

Analisi diacronica di aree incendiate mediante tecniche di telerilevamento e WebGIS-Applicazione su dati MODIS

Vito Di Giuseppe (*), Antonino Maltese (**), Rosanna Sciortino (***)

(*) E-Lab srl Viale delle Scienze Ed. 16 c/o ARCA, 90128 Palermo, Italy vdigiuseppe@elabsrl.com

(**, ***) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali, (DICAM),
Università di Palermo, Facoltà di Ingegneria, Viale delle Scienze Ed. 8, 90128 Palermo, Italy
antonino.maltese@unipa.it rosanna.sciortino@unipa.it

Riassunto

Il monitoraggio delle aree boschive percorse da incendi rappresenta un tema di primaria importanza per le politiche di tutela e gestione del patrimonio forestale.

Nell'ambito dello studio condotto, in collaborazione con lo Spin-off accademico E-Lab s.r.l., per l'implementare un servizio di mappatura degli incendi ed il monitoraggio delle aree incendiate, da erogarsi tramite piattaforma WebGIS, è stata messa a punto una procedura per la valutazione ed il controllo di alcuni parametri vegetativi, legati agli incendi.

Obiettivo primario del servizio è di caratterizzare il comportamento nel tempo della vegetazione durante un incendio ed in seguito alla situazione di stress che ne consegue.

Si sono elaborate immagini MODIS, ad elevata frequenza temporale, per la mappatura delle aree incendiate e per il monitoraggio della ripresa vegetativa negli anni successivi all'evento distruttivo. La ricostruzione degli episodi può individuarne i focolai e quale sia stata l'entità del danno.

Come esempio applicativo si riporta l'analisi multitemporale della distribuzione degli incendi in Sicilia dell'agosto 2007.

Per lo studio delle aree incendiate, partendo dal presupposto che vi è differenza tra superfici interessate da incendi attivi e superfici bruciate, sono stati utilizzati metodi differenti elaborati appositamente per l'individuazione delle une o delle altre.

Nel presente lavoro sono state utilizzate le bande 1-2 (rosso ed infrarosso), e le bande 3-7 (visibile, infrarosso vicino e medio) delle immagini MOD09.

I principali limiti riscontrati in questo studio sono rappresentati dalla dimensione delle aree: quelle molto piccole richiederebbero l'ausilio dell'alta risoluzione spaziale (e.g. Deimos, Sentinel-2).

Gli indici utilizzati presentano, anche se in misura diversa, errori di confusione con superfici di tipo differente: nella fattispecie possono essere incluse tra le aree bruciate anche superfici a bassa riflettanza nel visibile e nell'infrarosso vicino.

Nella piattaforma WebGIS realizzata sono stati riversati i prodotti delle elaborazioni effettuate.

Abstract

The monitoring of burned forest areas is a matter of prime importance for the protection and management policies of forest.

During the study, in collaboration with E-Lab Ltd., for implementing a mapping service of fires and monitoring service of burned areas, by WebGIS platform, has been setting up a procedure for the evaluation and control of some vegetative parameters, related to the fires.

The primary objective of the service is to characterize the behavior over time of vegetation during a fire and after the stressful situation that ensues.

MODIS images were processed with high temporal frequency, for the mapping of burnt areas and for the monitoring of vegetative growth in the years following the event destructive. The reconstruction of the episodes can identify outbreaks and what was the extent of the damage.

As application we show the analysis of multi-temporal distribution of fires in Sicily in August 2007. For the study of burned areas, on the assumption that there is difference between surfaces affected by active fires and burnt areas, have been used different methods developed specifically for the identification of each or the other.

In the present work have been used 1-2 bands (red and infrared), and 3-7 bands (visible, near-infrared and middle) of the MOD09 images.

The main limitations encountered in this study are represented by the size of areas: the tiny ones require the use of high spatial resolution (eg Deimos, Sentinel-2).

The indices that are used, although to a different extent, show errors of confusion with different types of surfaces: for example can be included among the burned areas also surfaces with low reflectance in the visible and near infrared.

In WebGIS platform developed were inserted the products of the calculations made.

Gli incendi boschivi

Esiste uno stretto legame tra il fuoco ed i fattori vegetazionali, orografici e meteorologici. Tali fattori influiscono direttamente sul tipo di incendio e sul suo sviluppo e pur essendo a diverso grado di variabilità risultano misurabili, mentre spesso risulta aleatoria la causa innescante l'incendio, essendo quasi sempre attribuibile ad azione umana.

