

VARIABILI FISICHE ED UMANE NELL'EVOLUZIONE DEL RISCHIO D'INNESCO IN UN'AREA URBANA-FORESTALE

Sirio MODUGNO, Pere SERRA, Anna BADIA

Departamento de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona,
Facultad de Filosofía y Letras-Edificio B- Campus UAB- 08193- Bellaterra-Cerdanyola del Vallès (Barcelona);
tel 0034 935814814; e-mail sirio.modugno@uab.es

Riassunto

L'accelerazione del processo massivo di urbanizzazione dispersa in zone d'interfase urbana-forestale afferma la necessità di applicare politiche di prevenzione verso gli incendi forestali. Esistono determinate tecniche che permettono un'approssimazione del dove, quando e come un incendio appare e si propaga. Una metodologia che ha mostrato risultati ottimi nella determinazione della probabilità d'innescio d'incendi forestali è stata la regressione logistica. Questo metodo combinato con dati satellitari e con un sistema d'informazione geografica, permette determinare la probabilità d'accadimento degli incendi grazie alla presenza ed assenza dei punti di accensione dei focolai. In questo lavoro si è applicata la tecnica della regressione logistica in un'area fortemente antropizzata della Catalogna colpita storicamente da incendi forestali, specialmente nei due anni analizzati, 1994 e 2003. I risultati mostrano che le zone con minor altitudine e minor distanza rispetto alle zone urbanizzate ed alle infrastrutture viarie presentano elevate probabilità di innescio. Il modello ottenuto incrementa il suo potere esplicativo, con una curva ROC di 0,68 nel 1994 a una curva ROC di 0,76 nel 2003, dovuto ad un maggior grado di pressione urbanistica.

Abstract

The acceleration of the massive process of disperse urbanization in zones of urban-forest interphase reasserts the necessity of applying policies towards forest fire risk prevention. There are several techniques which allow an approach to assessing where, when and how a fire starts and spreads. Logistic regression has been proved to yield optimal results in the determination of ignition probability. This procedure, along with satellite data and a geographical information system, allows the determination of the occurrence probability of fires from the presence or absence of ignition points. This work has focused on a highly urban-developed zone in Catalunya, historically affected by forest fires, especially on those two analyzed years, 1994 and 2003. Results show that areas at a lower altitude and closer to urban infrastructures and road networks present high ignition probabilities. The derived model increases its explanatory power, ranging from a ROC curve of 0.68, in 1994, to a 0.76 ROC curve, in 2003, as a consequence of the higher urbanistic pressure.

Introduzione

Lo studio del rischio d'incendio forestale può essere affrontato considerando un maggiore o minore grado di responsabilità del fattore umano. In determinati studi si enfatizzano le caratteristiche biofisiche dove le variabili sono usate per ottenere la propensione all'infiammabilità (Chuvieco et al., 1998; Manzo-Delgado et al., 2007; Vidal and Devaux-Ros, 1995). Il minimo comune denominatore degli studi che utilizzano le variabili biofisiche è considerare come fondamentale il contenuto di umidità nelle superfici forestali ed interpretare questo inversamente proporzionale alla combustione potenziale (Nelson, 2001). Un'altra linea di investigazione è quella che cerca di stimare le influenze antropiche, principalmente relazionate con la presenza umana, come causa diretta o indiretta degli incendi (Vega et al., 1995; Vilar et al., 2007; Chuvieco y Martin, 2004).

Senza dubbio, i fattori biofisici sono determinati da una certa regolarità, le azioni umane, invece, sono abbastanza imprecisabili ed il riconoscimento degli indicatori che definiscono una maggiore o minore responsabilità antropica nella comparsa di focolai, si configura come un compito difficile, caratterizzato dall'incertezza dei risultati. In questo lavoro si considera un'area con un modello di urbanizzazione dispersa con la presenza di grandi centri, allo stesso tempo il territorio è caratterizzato da un grande valore naturale per la presenza di aree boschive. Si delinea quindi un buon esempio di zona di interfase urbana-forestale del mediterraneo. La statistica, attraverso la regressione logistica, può evidenziare le relazioni esistenti tra alcune variabili e l'incidenza di punti d'accensione degli incendi boschivi.

