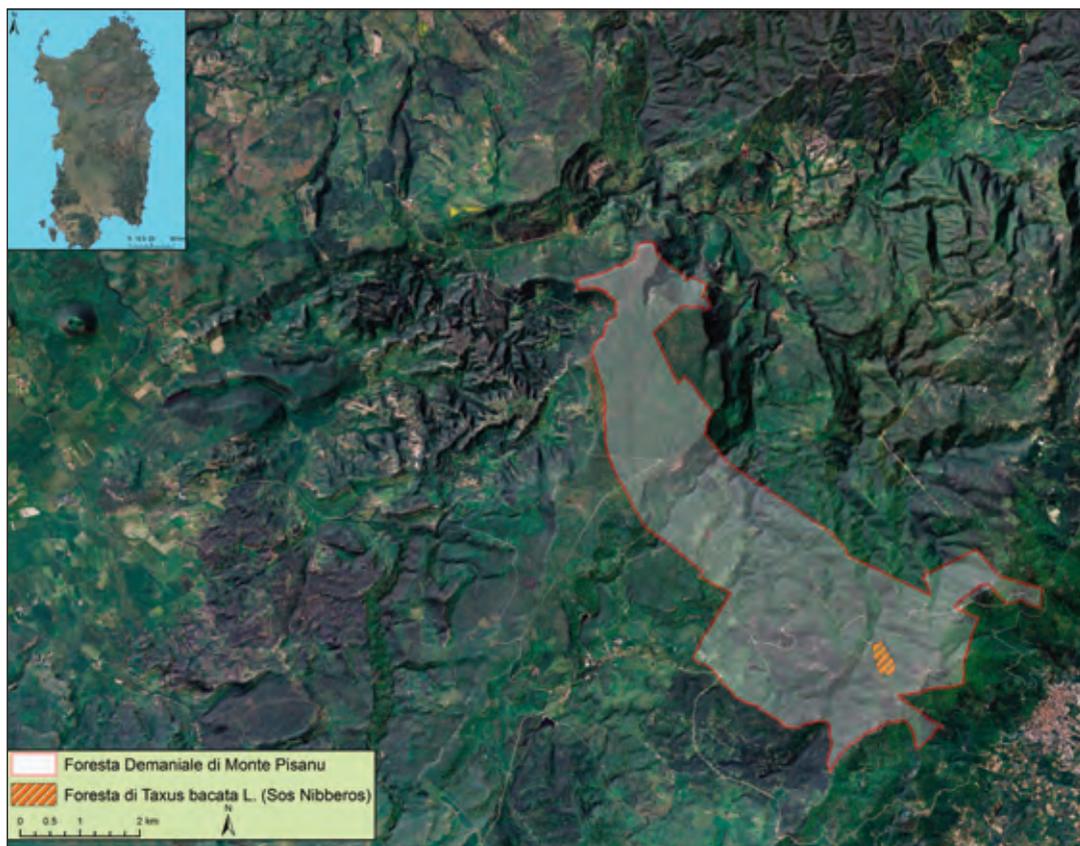


Fig. 1 – Mappa dell'area di studio, costituita dalla foresta demaniale di Monte Pisanu con al suo interno la foresta di Tassi "Sos Nibberos", dichiarata "monumento naturale" dalla Regione Sardegna.

il GIS, ovvero quello di fornire dati di input per i modelli di simulazione, la maggior parte dei tematismi sono stati rappresentati secondo un modello raster, caratterizzato da una risoluzione standard di 10 metri, eccetto che per i tematismi relativi alla velocità e direzione del vento, caratterizzati da una risoluzione di 50 metri. La rappresentazione del dato secondo un modello raster consente per ogni punto griglia una più diretta associazione dei valori che caratterizzano i differenti strati informativi e pertanto è maggiormente in grado di supportare con una adeguata base di dati le applicazioni modellistiche. In ambiente ArcGIS i dati sono stati organizzati e manipolati grazie alle funzionalità di ArcCatalog e agli strumenti di processamento dei dati geografici integrati in ArcToolBox, con particolare riguardo per le funzionalità di Spatial Analyst e di Data Management. Relativamente ai tematismi rappresentati in formato vettoriale, durante la fase di analisi sono state utilizzate funzioni di editing, di intersezione e di join spaziale. Tra i dati di input in formato raster utilizzati il più importante è il Modello Digitale del Terreno (DTM), dal quale sono stati ricavati gli strati informativi relativi alla pendenza e all'esposizione (Zhou Q. et al., 2004, pp. 369-378), due fattori di influenza sul comportamento degli incendi in quanto determinano la velocità di propagazione del fronte di fiamma e le condizioni di umidità, e pertanto di infiammabilità, del combustibile vegetale (Zhijun T. et al., 2009, pp. 463-471). La carta del combustibile, in formato vettoriale, è stata realizzata a partire dalla Carta

