

Urbanizzazione e paesaggio costiero: alcune implicazioni sul rischio di incendio in un'area turistica della Sardegna

Grazia Pellizzaro (*), Bachisio Arca (*), Gian Valeriano Pintus (*), Roberto Ferrara (*),
Christophe Bouillon (**), Pierpaolo Duce (*)

(*) Istituto di Biometeorologia (IBIMET), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sassari, Traversa La Crucca, 3 -
Località Baldinca- Li Punti 07100 Sassari (SS) Italia, tel +39.079.2841501 - Fax +39.079.2841599

(**) Écosystèmes méditerranéens et risques (EMAX), Institut national de recherche en sciences et technologies
pour l'environnement et l'agriculture, Aix-en-Provence
G.Pellizzaro@ibimet.cnr.it

Riassunto

In molte aree costiere della Sardegna, a partire degli anni '60, si è verificato un rapido e intenso sviluppo dell'industria del turismo che ha determinato una conseguente antropizzazione del territorio e un aumento della presenza delle cosiddette aree di interfaccia urbano-rurale (*WUI*). Con tale termine si intendono aree antropizzate in cui la zona urbana entra in contatto con le aree naturali circostanti e/o in cui gli edifici sono costruiti con diversi gradi di densità, direttamente all'interno di spazi naturali. Molte di queste aree, ogni anno, vengono minacciate da un elevato numero di incendi spesso di origine antropica.

Gli obiettivi principali di questo lavoro sono: i) classificare e valutare l'evoluzione spazio temporale delle *WUI* in un'area turistica costiera del Nord-Est della Sardegna ii) studiare le variazioni della probabilità di incendio in relazione al cambiamento dell'uso del suolo avutosi tra gli anni '50 e gli anni 2000.

Mediante l'uso di un sistema informativo geografico (*GIS*), per gli anni 1954, 1977, 2000 sono state identificate, classificate e mappate le *WUI* presenti nel territorio. Successivamente, mediante l'impiego del simulatore di propagazione degli incendi *FlamMap*, sono state realizzate mappe di probabilità di passaggio del fuoco in funzione delle variazioni di uso del suolo avvenuti nell'area durante il periodo di studio.

I risultati conseguiti hanno evidenziato come le variazioni di uso del suolo e l'evoluzione spazio temporale dell'edificato influiscano sul pericolo di incendio boschivo. Lo studio ha inoltre confermato le potenzialità di questo tipo di analisi come strumento per gli amministratori e per i pianificatori del territorio da utilizzare sia per la realizzazione di piani di prevenzione degli incendi boschivi che per la pianificazione territoriale.

Parole chiave: Urbanizzazione, *GIS*, *FlamMap*, interfaccia urbano-rurale.

Abstract

In several coastal areas of Sardinia, from the 1960s, there has been a rapid and intense development of the tourism industry which led to intense human settlements and a consequent increase in the presence of so-called wildland-urban interface (*WUI*) areas. From a geographical point of view this term refers to a collection of situations ranging from cases where the urban area extends towards the surrounding natural areas to cases where the buildings are built directly within of natural areas, with different degrees of density. A large number of anthropogenic fire ignitions, due to arsonist, accidents, and negligence, occur every year in these areas.

The main objectives of this work are: i) to classify and evaluate the spatio-temporal evolution of the *WUI* in a tourist area in the North-East of Sardinia ii) to estimate the probability of fire in relation to land use change occurred between the 1950s and the 2000s.

A geographic information system (GIS) has been employed to classify and map the WUI in the area for the years 1954, 1977 and 2000 and the fire propagation simulator FlamMap has been used to estimate the probability of fire propagation in relation to the changes in land use.

The results demonstrate how the changes in land use and the space-time evolution of the buildings affect the risk of forest fire. The study also confirms the potential of this type of analysis as a tool for administrators, policy makers and management agencies, in the realization of wildfire prevention plans and landscape development plans.

Keywords: Urbanization, Fire risk, Gis analysis, FlamMap, Wildland-Urban interface.

1. Introduzione

Nel bacino del Mediterraneo il fenomeno degli incendi boschivi ha assunto negli ultimi quarant'anni proporzioni sempre più drammatiche con conseguenze rilevanti dal punto di vista ecologico, ed evidenti ripercussioni sul sistema socioeconomico (Shakesby, 2011).