Generalmente, la vegetazione percorsa dal fuoco risulta praticamente distrutta, nel suo insieme di massa legnosa più erbacea; in questi casi, successivamente, sul terreno percorso dall'incendio si sviluppa la vegetazione pioniera. Nel caso del verificarsi di incendi boschivi di bassa entità, spesso successivamente la vegetazione ha la capacità di ricostituirsi spontaneamente; il processo di resilienza varia in base alla tipologia di vegetazione e del tipo di riproduzione post incendio.

Per quello che riguarda le piante della vegetazione mediterranea, si è registrato come esse posseggano una notevole capacità di reazione alla distruzione causata da un incendio. Queste tipologie di piante sono in grado di attuare una ripresa successiva al passaggio del fuoco tramite due meccanismi: per riproduzione vegetativa (emissione di nuovi germogli grazie strutture sopravvissute al passaggio del fuoco) e/o per riproduzione da seme (significativa attivazione della germinazione solo dopo il passaggio del fuoco).

La maggior parte degli arbusti (mirto, lentisco, fillirea, erica,...) ed alberi (leccio, roverella, frassino, castagno,...) della vegetazione mediterranea posseggono queste capacità.

Per quanto concerne i periodi di ripresa della vegetazione, si riscontra che i tempi per la ricostituzione spontanea delle piante risultano variabili in relazione al tipo di vegetazione preesistente ed all'intensità del fenomeno; in genere, si è rilevato che il massimo dello sviluppo viene raggiunto circa 2-3 anni dopo l'incendio, processo che prosegue e raggiunge una condizione di stabilità verso circa i 5 anni.

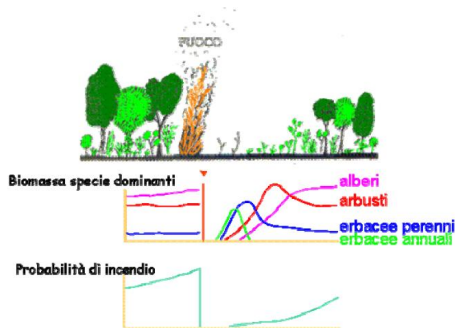


Figura 1 - Schematizzazione delle diverse capacità di recupero della vegetazione dopo un incendio.

Il sensore MODIS

Terra è il nome di una missione interdisciplinare condotta a livello internazionale alla quale partecipano le agenzie spaziali di Canada e Giappone. Con l'ausilio del Goddard Space Flight Center della Nasa nel programma sono anche inseriti dati provenienti dal Jet Propulsion Laboratory e dal Langley Research Center. I dati ottenuti da questi strumenti vengono utilizzati per generare prodotti riguardanti vari aspetti del sistema Terra; ogni strumento ha competenze specifiche per lo studio di un particolare aspetto ma, un qualunque fenomeno misurato può essere studiato combinando i dati acquisiti da strumenti differenti.

Il sensore MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) è uno spettroradiometro a bordo dei satelliti Terra e Aqua. I dati satellitari acquisiti dal sensore MODIS a bordo del satellite Terra permettono di seguire le evoluzioni climatiche nel territorio.

Le 36 bande coprono un intervallo di lunghezza d'onda che va da 0.4 μm a 14.5 μm ; 21 bande sono poste nell'intervallo 0.4 - 3.0 μm , mentre le restanti 15 tra 3 e 14.5 μm . La risoluzione spaziale nominale al nadir è di 250 m per le bande 1 e 2, 500 m per le bande 3 - 7 e 1000 m per le bande 8 - 36. Le risposte sono adattate ai bisogni degli utenti e forniscono eccezionalmente poche risposte fuori banda (Lillesand & Kiefer, 2000).

MODIS utilizza un metodo di ripresa a scansione in cui l'osservazione della superficie avviene per strisciate con un angolo di ± 55 gradi rispetto alla verticale, ricoprendo aree di dimensioni pari a 2330 Km x 10 Km circa, con una velocità di 20.3 rpm. Ciò permette di avere una completa copertura del globo ogni 1-2 giorni, in questo studio si utilizzeranno solamente le prime 7 bande del sensore MODIS, illustrate nella tabella sottostante:

Banda MODIS	Banda Spettrale (μm)	Regione	Risoluzione spaziale (m)
1	0.620 - 0.670	Red	250
2	0.841 - 0.876	Nir	250
3	0.459 - 0.479	Blue	500
4	0.545 - 0.565	Green	500
5	1.230 - 1.250	Ir	500
6	1.628 - 1.652	Ir	500
7	2.105 - 2.155	Mir	500

Tabella 1 - Caratteristiche delle prime sette bande MODIS.