Area di Studio

L'area di studio si localizza in Spagna nella provincia di Barcellona, nella zona della catena *pre-litoral* con una superficie di 1710 km² (figura1). In quest'area esistono 38 municipi, tra i più importanti Manresa, Sabadell e Terrassa. Allo stesso tempo nella zona coesistono 4 parchi naturali: Montserrat, Sant Llorenç del Munt, Gallifa e Cingles de Bertí. Queste aree verdi sono utilizzate specialmente in momenti di ozio non solo da un turismo locale ma anche dalla stessa metropoli di Barcellona. La presenza di agglomerati e di persone che frequentemente sono turisti suppone un rischio potenziale nella specifica probabilità di apparizione d'incendi (Caballero,2004). La vegetazione dell'area di studio è tipica mediterranea costituita per il *Pinus halepensis* mentre ad altitudini sopra i 600 m si trovano varietà di *Quercus* a testimonianza di una vegetazione mediterranea - montana. Tutta quest'area si trova in una zona di clima mediterraneo umido, con elevata variabilità climatica stagionale ed annuale: estati secche, autunni piovosi, inverni dolci e primavere umide. Il profilo morfologico è caratteristico di massicci di natura sedimentaria costituiti da antichi coni di deiezione. In questa descrizione si devono ricordare le caratteristiche microclimatiche determinate dall'altitudine con dislivelli di 1000 m.

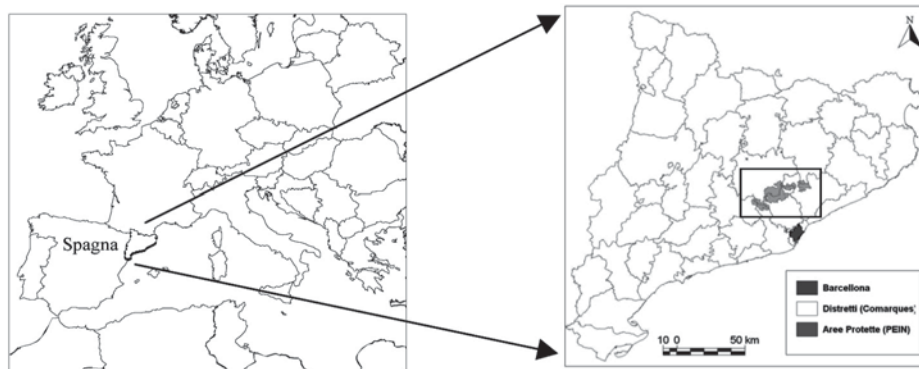


Figura1: Area di studio elaborazione propria

La vegetazione, presente con una propensione all'infiammabilità e alla forte pressione antropica, determina uno scenario di preoccupante vulnerabilità rispetto al fenomeno degli incendi forestali. Si è scelta quest'area pilota per il suo interessante valore ecologico, elevata presenza di punti d'innescio d'incendio, forte pressione antropica ed il predominante modello urbano disperso, creando così zone di interfase urbano-forestale. Quest'area può soddisfare le aspettative di studio perché è rappresentativa di gran parte delle zone mediterranee interessate da incendi forestali.

Metodologia

Il calcolo della probabilità d'apparizione di focolai può essere realizzato applicando la regressione logistica (RLO) poiché si è dimostrato efficace nell'analizzare l'interazione tra variabile dipendente (punti d'innescio) e le variabili indipendenti (Badia, 2000). La RLO è una funzione costituita da una variabile dipendente dicotomica (sì, no; vero, falso; assenza, presenza) ed un insieme di una o più variabili indipendenti quantitative o qualitative. Il risultato che si ottiene è una funzione delle

variabili indipendenti che classifichi gli individui in una delle due subpopolazioni stabilite dalla variabile dipendente. I valori risultanti saranno compresi nel rango 0-1. La funzione è:

$$f(z) = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad (1)$$

Dove Z si ottiene applicando una regressione lineare multi variante con le variabili indipendenti:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p \quad (2)$$

e dove β_0 è la costante e β_p sono i coefficienti da stimare.

Si è applicata la metodologia a due anni differenti, 1994 e 2003, con l'obiettivo di poter utilizzare la comparazione temporale per inquadrare la tendenza evolutiva del fenomeno studiato. Si sono scelti questi due anni tra la base di dati disponibili, dal 1987 al 2004, perché sono gli anni con più incidenza d'incendi forestali. Come variabile dipendente si utilizzarono i punti d'insacco dei due rispettivi periodi, in conseguenza l'obiettivo nell'utilizzo della RLO era incontrare le zone con la maggiore probabilità di apparizione di focolai (variabile da prevedere). Le variabili indipendenti si sono determinate cercando di considerare tanto i fattori biofisici come i fattori socio-territoriali.