Tra il 2000 e il 2008 in Italia, Spagna, Portogallo, Francia e Grecia si sono verificati complessivamente circa 60.000 incendi annui con una perdita media annua di 450000 ettari di territorio vegetato (Salis et al., 2009).

Anche per la Sardegna gli incendi boschivi rappresentano una seria minaccia; nel periodo compreso tra il 1999 e il 2008 è stata registrata una perdita annua di circa 18000 ettari di territorio con una media di 2.800 eventi l'anno (Salis et al., 2009). La quasi totalità degli incendi boschivi, principalmente di natura colposa e dolosa (Saba, 2004; Romero-Calcerrada et al., 2008), si verifica durante il periodo estivo quando il tipico clima caldo arido, l'intensità dei venti, unitamente all'elevata infiammabilità di molte specie vegetali diffuse nel bacino del Mediterraneo, determinano spesso elevate velocità di propagazione delle fiamme, rendendo difficoltose le operazioni di lotta attiva contro gli incendi (R. A. S., 2011).

In Sardegna, a partire dagli anni '60, così come in altri paesi del bacino del Mediterraneo, si è verificato un rapido e intenso sviluppo dell'industria del turismo che ha comportato il passaggio da un'economia a forte impronta agro-pastorale a un'economia indirizzata verso il settore terziario. Queste variazioni socio-economiche hanno determinato un rapido cambiamento di uso del suolo (*land-cover and land-use change-LCLU change-*) delle aree costiere isolate di frequente unite a un disordinato processo di antropizzazione e di espansione dell'edificato, anche in aree di grande pregio paesaggistico (Serra et al., 2008; Bajocco et al., 2010). Questo fenomeno ha portato come conseguenza a un aumento della presenza delle cosiddette aree di interfaccia urbano-rurale (WUI). Con questo termine si indica le aree in cui la zona urbana entra in contatto con le aree naturali circostanti e/o in cui gli edifici sono costruiti con diversi gradi di densità, direttamente all'interno di spazi naturali (Vince et al., 2005; Stewart et al., 2007; Herrero-Corral et al., 2012, Alavalapati et al., 2005)

Le WUI risultano essere particolarmente vulnerabili al rischio di incendio soprattutto durante la stagione turistica estiva quando la presenza antropica aumenta notevolmente e le condizioni meteorologiche e della vegetazione possono essere critiche per l'insorgenza e la propagazione di un incendio. Il rischio di incendio in queste aree è molto alto a causa dei possibili ingenti danni ambientali, materiali e, soprattutto, in termini di perdita di vite umane (Hammer et al., 2007, Salis et al., 2014).

Gli incendi presentano caratteristiche evolutive e dinamiche altamente variabili nello spazio e nel tempo soprattutto nel caso delle WUI in cui la vegetazione e il territorio possono essere caratterizzati da un elevato grado di eterogeneità (Salis et al., 2009). Numerosi studi condotti a livello nazionale e internazionale hanno messo in evidenza l'importanza dell'utilizzo dei simulatori per la realizzazione di una cartografia relativa alla probabilità di propagazione degli incendi.

Obiettivo del presente lavoro è quello di studiare l'evoluzione recente delle aree di interfaccia urbano-rurale in un'area costiera della Sardegna e, mediante l'impiego del simulatore di propagazione degli incendi *FlamMap*, di stimare la probabilità di passaggio del fuoco in quest'area e, infine, valutare come le variazioni di interfaccia e di uso del suolo influiscano sul pericolo di incendio boschivo.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

Lo studio è stato condotto in un'area di circa 900 km² appartenente principalmente ai territori comunali di San Teodoro e Budoni (Figura 1). L'area è caratterizzata dalla presenza di insediamenti turistici residenziali costieri e da un'area periurbana caratterizzata dalla presenza di interfaccia di tipo diffuso edificata all'interno sia di campi destinati a uso agricolo sia di aree ricoperte da vegetazione a macchia mediterranea. Il clima è di tipo Mediterraneo con precipitazioni principalmente concentrate in autunno e in inverno e con condizioni di deficit idrico che si verificano da Maggio a Settembre. Il campo di vento è caratterizzato da direzioni prevalenti da nord-ovest e ovest, alle quali sono associati venti di intensità elevata o forte; i venti provenienti da sud-est sono meno frequenti e generalmente caratterizzati da intensità intermedie.

