

Stima della pericolosità d'incendio in Campania mediante serie temporali di misure MODIS nell'infrarosso termico

Carmine Maffei (*), Silvia Alfieri (**), Massimo Menenti (***)

(*) Delft University of Technology, Stevinweg 1, 2628CN Delft, Paesi Bassi, c.maffei@tudelft.nl e BENECON scarl, Abbazia di San Lorenzo ad Septimum, Borgo San Lorenzo, 81031 Aversa (CE)

(**) Delft University of Technology, Stevinweg 1, 2628CN Delft, Paesi Bassi, s.m.alfieri-1@tudelft.nl

(***) Delft University of Technology, Stevinweg 1, 2628CN Delft, Paesi Bassi, m.menenti@tudelft.nl

Riassunto

La prolungata esposizione a temperature elevate e alla mancanza di piogge conduce la vegetazione in condizioni di stress che si evidenziano in un aumento della sua temperatura. La vegetazione sottoposta a stress idrico è maggiormente suscettibile agli incendi, per cui si può ipotizzare che la misura satellitare di anomalie di temperatura nell'infrarosso termico permetta di caratterizzare la pericolosità d'incendio. L'identificazione di tali anomalie presuppone l'esistenza di un valore di riferimento rispetto al quale comparare le misure correnti. È possibile costruire mappe dei valori di riferimento ricorrendo a lunghe serie temporali di misure satellitari e all'algoritmo HANTS (*Harmonic Analysis of Time Series*). L'obiettivo della presente ricerca è stato la caratterizzazione della pericolosità d'incendio mediante serie temporali di temperatura superficiale terrestre (TST) ottenute da misure Terra-MODIS. Lo studio ha fatto uso di una sequenza di TST MODIS dal 2000 al 2008 in Campania (13595 km²) e su un database di circa 7700 incendi registrati in regione nello stesso periodo. Le rilevazioni satellitari mancanti o disturbate dalla presenza di nubi sono state ricostruite mediante l'algoritmo HANTS applicato alle serie annuali di misure giornaliere. Le relative mappe dei coefficienti di Fourier sono state confrontate con la distribuzione spaziale degli incendi. Parallelamente, l'algoritmo HANTS è stato utilizzato per realizzare le mappe giornaliere della temperatura di riferimento rispetto alle quali valutare le anomalie di temperatura e le anomalie di temperatura cumulate. I risultati ottenuti mostrano come gli incendi tendano a verificarsi, con elevata significatività, in aree caratterizzate da specifici valori di alcuni coefficienti di Fourier, e a evitare altre aree. L'ampiezza della seconda armonica è l'unico coefficiente di Fourier legato alla dimensione media degli incendi. Infine, le anomalie di temperatura e le anomalie di temperatura cumulate sono correlate sia con la dimensione degli incendi che con la frazione di grandi incendi.

Abstract

Prolonged heat and absence of rainfall drive vegetation into water stress conditions that lead to an increase of its temperature. Since stressed vegetation is more prone to fire, it is expected that remote sensing mapping of temperature anomalies might be a viable tool to predict fire hazard. The identification of these anomalies requires the prior definition of a reference temperature against which compare actual recorded temperatures. This can be achieved by using long time series of satellite data and the HANTS (Harmonic Analysis of Time Series) algorithm. The objective of this research was the characterisation of fire hazard using temporal series of land surface temperature (LST) derived from Terra-MODIS measurements. The investigation was based on a sequence of MODIS LST data from 2000 to 2008 in Campania (13595 km²), Italy, and on a data set of 7700 fires recorded in the area in the same period. Missing and/or cloudy LST data were reconstructed by means of the HANTS algorithm applied to annual sequences of daily observations. The coefficients of the Fourier analysis were assessed against spatial patterns of fire occurrence. HANTS algorithm was also used to construct daily reference temperature maps against which to

evaluate temperature anomalies and cumulated temperature anomalies. Results show that fires tend to occur in areas characterised by specific values of several Fourier coefficients with high significance, and to avoid the other areas. The amplitude of the second harmonic is the only Fourier coefficient dictating mean fire size. The mean fire size and the proportion of large fires correlate with both daily and cumulated thermal anomalies.

Introduzione

La prolungata esposizione a temperature elevate e alla mancanza di piogge conduce la vegetazione in condizioni di stress che si evidenziano in un aumento della sua temperatura. La vegetazione sottoposta a stress idrico è maggiormente suscettibile agli incendi, per cui si può ipotizzare che la misura di anomalie di temperatura nell'infrarosso termico permetta di caratterizzare la pericolosità d'incendio (Leblon, 2005).