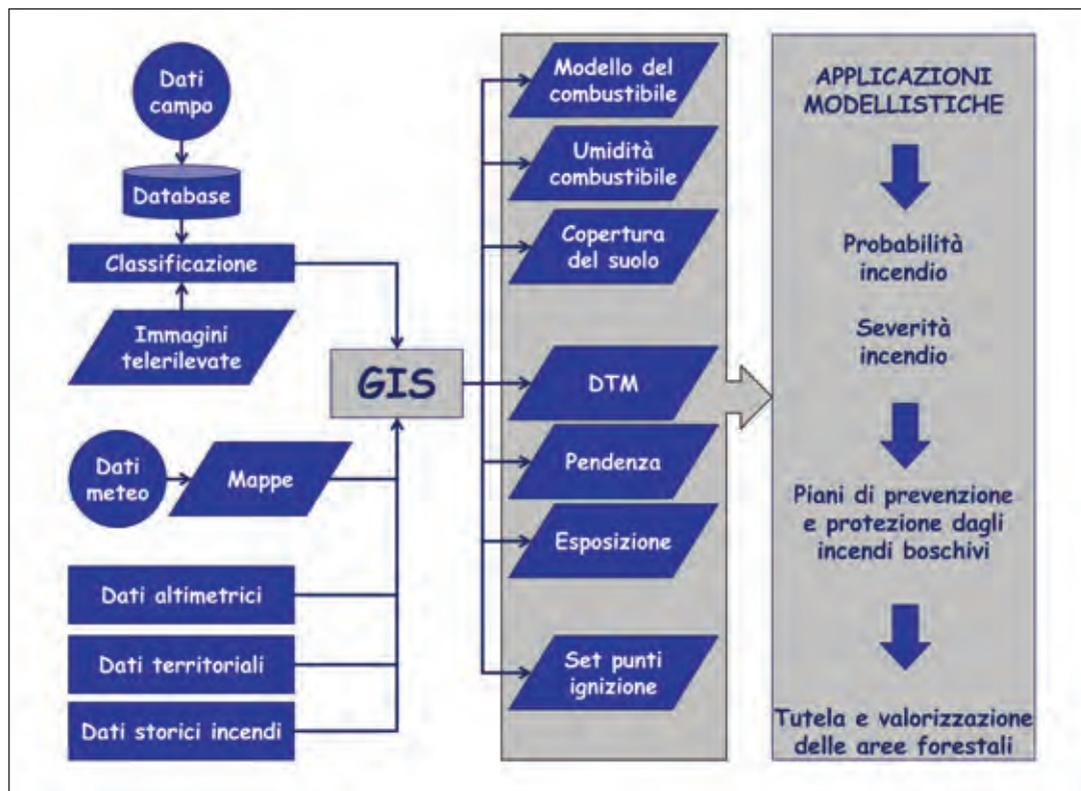


Fig. 2 – Flusso di attività connesse alla realizzazione di un GIS e delle conseguenti applicazioni modellistiche finalizzate allo sviluppo di piani di prevenzione e protezione dagli incendi boschivi.

dell'Uso del Suolo (aggiornata al 2008, in scala 1:25.000), mediante fotointerpretazione di ortofoto e analisi di immagini da satellite ad alta risoluzione (IKONOS); inoltre, è stato utilizzato un set di dati rilevati in campo, finalizzati alla determinazione del carico di combustibile erbaceo; in particolare i campionamenti sono stati effettuati in corrispondenza dell'inizio e della fine della stagione estiva in 23 siti di campionamento, posizionati su terreni pascolati e non (Bottai L. et al., 2008, pp. 75-87), identificati, sulla base dell'analisi aerofotogrammetrica e delle verifiche a terra, come aree rappresentative con limitata densità arborea (gaps, radure, disboscamenti) nelle quali viene normalmente condotta attività di pascolo (Sanna et al., 2009, pp. 347-348).

Il materiale vegetale campionato è stato pesato, sistemato in forno, e sottoposto ad essiccazione per 12 ore alla temperatura costante di 80°C; successivamente i campioni sono stati ripesati al fine di calcolare la sostanza secca e l'umidità del combustibile. Dall'analisi di immagini da satellite ad alta risoluzione è stata derivata anche la mappa della copertura forestale (Fig. 3), validata successivamente mediante rilievi in campo.