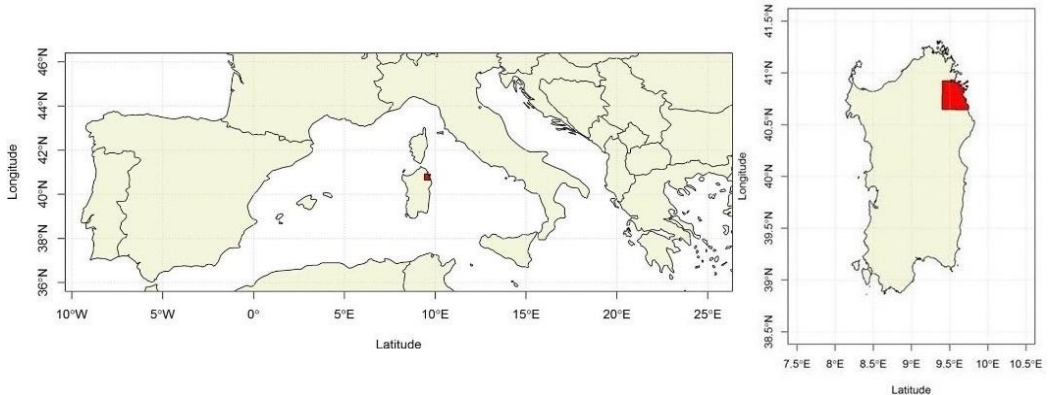


Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio.

2.2 Trattamento dei dati

Per lo svolgimento del lavoro è stato realizzato un sistema informativo geografico (GIS) sviluppato in ambiente ArcGIS (ArcGis 9.3.1), contenente gli strati informativi utilizzati sia per l'identificazione, la classificazione e la mappatura delle WUI, sia per le successive applicazioni modellistiche.

Tutti gli strati informativi in formato vettoriale e raster, relativi alle variabili di influenza sul comportamento degli incendi (variabili meteorologiche, configurazione spaziale/geografica degli edifici, stato e tipologia del combustibile vegetale), sono stati inquadrati nello stesso sistema di proiezione: l'UTM (*Universal Transverse Mercator*) fuso 32N, con datum WGS 84 (*World Geodetic System*). La classificazione delle WUI relativamente a tre differenti finestre temporali (1954, 1977, 2000), è stata effettuata secondo la metodologia proposta da Lampin et al. (2009; 2010; 2011), che prevede la classificazione dell'edificato in funzione della distanza tra gli edifici e della loro densità, e individua quattro tipologie di edificato: isolato (*isolated*), diffuso (*scattered*), denso (*dense*) e molto denso (*very dense*). In una seconda fase il metodo prevede la classificazione del combustibile vegetale adiacente l'edificato in tre gruppi in funzione del tipo e della continuità orizzontale della vegetazione: AI-*nul* (assenza di vegetazione o presenza di vegetazione non bruciabile), AI-*low* (presenza di vegetazione sparsa), AI-*high* (presenza di vegetazione densa e continua). Infine, il metodo prevede la classificazione delle WUI in 12 classi mediante la combinazione delle quattro diverse tipologie dell'edificato con le 3 classi del combustibile presente (Lampin-Maillet et al., 2010; Lampin-Maillet et al., 2009; Lampin-Maillet, Bouillon, 2011).

Per la simulazione della velocità di propagazione è stato utilizzato il simulatore *FlamMap* (Finney, 2006), basato sul modello di Rothermel (1972) e sull'algoritmo di propagazione *minimum travel time* (Finney, 2006). I seguenti strati informativi di input per il simulatore sono stati generati in formato raster: modello digitale del terreno, mappa delle pendenze, mappa delle esposizioni, mappa dei modelli di combustibile, mappa della direzione e intensità del vento. Tutti gli strati informativi