Nella tabella si riassumono le variabili disponibili tanto biofisiche quanto umane. Nel primo gruppo troviamo un indice derivato dal sensore *Thematic Mapper* della piattaforma Landsat-5 di un giorno rappresentativo del mese di Luglio del 1994 e di luglio 2003, il "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) e la "temperatura media massima del mese di luglio". Per rappresentare la pressione umana si è introdotta la "mappa dell'uso del suolo", del 1993 e del 2002, la distanza dalle zone protette "*Pla d'Espais Interes Natural*" (PEIN, piani per le zone d'interesse naturale dichiarate dalla *Generalitat de Catalunya*, Decreto 328/1992), la "distanza dalla rete stradale" principale e in fine la "distanza dalla superficie urbanizzata" derivata dal censimento del 1991 e del 2001. L'NDVI si è considerato come indicatore capace di rappresentare lo stress idrico di una massa forestale e la conseguente maggiore o minore propensione all'insacco di focolai (Illera et al. 1996; Vidal e Devaux-Ros 1995), così come la "temperatura media massima del mese di luglio".

L'MDE si è impiegato come indicatore più o meno diretto di situazioni microclimatiche e si può relazionare con la presenza dell'essere umano, da questo si è elaborata "la mappa delle pendenze" che può influire nella difficoltà d'accesso che impedisce o comunque diminuisce la presenza antropica in determinate zone. La "distanza della zona urbanizzata" e la "distanza dalla rete stradale principale" presentano una relazione inversa con la pressione antropica sul territorio (Cardille, 2001; Villar del Hoyo, 2007), mentre che nell'area PEIN si presuppone un controllo ed una protezione ambientale maggiore.

Per l'applicazione della RLO del 1994 si è selezionato come variabile dipendente uno strato informativo (*layer*) con 81 punti di insacco e 81 punti di no-insacco distribuiti in forma aleatoria. Questo *layer* dicotomico (insacco, no-insacco) con un totale di 162 punti si è utilizzato come variabile dipendente nei diversi modelli costituiti da variabili indipendenti. Lo stesso procedimento si è effettuato per lo studio dell'anno 2003, creando un *layer* con la combinazione di 92 punti d'insacco e 92 punti aleatori di no-insacco. L'indicatore usato per identificare l'efficacia nella predizione dei modelli RLO è stata la curva corrispondente al *Receiver Operating Characteristic* (ROC). Questo valore indica il potere esplicativo, predittivo, dei modelli ottenuti, nel nostro caso in relazione alla probabilità d'insacco, in funzione delle variabili indipendenti. Valori vicini a 0,5 indicano modelli decisamente poco esplicativi, mentre valori vicini ad 1 saranno modelli molto significativi.

Dati	Formato	Periodo	Fonte
Punti d'insacco incendi	Alfanumerico	1987 al 2004	<i>Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya</i>
NDVI	Raster	17/07/1994 26/07/2007	Elaborazione propria
Temperatura media massima luglio	Raster	Decennio 1980- 1990	Dipartimento di Geografia <i>Universitat Autònoma de Barcelona</i>
MDE	Raster	2000	<i>Institut Cartogràfic de Catalunya</i>
Mappa delle pendenze	Raster	2000	Elaborazione propria
Rete stradale principale	Vettoriale	2007	<i>Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya</i>
Aree protette (PEIN)	Vettoriale	2007	<i>Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya</i>
Mappa uso del suolo	Raster	1993 2002	<i>Institut Cartogràfic de Catalunya</i>
Zone urbanizzate 1991/ 2001	Vettoriale	Censimento 1991 Censimento 2001	<i>Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya</i>

Tavola1: Variabili biofisiche ed umane disponibili e fonti utilizzate

Risultati

La tavola2 mostra i risultati ottenuti con tre modelli differenti di RLO nell'anno 1994. Nel modello1 si osserva che la distanza PEIN, la "mappa dell'uso del suolo" e la "temperatura media massima del mese di luglio" presentavano una curva ROC del 0,58. Da questo si è capito che le variabili introdotte non erano molto esplicative rispetto alla presenza dei punti d'insacco. Analizzando la "mappa dell'uso del suolo", nessuna classe mostrava una significativa presenza di punti d'insacco. Quindi, l'ipotesi che la maggior parte dei punti si sarebbero ubicati in determinati usi del suolo non si è potuta accettare. Non si è potuto stabilire neanche l'incidenza dei punti d'insacco rispetto a valori di "temperatura media massima del mese di luglio" visto che le due variabili mostrarono molta poca correlazione. Anche la distanza dalle zone PEIN, non ostante fosse tra le variabili usate finora la più significativa, non mostrò peso nell'apparizione di punti d'insacco di focolai.