I dati sviluppati sono stati utilizzati per inizializzare il modello di simulazione della propagazione degli incendi FARSITE, implementato dal Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (Finney M.A., 1998, pp. 1-52). L'applicazione del simulatore FARSITE ha richiesto la realizzazione di uno strato informativo in formato vettoriale contenente un set di punti di ignizione estratto con criterio casuale

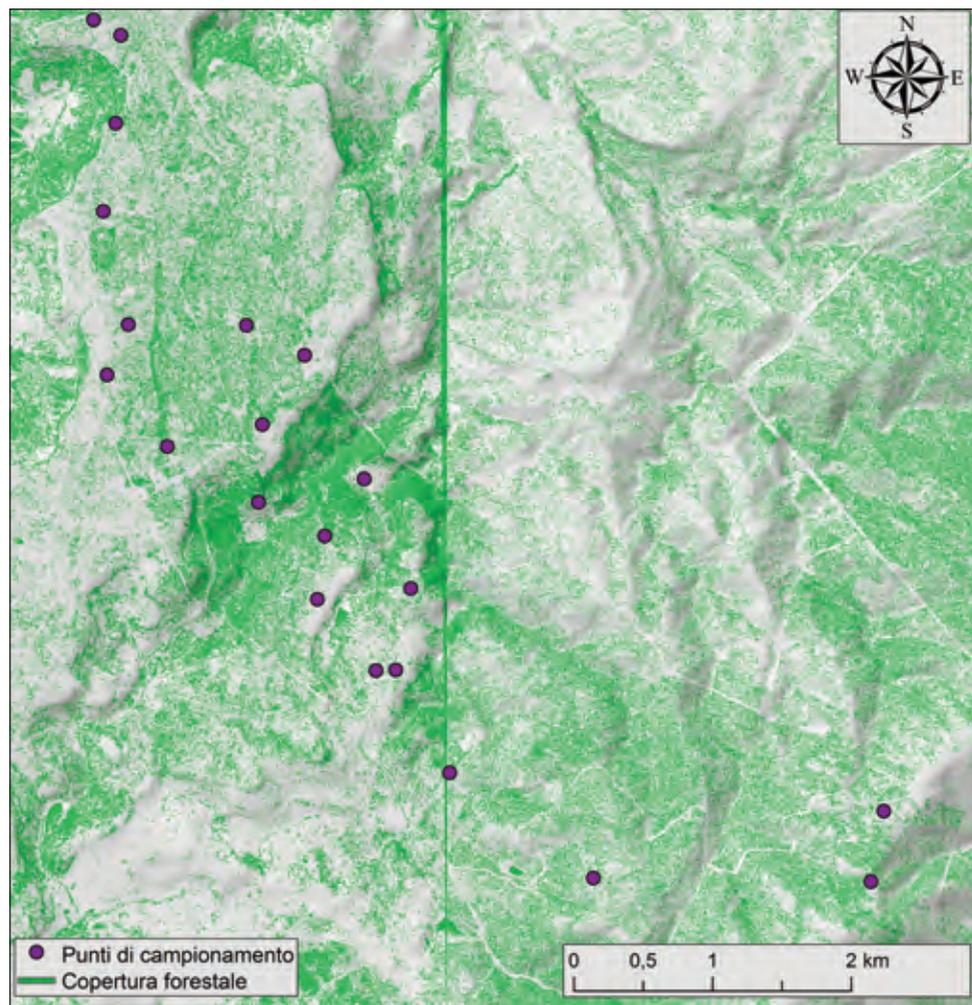


Fig. 3 – Mappa della copertura forestale in prossimità dei punti di campionamento.

in un'area di buffer di 10 metri intorno alla viabilità principale dell'area; tale tematismo è stato realizzato avvalendosi dei tools "Buffer" e "Create random points" (Arca B. et al., 2011, pp. 231-232; Arca B. et al., 2007, pp. 563-572).

Sono stati inoltre forniti al simulatore i dati sulle condizioni meteorologiche medie estive rappresentative dell'area oggetto di studio. Tutti gli strati informativi sono inquadrati nello stesso sistema di riferimento e pertanto a ogni strato informativo è stato associato il relativo metadato. Il sistema di proiezione adottato è l'UTM (Universal Transverse Mercator) fuso 32N, con datum WGS 84 (World Geodetic System).

L'utilizzo del simulatore per la propagazione degli incendi boschivi ha permesso di elaborare i seguenti tematismi di output, utilizzati per descrivere in maniera oggettiva il comportamento e la propagazione degli incendi simulati: probabilità di propagazione (%), velocità di propagazione (m/min), intensità lineare del fronte di fiamma (kW/m).