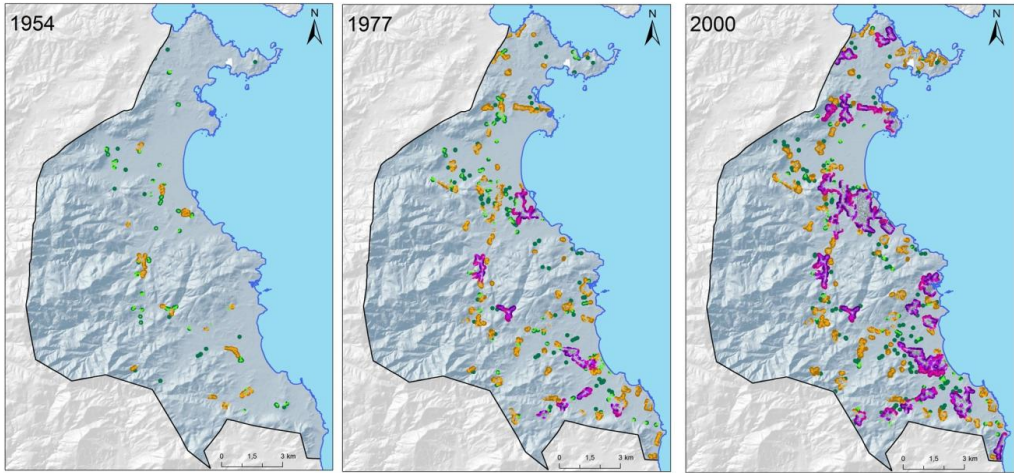
sono stati realizzati con una risoluzione di 100 metri. Le simulazioni sono state condotte ipotizzando due scenari di umidità del combustibile, uno severo e uno estremo, caratteristici di molte delle giornate a elevato rischio di incendio della regione Sardegna. Infine, per inizializzare le simulazioni della propagazione, sono stati generati due set di 10000 punti di ignizione che coprono l'intera area di studio. I punti di ignizione sono stati generati sia con criterio casuale, sia mediante l'utilizzo delle probabilità di ignizione osservate nell'area dal 1995 al 2005.

La mappa dei modelli di combustibile è stata realizzata per le tre differenti finestre temporali (1954, 1977, 2000), mediante la fotointerpretazione di ortofoto e immagini satellitari; per l'ultimo periodo di analisi (2000) è stata inoltre utilizzata la Carta dell'Uso del Suolo (aggiornata al 2000, in scala 1:25000). Le mappe sono state quindi riclassificate in 8 classi corrispondenti ai principali modelli di combustibile riscontrabili nel territorio regionale: 1-*agriculture crops*, 2-*grasslands*, 3-*garigue*, 4-*medium maquis*, 5-*high maquis*, 6-*conifer*, 7-*broadleaf*, 8-*not burnable*.

3. Risultati e Discussione

Nei comuni di Budoni e San Teodoro le maggiori trasformazioni edilizie si sono avute negli anni 60' e 70' e mostrano chiaramente il passaggio da un'economia di tipo agropastorale a un'economia basata massimamente sul turismo. Questo fenomeno è stato determinato sia dal particolare sviluppo demografico, sia da un maggiore afflusso turistico che ha portato alla costruzione di numerosi villaggi turistici e alla costruzione di abitazioni da affittare o vendere ai sempre più numerosi vacanzieri. L'espansione urbanistica ha interessato sia i centri urbani preesistenti sia le aree circostanti di grande pregio paesaggistico. È quindi comparso lungo la costa, anche a ridosso degli arenili, un nuovo edificato molto compatto che era completamente assente negli anni 50' (Figura 2). Tali trasformazioni sono state affiancate da variazioni delle altre classi di uso del suolo, agricolo e forestale (Figura 3, Tabella 1). In particolare tra il 1977 e il 2000, le classi maggiormente interessate da variazioni sono state quelle della gariga, della macchia di media altezza, e dei pascoli. Poiché si tratta di tipologie vegetazionali in grado di supportare elevate velocità di propagazione, una variazione della frequenza relativa delle stesse porta a variazioni della probabilità di propagazione, ovvero della frequenza percentuale con la quale ogni porzione del territorio può essere interessata da un incendio, innescato in qualsiasi punto dell'area di studio, che si propaghi nelle condizioni ambientali e vegetazionali tipiche dell'area stessa.