Nel modello2 (tavola2) si effettuò l'introduzione delle variabili "distanza dalla rete viaria" e del NDVI al posto della mappa "del'uso del suolo" e della "temperatura media massima del mese di luglio", con il conseguente aumento della curva ROC da 0,58 a 0,63. "La distanza dalla rete stradale" introduce il concetto di pressione antropica sul territorio mentre l'NDVI si mostrò più significativo per relazionare lo stress idrico con i punti d'accensione degli incendi rispetto al poco peso della "temperatura media massima del mese di luglio". Successivamente si è ottenuto il modello3 con l'introduzione delle variabili, "distanza dalla superficie urbanizzata" e del MDE, quest'ultimo dimostrò un'informazione simile alla "mappa delle pendenze" la quale fu quindi omessa. La curva ROC decretò quest'ultimo modello come il più significativo, con un valore di 0,68 per l'anno 1994. I coefficienti di regressione parziale corrispondenti alla RLO apparvero con un segno negativo, indicando la relazione inversa con le tre variabili. Questo significa che a maggior distanza dalla "superficie urbanizzata" e dalla "rete stradale" e a maggiore "altitudine" la probabilità del rischio d'insacco diminuisce.

Per effettuare la comparazione temporale si sono sviluppati anche per il 2003 (tavola3) gli stessi tre modelli, precedentemente descritti per l'anno1994. I coefficienti della regressione parziale corrispondente alla RLO anche in questo caso sono apparsi con segno negativo, indicando la relazione inversa delle tre variabili indipendenti del modello3. Il comportamento del valore ROC è simile a quello dell'anno1994, con un primo modello meno esplicativo che il resto ed essendo l'ultimo il più importante. In generale i valori risultano essere maggior per l'anno 2003. Determinante è la prossimità dell'infrastruttura viaria e della superficie urbanizzata che effettivamente, nella zona di studio soffre dal censo del 1991 a quello del 2001una espansione rilevante (Nasarre e Badia, 2006).

Modello 1		Modello 2		Modello 3	
Distanza PEIN		Distanza PEIN		MDE	
Uso del suolo		NDVI		Distanza Superficie Urbanizzata	
Temperatura media massima Luglio		Distanza rete stradale		Distanza rete stradale	
ROC 1994:	ROC 2003:	ROC 1994:	ROC 2003:	ROC 1994:	ROC 2003:
0.58	0.63	0.63	0.68	0.68	0.76

Tabla 2: Modelli di probabilità d'innesco, anno 1994 e anno 2003.

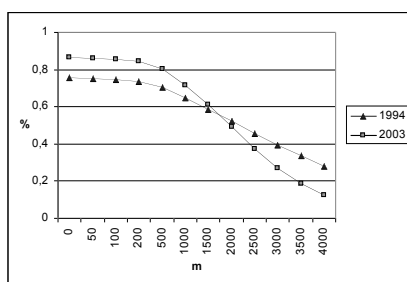


Figura3

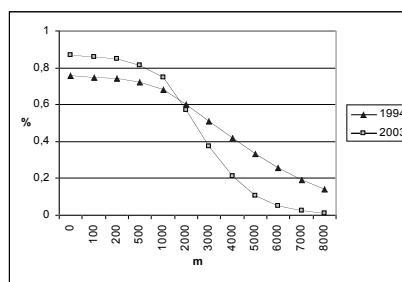


Figura4

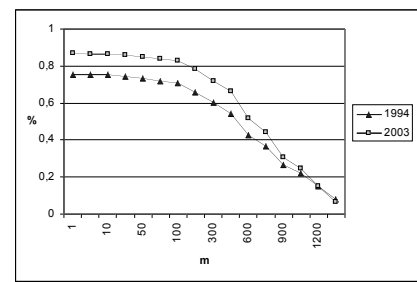


Figura5

Nell'ordine: grafico della probabilità d'innesco in funzione della distanza dalla superficie urbanizzata; grafico della probabilità d'innesco in funzione della distanza dalla rete stradale principale; grafico della probabilità d'innesco in funzione dell'altitudine.

Conclusioni

In questo lavoro, la disponibilità di un'estesa base di dati di punti d'innesco (la variabile dipendente) è stata di speciale interesse. La natura puntuale di questi dati, a differenza di rappresentazioni areali che solamente approssimano la zona dove effettivamente è scaturito il focolaio, determina una maggiore qualità nel risultato finale.