3. Risultati

L'implementazione all'interno del GIS dei tematismi di base relativi all'area di studio ha consentito la generazione di una serie di tematismi derivati molto utili per descrivere in maniera sintetica le caratteristiche del territorio. Ad esempio, l'analisi del modello digitale del terreno e, soprattutto, dei tematismi derivati quali esposizione e pendenza (Fig. 4) ha consentito di evidenziare come zone maggiormente sottoposte al rischio di incendio il margine nord occidentale e la catena montuosa del Marghine, che si estende da sud-est a nord-ovest. Tali aree sono infatti caratterizzate da esposizioni prevalenti a nord e nord-ovest, direzioni dalle quali proviene il vento dominante (maestrale) in termini di frequenza giornaliera e di intensità media. Relativamente a minore rischio sono le zone lungo l'area sud-orientale, esposte a sud e sud-est. L'analisi della mappa delle pendenze (Fig. 4) evidenzia che diverse aree a rischio per l'esposizione ai venti dominanti, sono caratterizzate anche da pendenze elevate in grado di favorire elevate velocità di propagazione degli incendi. Occorre considerare che le suddette aree sono a rischio di ignizione poiché caratterizzate da una rete stradale maggiormente estesa (Fig. 5); in questa figura si osserva un numero molto elevato di incendi verificatisi negli ultimi 13 anni nell'area sud-orientale; ciò è dovuto a una maggiore antropizzazione di quest'area, costituito prevalentemente da aree a pascolo; tuttavia, le aree incendiate sono in quest'area generalmente di dimensioni medie o medio-basse e non interessano aree forestali di elevato interesse naturalistico.

Lo studio dei suddetti tematismi, prevalentemente derivati da analisi effettuate nell'ambito del GIS, consente di estrarre informazioni utili per una migliore comprensione del fenomeno, finalizzata anche a mettere in atto azioni di tutela e salvaguardia. La seconda parte del lavoro ha però consentito di amplificare notevolmente il contenuto informativo di questi tematismi, in questo caso utilizzati non come parte finale dell'analisi, ma come dati di input per un'ulteriore procedura di elaborazione: l'applicazione dei modelli di previsione della propagazione degli incendi (Fig. 2). Tale elaborazione ha consentito di sfruttare le conoscenze sulla fisica del fenomeno e una serie di relazioni messe a punto per via sperimentale (modello di propagazione) per simulare uno scenario in cui un certo numero di incendi percorrano l'area nelle condizioni ambientali maggiormente frequenti e nelle condizioni vegetazionali determinate sia dalla protezione totale dell'area dal pascolamento, sia dallo sfruttamento a pascolo; è stato in tal modo generato un secondo set di tematismi derivati caratterizzati da un ulteriore contenuto informativo (Fig. 6).

In particolare sono stati generate le mappe della probabilità di propagazione, della velocità di propagazione e dell'intensità del fronte di fiamma. La probabilità di propagazione (Fig. 6) indica la frequenza percentuale con la quale ogni porzione del territorio potrebbe essere interessata da un set di incendi innescati e propagatisi nelle condizioni ambientali e vegetazionali tipiche di questo territorio. La figura mostra che nello scenario non pascolato la massima probabilità di propagazione (15-25%) si verifica soprattutto in una vasta area a nord e a sud-est (globalmente per un'estensione di 4800 ettari); incendi propagantesi in quest'area potrebbero quindi danneggiare sia l'area forestale a maggiore interesse naturalistico, sia interessare in parte (per 4000 metri lineari di estensione) la zona a sud-est a diretto contatto con le aree abitate, con un diretto rischio per la popolazione. Nello scenario pascolato si osserva invece una notevole riduzione (-86%) dell'area coperta dalle suddette classi di probabilità di incendio, e in generale una riduzione del 77 per cento delle aree bruciate, garantendo in tal modo maggiori probabilità di tutela del patrimonio forestale e dell'incolumità di operatori e popolazione.

Per quanto riguarda la velocità di propagazione (Fig. 6) lo studio ha evidenziato una bassa velocità di propagazione nello scenario pascolato, con i valori più elevati (maggiori di 36 metri al minuto) concentrati in piccole aree a nord-ovest e in limitate aree a pendenza molto elevata in corrispondenza della catena montuosa. Limitati valori della velocità di propagazione consentono di intraprendere azioni di lotta diretta a terra contro le fiamme rispettando i requisiti di sicurezza degli operatori e rendendo tali azioni più efficaci in termini di protezione del territorio.