L'identificazione di tali anomalie presuppone l'esistenza di un valore di riferimento rispetto al quale comparare le misure correnti. L'analisi di lunghe serie temporali di dati telerilevati da satellite permette di identificare gli andamenti temporali di temperatura attesi per ciascun pixel della superficie terrestre. L'algoritmo HANTS (*Harmonic Analysis of Time Series*) ottiene questo risultato ricorrendo a una serie di Fourier. Risultati positivi sono stati riportati in letteratura per le serie temporali sia di indici di vegetazione che di temperatura superficiale terrestre (Julien et al., 2006).

La presente ricerca ha avuto come obiettivo quello di sviluppare una metodologia per la caratterizzazione della pericolosità d'incendio dalle anomalie della temperatura superficiale terrestre (TST). Queste sono state valutate su base quotidiana dalle misure nell'infrarosso termico effettuate dal sensore MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*) installato sul satellite Terra della NASA, rispetto a un riferimento calcolato con l'algoritmo HANTS. Poiché le mappe dei coefficienti di Fourier calcolate con HANTS forniscono una caratterizzazione dettagliata della variabilità spaziale delle temperature superficiali, si è provveduto anche a valutare la loro capacità di predire la distribuzione spaziale degli incendi.

Materiali e metodi

La ricerca si è concentrata sull'area di studio della regione Campania (13595 km²). Il Corpo Forestale dello Stato ha fornito un database di più di 7700 incendi registrati in regione tra il 2000 e il 2008. Per ogni incendio registrato, il database ne riporta la data e l'ora di inizio, le coordinate geografiche, la durata e l'estensione.

Sono stati utilizzati dati giornalieri Terra-MODIS diurni di TST (prodotto MOD11, *collection 5*) dal 2000 al 2008. Questi dati sono pubblicamente disponibili presso il *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) dell'USGS (*United States Geological Survey*).

HANTS è stato eseguito prevedendo tre armoniche (365, 180 e 120 giorni), secondo due diverse modalità:

- Su ogni sequenza annuale di TST, per ricostruire i dati mancanti o disturbati dalla presenza di nubi (Roerink et al., 2000). Le immagini annuali dei coefficienti di Fourier (TST media, ampiezza e fase delle tre armoniche) sono state confrontate con la distribuzione spaziale degli incendi.
- Sull'intera sequenza di TST dal 2000 al 2008, per costruire mappe giornaliere della temperatura di riferimento (Azzali e Menenti 1999). Queste sono state poi utilizzate per il calcolo dell'anomalia di temperatura.

Le mappe annuali dei coefficienti di Fourier sono state mascherate sulle sole aree forestali e naturali (CORINE Land Cover 2000), e segmentate in intervalli di valori (classi) uniformi. Lo scopo della maschera è stato quello di garantire la coerenza tra le caratteristiche del database degli incendi, che riporta i soli eventi verificatesi in aree forestali e a vegetazione spontanea, e l'analisi della loro distribuzione spaziale.

È stata valutata la selettività del numero di incendi e dell'area bruciata media rispetto ai valori dei coefficienti annuali di Fourier. Lo scopo è stato quello di comprendere su base statistica se in ogni intervallo di valori dei coefficienti l'incidenza degli incendi fosse maggiore (preferenza) o minore (repulsione) rispetto a un modello casuale (Bajocco, Ricotta, 2007).

Le mappe quotidiane di anomalia di temperatura (AT) sono state calcolate mediante la sottrazione della temperatura di riferimento dalla misura MODIS. Ci si aspetta che gli incendi avvengano con maggiore facilità dove vi sia stata una prolungata esposizione alla mancanza di precipitazioni e alle temperature elevate. In tali circostanze, l'anomalia di temperatura è registrata per più giorni consecutivi. Per tale motivo sono state calcolate anche le anomalie di temperatura cumulate (ATC) come la somma di tutte le anomalie di temperature registrate in un punto a partire dalla prima insorgenza e fino al giorno corrente. A ogni incendio nel database sono stati associati i due valori di AT e ATC registrati nel punto dell'incendio nel giorno precedente all'evento.