L'utilizzo di *FlamMap* ha permesso di calcolare la probabilità di propagazione nei differenti periodi. La figura 4 mostra come le più alte probabilità di propagazione (15-25%) si verificano nello scenario estremo, caratterizzato da basse umidità del combustibile, che rappresenta uno dei principali fattori di influenza sulla probabilità di incendio. La Figura 4 mostra ancora che le variazioni dell'uso del suolo verificatesi tra il 1977 e il 2000 hanno portato a una evidente riduzione della probabilità di propagazione, in particolare nel settore meridionale dell'area di studio. Tali riduzioni possono essere in gran parte spiegate con la riduzione delle classi vegetazionali caratterizzate da elevate propensioni ad essere percorse dalle fiamme con elevate velocità di propagazione; inoltre, lo studio ha evidenziato inoltre un duplice effetto delle unità abitative. In generale si può ipotizzare un aumento del rischio legato agli incendi soprattutto nelle aree sopravvento maggiormente esposte ad elevate probabilità di propagazione in cui l'aumento dell'edificato comporta una maggiore esposizione al rischio delle persone. D'altro canto la presenza dell'edificato rappresenta anche un fattore di riduzione della probabilità di propagazione nelle aree sottovento, più vicine alla costa, agendo come una sorta di linea di discontinuità del combustibile e rallentando quindi la propagazione dell'incendio verso le coste in presenza di forti venti da Nord-Ovest.



Legend

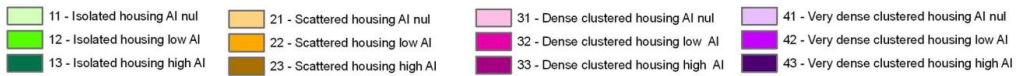


Figura 2 – Mappatura delle aree di interfaccia urbano rurale (WUI) nei territori comunali di San Teodoro e Budoni Alghero dal 1954 al 2000.

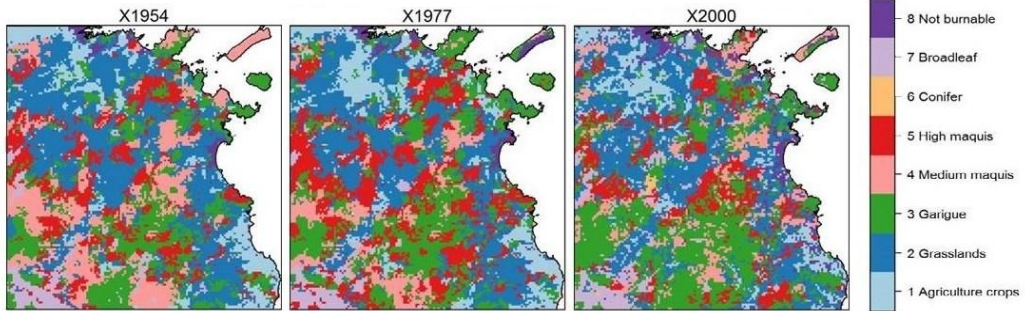


Figura 3 – Mappa dei modelli di combustibile riscontrabili nell'area, relativa agli anni 1954, 1977, 2000.

%	1-Agriculture crops	2- Grasslands	3-Garigue	4- Medium maquis	5-High maquis	6-Conifer	7-Broadleaf	8-Not burnable
1-Agriculture crops	49	38	2	0	0	0	0	9
2- Grasslands	9	66	10	4	4	0	2	4
3-Garigue	1	8	60	15	9	0	3	3
4- Medium maquis	0	10	50	22	12	0	5	1
5-High maquis	0	12	26	15	37	1	8	1
6-Conifer	0	0	0	7	5	83	0	5
7-Broadleaf	0	9	2	1	3	0	86	0
8-Not burnable	0	2	15	4	0	0	0	78

Tabella 1 – Variazioni percentuali tra il 1977 e il 2000 delle superfici caratterizzate dai diversi modelli di combustibile riscontrabili nell'area.