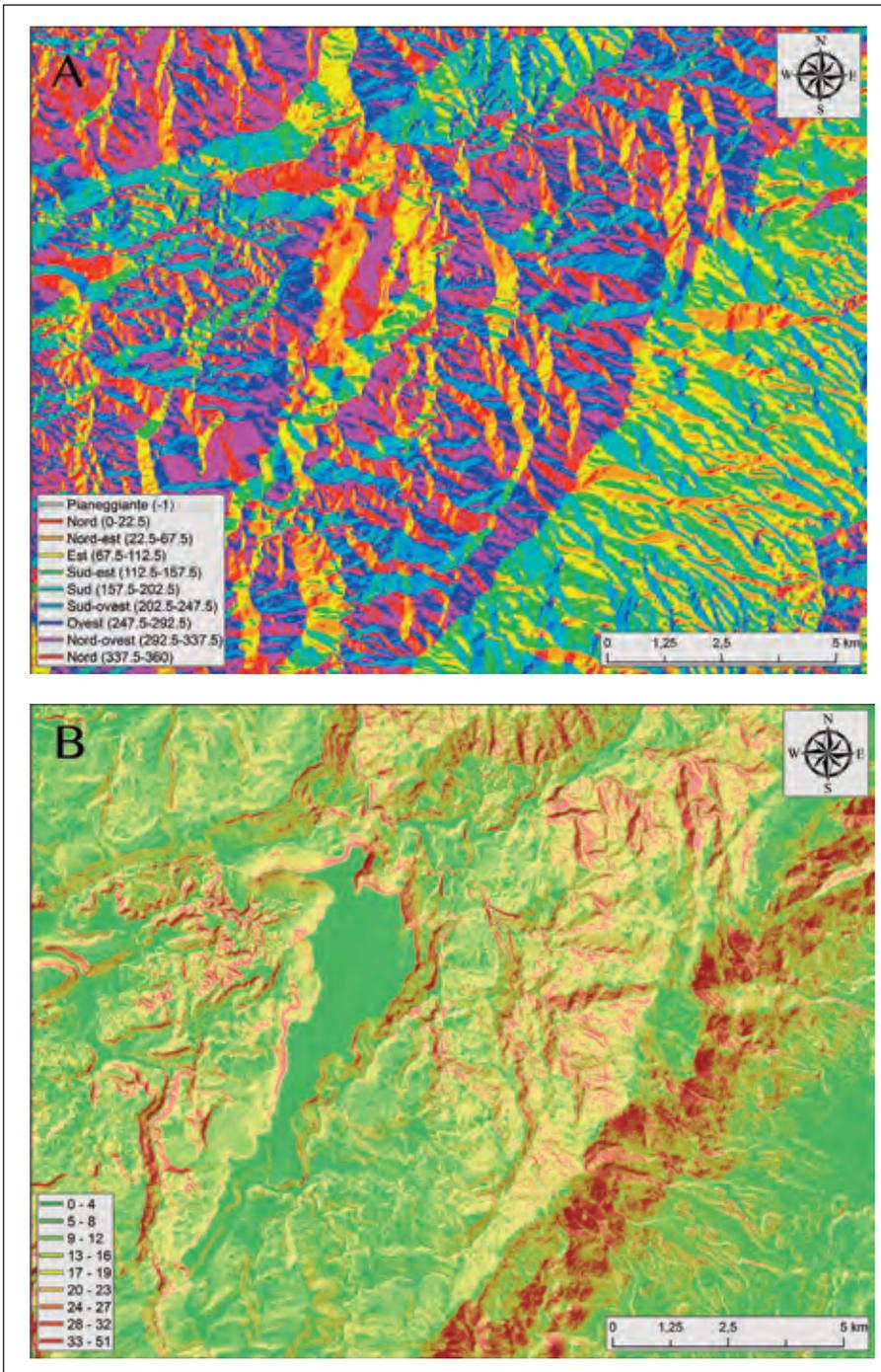


Fig. 4 – Mappa delle esposizioni (A) e delle pendenze (B) dell'area di studio, generate all'interno del GIS mediante funzioni di analisi spaziale; valori di pendenza ed esposizione espressi in gradi.