Risultati

La temperatura media annuale e le ampiezze delle tre armoniche usate nell'analisi hanno un ruolo evidente nel dettare la distribuzione spaziale degli incendi (Tabelle da 1 a 4). Tra le fasi, solo quella della prima armonica comporta una selettività nel numero di incendi (Tabella 5, le tabelle relative alla fase della seconda e terza armonica non sono riportate). La dimensione media degli incendi è selettiva solo rispetto all'ampiezza della seconda armonica (Tabella 3).

In confronto tra anomalie di temperatura (alt. anomalie di temperatura cumulate) e la dimensione degli incendi è stato effettuato calcolando dapprima la media condizionata dell'area bruciata quando AT (alt. ATC) è superiore al valore considerato, e diagrammando tale media rispetto al valore di AT (alt. ATC) usato nel calcolo. Con lo stesso procedimento, si è confrontata la frazione di incendi di grandi dimensioni – ossia più grandi del novantesimo percentile su base storica, che in Campania è pari a 16 ha – e i valori di AT (alt. ATC).

L'AT mostra una chiara relazione con la dimensione degli incendi: al crescere di AT, l'area bruciata media attesa nelle aree con AT maggiore del valore considerato cresce (Figura 1, sinistra). Si osserva un simile andamento per la frazione di incendi di grandi dimensioni (Figura 1, destra). Un risultato analogo si ottiene confrontando area bruciata e frazione di grandi incendi con ATC, ma con una più ampia gamma dinamica.

Tabella 1 - Selettività del numero di incendi e della dimensione media degli incendi rispetto alle classi di TST media. Il simbolo "+" indica una preferenza per la classe, "-" una repulsione. Un simbolo: non significativa. Due simboli: $P < 0.05$. Tre simboli: $P < 0.01$.

Componente costante dell'analisi di Fourier (K)				
Classe	Numero di incendi		Dimensione media degli incendi	
<288	34	---	15,74	+++
288-289	47	---	7,09	+++
289-290	121	--	5,39	+
290-291	264	+++	7,34	+
291-292	494	+++	4,4	-
292-293	782	+++	4,23	-
293-294	904	+++	4,85	-
294-295	751	+++	3,99	--
295-296	560	-	5,52	+
296-297	279	---	4,81	+
297-298	127	---	9,67	+++
>298	41	---	4,79	+

Tabella 2 - Selettività del numero di incendi e della dimensione media degli incendi rispetto alle classi di ampiezza della prima armonica. Il simbolo "+" indica una preferenza per la classe, "-" una repulsione.
Un simbolo: non significativa. Due simboli: $P < 0.05$. Tre simboli: $P < 0.01$.

Ampiezza della prima armonica (K)				
Classe	Numero di incendi		Dimensione media degli incendi	
<8	59	-	7,79	+
8-9	203	+	4,97	+
9-10	453	+++	5,8	+
10-11	984	+++	4,55	-
11-12	1242	+++	4,94	+
12-13	872	---	4,71	-
13-14	411	---	4,39	-
14-15	158	---	6,02	+
>15	22	---	27,05	+++

Tabella 3 - Selettività del numero di incendi e della dimensione media degli incendi rispetto alle classi di ampiezza della seconda armonica. Il simbolo "+" indica una preferenza per la classe, "-" una repulsione.
Un simbolo: non significativa. Due simboli: $P < 0.05$. Tre simboli: $P < 0.01$.

Ampiezza della seconda armonica (K)				
Classe	Numero di incendi		Dimensione media degli incendi	
0-1	2083	+++	3,52	---
1-2	1723	+	6,01	+++
2-3	570	---	7,24	+++
>3	28	---	12,85	+++

Tabella 4 - Selettività del numero di incendi e della dimensione media degli incendi rispetto alle classi di ampiezza della terza armonica. Il simbolo "+" indica una preferenza per la classe, "-" una repulsione.
Un simbolo: non significativa. Due simboli: $P < 0.05$. Tre simboli: $P < 0.01$.

Ampiezza della terza armonica (K)				
Classe	Numero di incendi		Dimensione media degli incendi	
0-1	1486	+++	5,06	+
1-2	2450	+++	4,99	-
2-3	447	---	5,2	+
>3	21	---	4,88	+

Tabella 5 - Selettività del numero di incendi e della dimensione media degli incendi rispetto alle classi di fase della prima armonica. Il simbolo "+" indica una preferenza per la classe, "-" una repulsione.
Un simbolo: non significativa. Due simboli: $P < 0.05$. Tre simboli: $P < 0.01$.