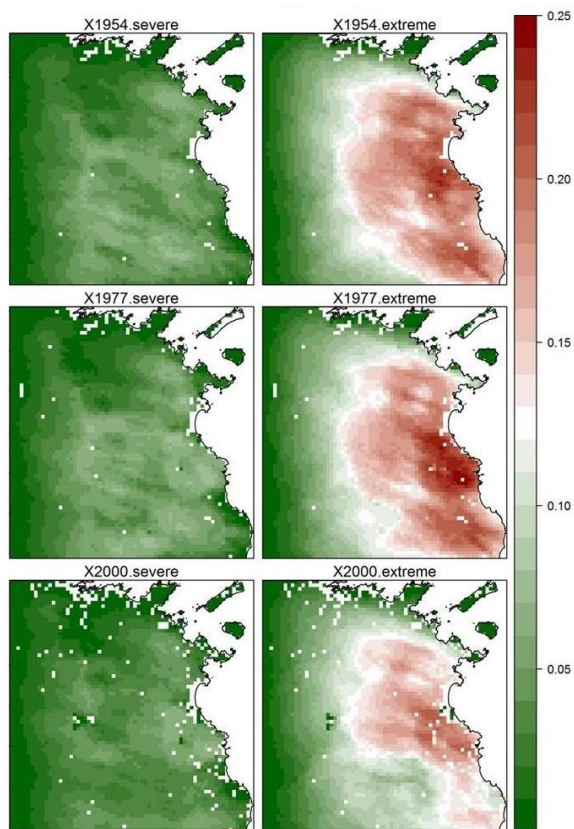


Figura 4 - Valori della probabilità di propagazione simulati dal modello FlamMap per uno scenario di territorio in condizioni meteo severe (sinistra) ed estreme (destra); intensità del vento di 30 km h^{-1} .

4. Ringraziamenti

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato con fondi del progetto europeo FUME FP7/2007-2013, Grant Agreement 243888, e con fondi del progetto EXTREME (Legge Regione Sardegna 7/2007, CRP-25405).

Riferimenti bibliografici

- Alavalapati J.R.R., Carter D.R., Newman D. H. (2005), "Wildland-urban interface: Challenges and opportunities", *Forest Policy and Economics*, 7: 705-708
- Bajocco S., Pezzatti G. B., Mazzoleni S., Ricotta C. (2010), "Wildfire seasonality and land use: when do wildfires prefer to burn?", *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1): 445-452
- Finney M.A. (2006), "An overview of FlamMap fire modeling capabilities", Fuels Management – How to Measure Success: Conference Proceedings, 28–30 March, Portland, OR, Eds PL Andrews, BW Butler, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-41, pp. 213–220, Fort Collins, CO
- Hammer R. B., Volker C. R., Fried J. S., Stewart S. I. (2007), "Wildland–urban interface housing growth during the 1990s in California, Oregon, and Washington", *International Journal of Wildland fire*, 16: 255–265
- Herrero-Corral G., Jappiot M., Bouillon C., Long-Fournel M. (2012), "Application of geographical assessment method for the characterization of wild-urban interfaces in the context of wildfire prevention: a case study in western Madrid", *Applied Geography*, 35: 60-70.

- Lampin-Maillet C., Bouillon C. (2011), "WUImap: A software tool for mapping wildland-urban interfaces in Mediterranean European context", *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5: 631-642
- Lampin-Maillet C., Jappiot M., Long M., Bouillon C., Morge D., Ferrier J.-P. (2010), "Mapping wildland-urban interface at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France", *Journal of Environmental Management*, 91: 732-741
- Lampin-Maillet C., Jappiot M., Long M., Morge D., Ferrier J.-P. (2009), "Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention", *Computers Environment and Urban Systems*, 33: 224-232
- 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: 341-354
- Rothermel R.C. (1972), "A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels". USDA Forest Service Research Paper INT-115. (Odgen, UT)
- Saba F. (2004) "Le cause degli incendi boschivi e rurali in Sardegna: dalle ipotesi all'analisi dei dati", in *Atti del convegno Incendi boschivi e rurali in Sardegna. Dall'analisi delle cause alle proposte di intervento- Cagliari 14/15 maggio 2014*, Grafica del Parteolla, Dolianova (CA), pp.19-45
- Salis M., Ager A. Finney M., Arca B., Spano D. (2014), "Analyzing spatiotemporal changes in wildfire regime and exposure across a Mediterranean fire-prone area" *Natural Hazards* 71(3): 1389-1418
- Salis M., Arca B., Bacciu V., Duce P., Spano D. (2009), "Assessment of fire severity in a mediterranean area using FlamMap simulator", in *Proceedings of the Eighth Symposium on Fire and Forest Meteorology*, American Meteorological Society, Boston (USA), P1.9.1-P1.9.6
- Serra P., Pons X., Saurí D. (2008) "Land-cover and land-use change in Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integration biophysical and human factors", *Applied Geography*, 28: 189-209
- Shakesby R.A. (2011), "Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions", *Earth-Science*, 105: 71-100
- Stewart S.I., Radeloff V.C., Hammer R.B., Hawbaker T.J. (2007), "Defining the Wildland Urban Interface", *Journal of Forestry*, 105: 201-207
- Vince S.W., Duryea M.L., Macie E.A., Hermansen L.A. (2005), in Vince S.W., Duryea M.L., Macie E.A., Hermansen L.A. Eds), *Forests at the Wildland-urban Interface: Conservation and management*, CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 1-293