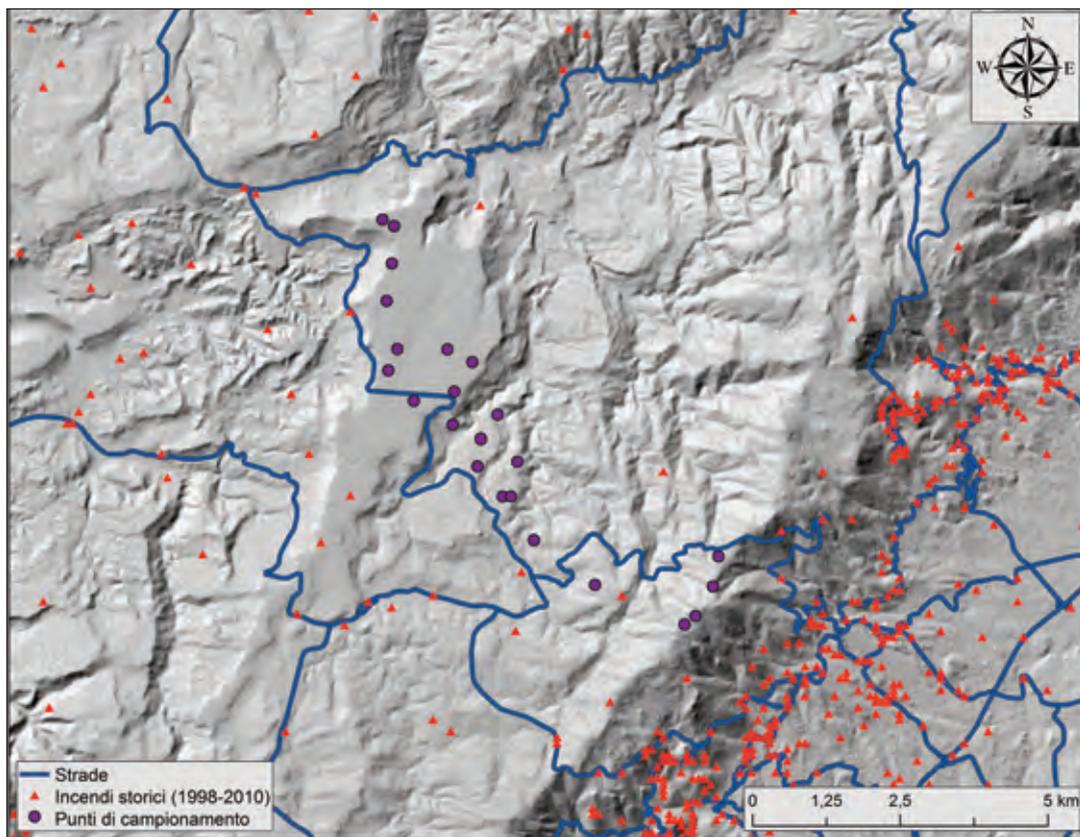


Fig. 5 – Mappa della rete stradale, degli incendi verificati nell'area di studio negli ultimi 13 anni e dei punti di campionamento del materiale vegetale.

Infine, per quanto riguarda l'intensità del fronte di fiamma (Fig. 6), lo studio ha evidenziato che nello scenario pascolato il 90% della superficie è caratterizzato da valori di intensità del fronte di fiamma inferiori a 1700 kilowatt per metro; poiché generalmente tali valori sono considerati come una soglia al di sopra della quale è difficile condurre interventi di lotta attiva in condizioni di sicurezza, possiamo dire che in gran parte dell'area ipoteticamente bruciabile possono essere eseguiti interventi di lotta attiva, in particolare con mezzi meccanici, garantendo gli standard di sicurezza degli operatori. Non altrettanto si può dire per lo scenario non pascolato, nel quale si osservano varie aree caratterizzate da valori dell'intensità del fronte di fiamma superiori alle soglie di sicurezza per un attacco a terra, e pertanto minori probabilità di salvaguardia delle aree a rischio.

4. Discussione e conclusioni

Questo lavoro ha analizzato le possibilità offerte dai sistemi informativi geografici nell'analisi dei dati territoriali e nel supporto per l'applicazione di modelli di simulazione finalizzati alla prevenzione dagli incendi in un'area a forte valenza naturalistica ubicata nel centro Sardegna. Lo studio condotto presso la foresta demaniale di Monte Pisanu ha evidenziato che le funzionalità di acquisizione, archiviazione, consultazione ed elaborazione