Area di studio

La Sicilia ha un clima prevalentemente mediterraneo con una stagione caldo arida che aumenta di intensità e durata procedendo dal nord al sud dell'isola e dalle montagne al mare.

Anche la stagione freddo-umida subisce variazioni di intensità e durata con l'altitudine, ma in senso inverso. Il regime delle precipitazioni varia nel tempo e nello spazio; gli eventi piovosi sono per lo più concentrati nelle stagioni autunnale, invernale e primaverile, i mesi estivi (giugno, luglio e agosto) risultano caratterizzati da estrema aridità.

Per questo studio sono state impiegate le seguenti informazioni:

- la banca dati degli incendi del Corpo Forestale della Regione Siciliana (S.I.R.F.) relativa agli eventi registrati nel 2007; per ciascun incendio sono indicate la data dell'evento e l'area percorsa dal fuoco;
- la carta dell'uso del suolo della Regione Sicilia estratta dalla Corine Land Cover 2000;
- la serie storica di immagini NDVI ottenute dal sensore MODIS relativa al periodo gennaio 2004 - dicembre 2010 comprensiva di un'immagine mensile dell'NDVI per ciascun anno e di 12 immagini giornaliere nel periodo dell'incendio di agosto 2007 studiato. Tali immagini sono state scelte tra

quelle disponibili dal sensore Terra e dal sensore Aqua, scartando tutti i casi in cui la copertura nuvolosa era elevata e la posizione della Sicilia sull'immagine non era nadirale o subnadirale.

Tutti i dati utilizzati sono stati ricondotti al sistema cartografico UTM (*datum* WGS84).

L'indice di vegetazione NDVI (*Normalised Difference Vegetation index*) è l'indice di verde più comunemente usato nel *remote sensing*. Esso utilizza la radianza (o la riflettanza) del canale del rosso e del canale del NIR attorno ai 860 nm. Il primo è localizzato nella zona di massimo assorbimento della clorofilla, mentre il secondo è localizzato nel *plateau* di alta riflettanza, dovuto alle componenti della parete cellulare. L'indice, quindi, è correlato con la presenza (densità) di biomassa verde.

L'NDVI ha alcune limitazioni: risente delle condizioni atmosferiche, della saturazione dei suoi valori ed è sensibile all'effetto *background* del suolo.

Dalla sovrapposizione della carta dell'uso del suolo, del poligono dell'incendio oggetto dello studio e delle immagini mensili NDVI è stato ottenuto il profilo annuale medio della vegetazione presente nell'area indagata nel periodo 2004-2010. Ciò ha consentito di caratterizzare la vegetazione secondo il suo andamento fenologico.