Un altro aspetto che va risaltato è la combinazione di variabili biofisiche ed umane introdotte nella RLO come variabili indipendenti. Gli indicatori biofisici impiegati generalmente nel calcolo del rischio d'incendio forestale, tra il quale hanno molta importanza gli indici meteorologici, costituisce una gran parte dei modelli europei applicati a grandi unità territoriali (Joint Research Centre 2004). Nel nostro caso, si deve distinguere che il modello più esplicativo si è ottenuto attraverso due variabili relazionate con l'attività umana, in concreto con la "distanza dalla superficie urbanizzata" e "distanza della rete stradale principale" e con una variabile che esprime caratteristiche ambientali quale "l'altitudine"(MDE). Questi risultati delineano il carattere d'interfase urbana-forestale dell'area di studio. In conseguenza, mentre nelle grandi estensioni territoriali le variabili biofisiche servono per evidenziare situazioni d'allerta generale, nelle zone d'interfase urbana-forestale della conca mediterranea analizzare unità territoriali minori, evidenziando l'influenza umana, può risultare più utile per una protezione territoriale realmente efficace.

Finalmente i risultati mostrano l'incremento nel rischio di probabilità d'innesco dall'anno 1994 al 2003 nell'area di studio. Concretamente si osserva una maggiore concentrazione dei punti d'innesco nelle zone più vicine alla superficie urbanizzata così come alla rete stradale principale, accrescendo

il rischio d'apparizione d'incendi. Si deve risaltare che nell'anno 1994 la concentrazione di punti d'innesco era minore dato che la curva RLO era più attenuata e che nelle zone situate a maggiore distanza dalla superficie urbanizzata e dalla rete stradale la probabilità era maggiore rispetto l'anno 2003 (da un valore di probabilità di 0,6 in ambedue casi). Quindi la probabilità, in questo caso, è distribuita più omogeneamente essendo inferiore l'influenza delle variabili indipendenti. Possiamo quindi confermare l'adeguatezza della RLO nella previsione della probabilità d'innesco attraverso le variabili esplicative e nel difficile esercizio di inquadramento della pressione umana sul territorio. In futuro, si cercherà di applicare questa metodologia ad altre zone della conca mediterranea per effettuare una comparazione spaziale oltre che temporale.

Bibliografia

- Badia, A. (2000), *La incidència dels incendis a l'Àrea Metropolitana de Barcelona i a la comarca del Bages durant el període 1987-1998*. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- Cardille, A. J., Ventura, J.S. y Turner, M.G. (2001), "Environmental and social factors influencing wildfires in the upper midwest", *Ecological Application*, 11: 111-127.
- Chuvieco, E. y Martín, M.P.(Coord.) (2004), *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Consejos Superior de investigaciones Científicas, Madrid, 190.
- Chuvieco, E., Martín, M.P., Martínez, J. y Salas, F.J. (1998), "Geografía e incendios forestales". *Serie Geográfica*, 7: 11-17.
- Joint Research Centre (2004), *Assessment of fire damages in the EU Mediterranean countries during the 2003 Forest Fire Campaign*. European Communities, Italia, 39.
- Illera, P., Fernández A. y Delgado, J.A. (1996), "Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger". *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1093-1105.
- Manzo-Delgado, L. Sánchez-Colón, S. y Álvarez R. (2007), "Multitemporal analysis of NDVI and land surface temperature for modeling the probability of forest fire occurrence in central Mexico", *IV International workshop on the analysis of multitemporal remote sensing*, Belgium, 177-181.
- Nasarre, E. y Badia, A. (2006), "Una aproximación al crecimiento de áreas urbanas a través de fotografía aérea y de sistemas de información geográfica. La ciudad de Terrassa como caso de estudio". *Cuadernos Geográficos*, 039: 185-201.
- Nelson, R. (2001), *Forest fires: behavior and ecological effects*. Johnson and Miyanishi, editors. San Diego, 90.
- Pew, K.L. y Larsen, C.P.S. (1999), "GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada", *Forest ecology and Management*, 140: 1-18.
- Romanelli, S., Maselli, F., Bottai, L. y Zippoli, G. (1998), "Stima del rischio d'incendi Boschivi a scala regionale tramite GIS e dati tele rilevati", *II^a conferenza ASITA*, Bolzano, Italia, 6.
- Vega, C., Woodard, P.M., Titus, S.J., Adamowicz, W.L. y Lee, B.S. (1995), "A logit Model for predicting the daily occurrence of human caused forest fires", *International Journal Wildland Fire*. 101-111.
- Vidal, A. y Devaux-Ros, C. (1995), "Evaluating forest fire hazard with a Landsat TM derived water stress index", *Agricultural and Forest Meteorology*, 77 : 107-224.
- Vilar, L., Gomez, I., Martín, M.P. y Martínez, F.J. (2007), "Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendio forestales", *Wildfire –Sevilla*, 1-27.