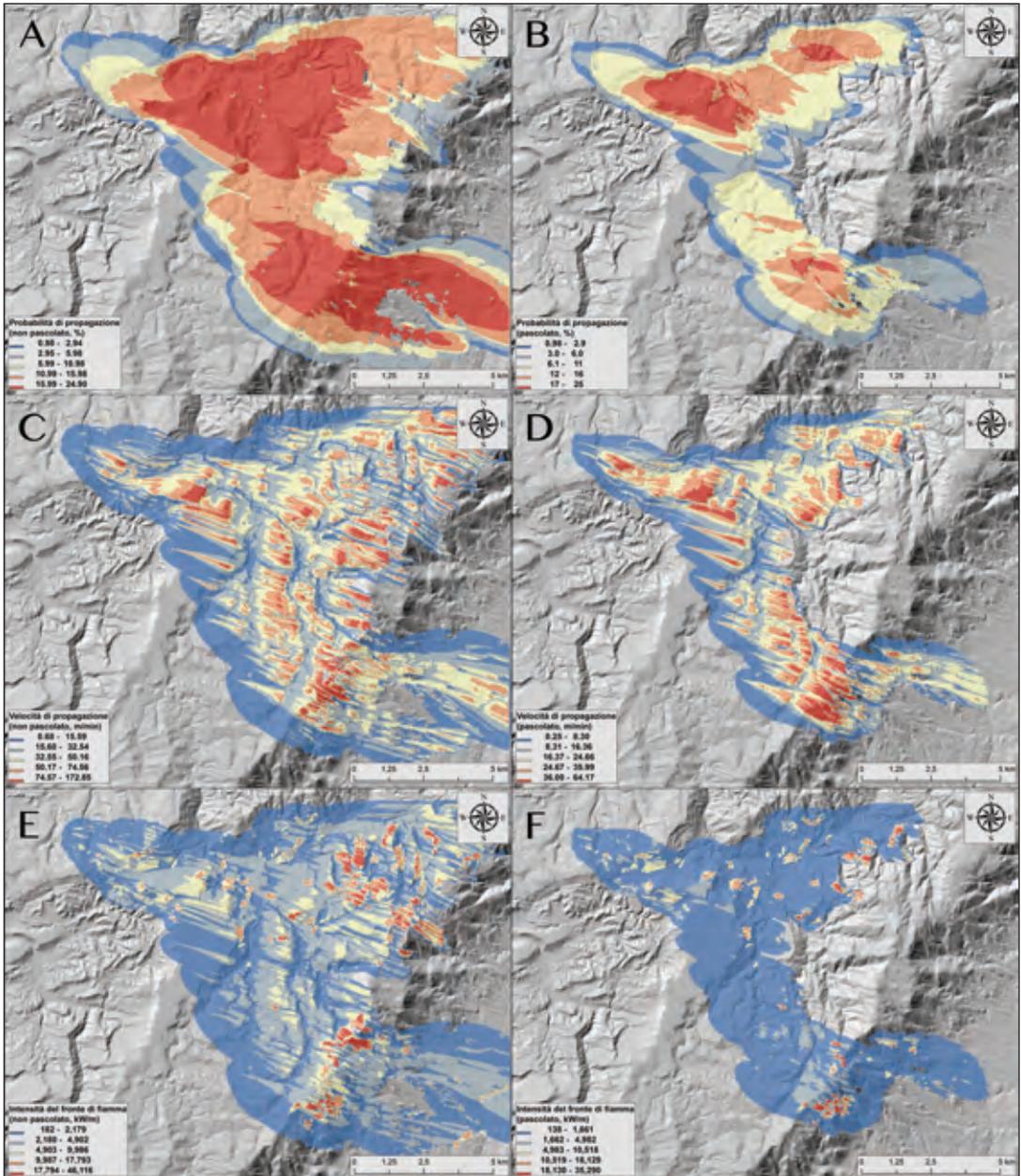


Fig. 6 – Valori della probabilità di propagazione, della velocità di propagazione e dell'intensità del fronte di fiamma simulati dal modello FARSITE per uno scenario di territorio non sottoposto a pascolamento (A, C, E) e pascolato (B, D, F).

del dato territoriale fornite dai GIS consentono la realizzazione di tematismi derivati molto utili per intraprendere proficue azioni di prevenzione e lotta agli incendi boschivi. Inoltre, il GIS rappresenta un punto centrale della filiera di analisi del dato territoriale che si conclude con l'applicazione di specifici modelli di simulazione. In questo caso i tematismi sviluppati all'interno del GIS hanno consentito l'applicazione di un modello di previsione della propagazione dell'incendio che ha evidenziato quali vantaggi in termini di prevenzione degli incendi si possono ottenere da una corretta gestione del territorio, in questo caso condotta attraverso un moderato pascolamento, rispetto a uno scenario di protezione integrale che invece aumenterebbe la vulnerabilità delle località a rilevante interesse naturalistico che ricadono all'interno dell'area di studio. GIS e modelli di simulazione possono quindi rappresentare elementi essenziali per la redazione di piani di prevenzione basati sull'individuazione di zone preferenziali nelle quali effettuare interventi per la riduzione del combustibile, interventi di difesa attiva, interventi di protezione della popolazione e piani per l'evacuazione delle aree abitate.

5. Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ente Foreste della Regione Sardegna per la preziosa collaborazione prestata per l'esecuzione dei rilievi in campo e il Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna per la fornitura dei dati storici sugli incendi boschivi.

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato con fondi del progetto MIUR (P.O. Sardegna, FSE 2007-2013, L.R. 7/2007) e del progetto Vegetatio (P.O. Interreg III A Sardegna-Corsica-Toscana).

6. Bibliografia

- ARCA B., PINTUS G.V., VENTURA A., DUCE P., FRANCA A., SALIS M. (2011) Spatial heterogeneity of fire spread and behaviour in a Sardinian wooded pasture, "Book of abstracts, ICFBR 2011, International conference on fire behaviour and risk- focus on wildland urban interfaces", pp. 231-232.
- ARCA B., P. DUCE, M. LACONI, G. PELLIZZARO, M. SALIS, AND D. SPANO (2007) Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. *International Journal of Wildland Fire* 16 pp. 563-572.
- ARROYO L.A., PASCUAL C., MANZANERA J.A. (2008) Firemodels and methods to map fuel types: The role of remote sensing, "Forest Ecology and Management", 256-6, pp. 1239-1252.
- BLASCHKE T. (2010) Object based image analysis for remote sensing, "ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 65, pp. 2-16.
- BOTTAI L., MONTAGHI A., MASELLI F. (2008) Il telerilevamento per il monitoraggio degli effetti degli incendi forestali, "Rivista italiana di Telerilevamento", 40-1, pp. 75-87.
- BRIVIO P.A., LECHI G., ZILIOI E. (2006), Principi e metodi del telerilevamento, CittàStudi edizioni, Torino, pp. 21-22.
- CARMEL Y., KADMON R. (1999) Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel, "Plant Ecology", 145, pp. 243-254.
- DEL POZO A., OVALLE C., CASADO M.A., ACOSTA B., DE MIGUEL J.M. (2006) Effects of grazing intensity in grasslands of the Espinal of central Chile, "Journal of Vegetation Science", 17-6, pp. 791-798.
- ESPIGARES T., PECO B. (1995) Mediterranean annual pasture dynamics: impact of autumn drought, "Journal of Ecology", 83, pp. 145-152.
- FINNEY M.A. (1998) FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development and Evaluation, Ogden, Res. Pap.