Fase della prima armonica (°)				
Classe	Numero di incendi		Dimensione media degli incendi	
<180	21	---	10,15	++
180-185	126	---	3,12	---
185-190	645	---	3,21	---
190-195	1438	+++	4,29	--
195-200	1329	+++	6,63	+++
200-205	623	++	5,28	+
205-210	193	+++	5,27	+
>210	29	+	6,9	+

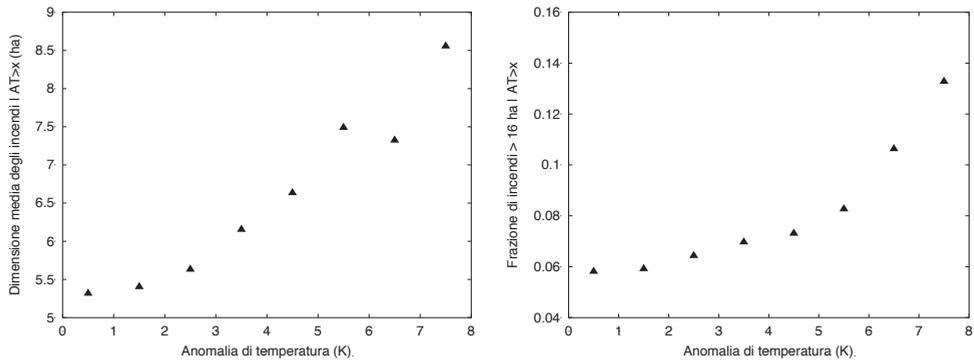
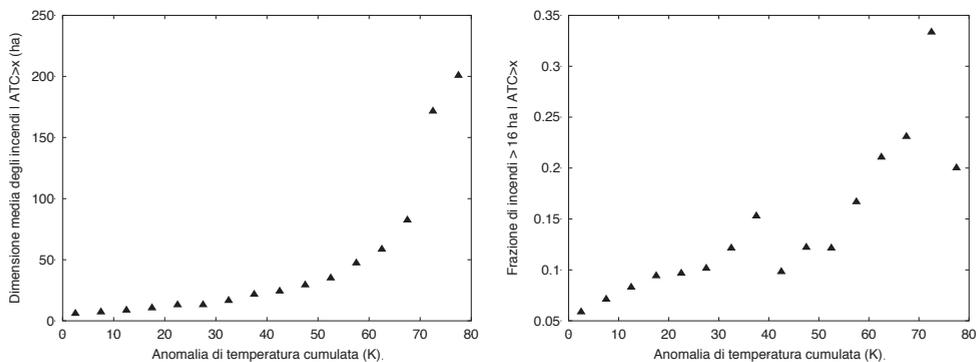


Figura 1 - Relazione tra superficie bruciata media condizionata (sinistra) e frazione di grandi incendi condizionata (destra), e l'anomalia di temperatura (AT) osservata nel giorno precedente l'incendio nel punto un cui si è verificato l'evento.



grandezza di quest'ultima (Figura 2). Inoltre, quando ATC è maggiore di circa 60 K si osserva un brusco aumento della dimensione degli incendi; questo consente la costruzione di mappe di pericolosità più significative di quanto non si possa fare con l'anomalia di temperatura.

Ringraziamenti

Siamo grati al Nucleo Antincendio Boschivo (NIAB) del Corpo Forestale dello Stato e alla Protezione Civile per averci fornito i dati degli incendi in Campania.

Riferimenti

- Azzali S., Menenti M. (1999), "Mapping isogrowth zones on continental scale using temporal Fourier analysis of AVHRR-NDVI data", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1: 9-20.
- Bajocco S., Ricotta C. (2007), "Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer?", *Landscape Ecology* 23: 241-248.
- Julien Y., Sobrino J. A., Verhoef W. (2006), "Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999", *Remote Sensing of Environment*, 103: 43-55.
- Leblon B. (2005), "Monitoring Forest Fire Danger with Remote Sensing", *Nat Hazards*, 35: 343-359.
- LP DAAC <https://lpdaac.usgs.gov/>. Ultimo accesso il 3 settembre 2014.
- Roerink G.J., Menenti M., Verhoef W. (2000), "Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1911-1917.
- Verhoef W., Menenti M., Azzali S. (1996), "A colour composite of NOAA-AVHRR-NDVI based on time series analysis (1981-1992)", *International Journal of Remote Sensing*, 17: 231-235.