- RMRSRP-4. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, pp. 1-52.
- FIORUCCI P., GAETANI F., MIINCIARDI R. (2008) Development and application of a system for dynamic wildfire risk assessment in Italy, "Environmental Modelling & Software", 23, pp. 690-702.
- KLISKEY A. D. (1995) The role and functionality of GIS as a planning tool in natural-resource management, "Computers Environment and Urban Systems", 19-1, pp. 15-22.
- LENTILE L.B., HOLDEN Z.A., SMITH A.M.S., FALKOWSKI M.J., HUDAK A.T., MORGAN P., LEWIS S.A., GESSLER P.E., BENSON N.C. (2006) Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects, "International Journal of Wildland Fire", 15, pp. 319-345.
- MARTINEZ J., VEGA-GARCIA C., CHUVIECO E. (2009) Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain, "Journal of Environmental Management", 90, pp. 1241-1252.
- MARTÍNEZ S., RAMIL P., CHUVIECO E. (2010) Monitoring loss of biodiversity in cultural landscapes. New methodology based on satellite data, "Landscape and Urban Planning", 94-2, pp. 127-140.
- MATTA M., COGONI A., GESSA A. (2009) Il database multiprecisione della Regione Sardegna, "Atti 13° Conferenza Nazionale Asita", pp. 1405-1409.
- MILLINGTON J.D.A. (2005) Wildfire risk mapping: considering environmental change in space and time, "Journal of Mediterranean ecology", 6-1, pp. 33-42.
- PINTUS G.V. (2007) Le trasformazioni culturali, sociali ed economiche della Corsica attraverso lo studio della micro-regione del Niolu, "Tesi di laurea. Facoltà di Lettere. Università degli Studi di Sassari", pp. 1-86.
- REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (2011) Piano regionale di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2011-2013, pp. 1-121.
- ROMERO-CALCERRADA R., NOVILLO C.J., MILLINGTON J.D.A., GOMEZ-JIMENEZ I. (2008) GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in SW of Madrid (Central Spain), "Landscape Ecology", 23, pp. 341-354.
- ROTA M.P. (1998) Il XIX secolo: verso la rottura di un equilibrio nella montagna corsa, "Atti del convegno - Il Mare in basso", pp. 39-51.
- SABA F. (2004) Le cause degli incendi boschivi e rurali in Sardegna: dalle ipotesi all'analisi dei dati, "Atti del convegno Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall'analisi delle cause alle proposte di intervento", pp. 19-45.
- SANNA F. (2007) Le aree a pascolo in ambiente forestale mediterraneo: valutazione di metodologie di rilevamento pastorale e valorizzazione di specie native, per la gestione multiuso di aree forestali, "Tesi di dottorato. Facoltà di Agraria. Università degli Studi di Sassari", pp. 1-197.
- SANNA F., RE G.A., FRANCA A. (2009) Variabilità della copertura pascoliva nella Foresta di Monte Pisanu in Sardegna, "Atti del XXVIII Convegno Nazionale della Società di Agronomia", pp. 347-348.
- SCANU G., MADAU C., MARIOTTI G. (2006) Cartografia e nuovi orientamenti delle politiche del turismo in Sardegna, "Bollettino A.I.C.", 126-127-128, pp. 249-268.
- TRAVAGLINI D. (2004) Transformation of coordinate systems: software, limits and potentialities, "Forest@", 1, pp. 128-134.
- WU J., BAUER M. E., WANG D., MANSON S. M. (2008) A comparison of illumination geometry-based meth-

ods for topographic correction of QuickBird images of an undulant area, "ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 63-2, pp. 223-236.

ZHIJUN T., JIQUAN Z., XINGPENG L. (2009) GIS-based risk assessment of grassland fire disaster in western Jilin province, China, "Stoch Environ Res Risk Assess", 23, pp. 463-471.

ZHOU Q., LIU X (2004) Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties, "Computers & Geosciences", 30-4, pp. 369-378.