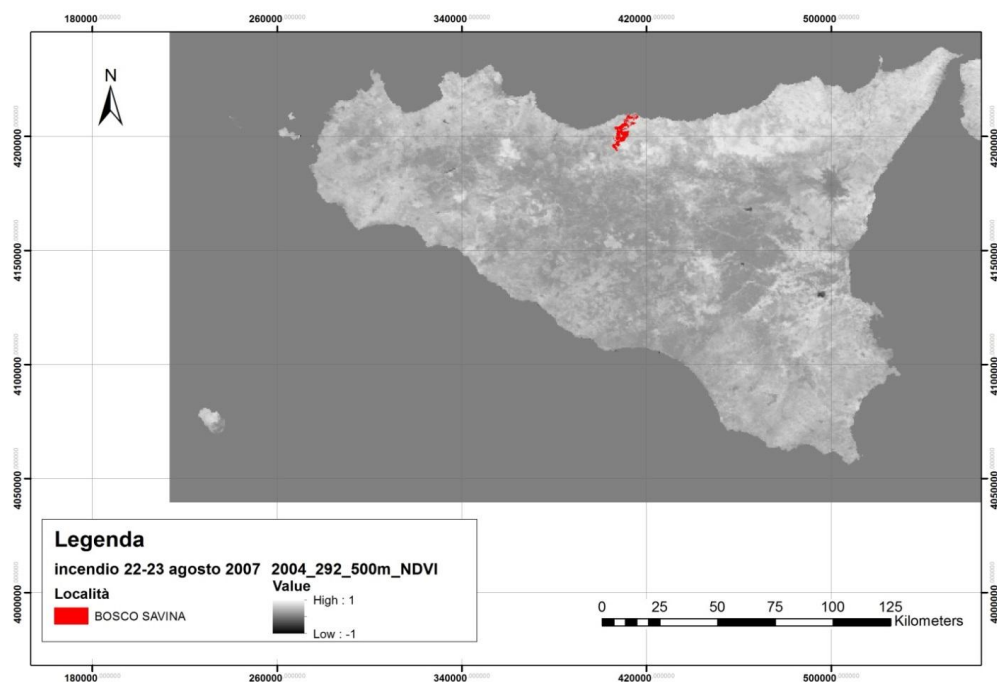


Figura 2 - NDVI della Sicilia in data precedente all'incendio.

Dai profili di Figura 3 risulta evidente come la vegetazione dell'area in esame sia caratterizzata da due distinte stagioni di crescita, rappresentate da due picchi nei profili annuali NDVI, in corrispondenza dei mesi a maggiore disponibilità idrica. Tali picchi ricadono nel periodo primaverile (marzo-aprile) ed in quello autunnale (ottobre-novembre) e sono separati da un minimo della curva NDVI nei mesi estivi nei quali l'aridità diviene il fattore maggiormente limitante per la crescita della vegetazione.

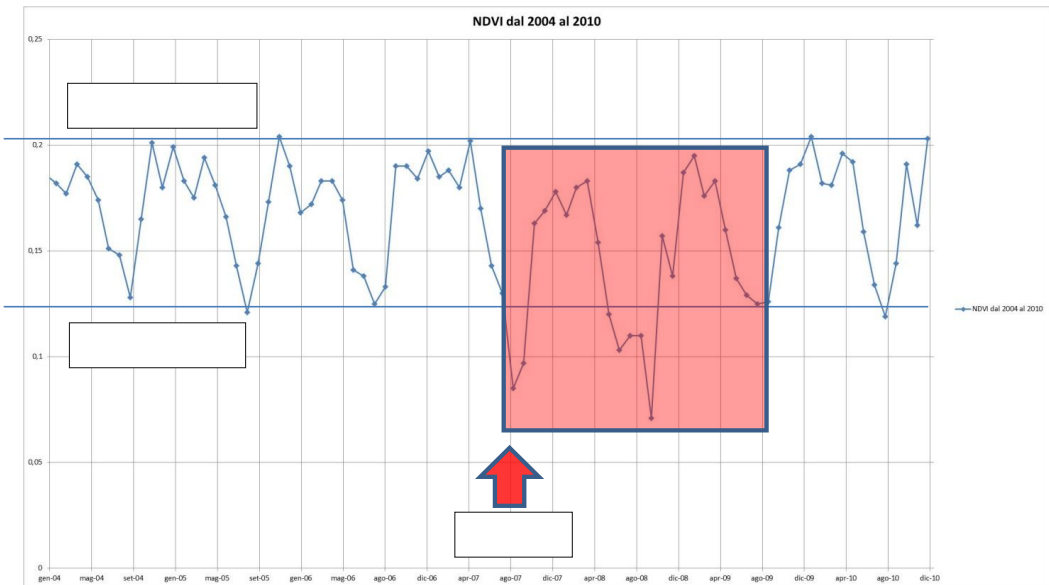


Figura 3 □ Periodo necessario alla vegetazione per rigenerarsi.

Mappatura degli incendi

Il verificarsi di un incendio comporta sia delle variazioni immediate nelle proprietà delle superfici interessate, che possono essere individuate e valutate durante l'evolversi della combustione, che effetti successivi all'incendio stesso, a breve e lungo termine, che caratterizzano le aree che hanno subito il passaggio del fuoco.

La variazione della risposta spettrale, e di conseguenza la riconoscibilità delle aree interessate da incendio, presenta un andamento variabile con il tempo: gli incendi attivi sono facilmente individuabili durante la combustione vera e propria, ma la riconoscibilità decresce rapidamente con la distanza temporale dall'evento, mentre le aree bruciate presentano variazioni minori della risposta (e sono perciò meno facilmente individuabili) ma queste ultime perdurano più a lungo ed è quindi possibile la mappatura anche dopo un periodo di tempo abbastanza lungo.

Per quanto riguarda la risposta spettrale è immediato comprendere come, per la legge di Planck, durante un incendio attivo vi sia un incremento nel segnale infrarosso (soprattutto termico) dovuto all'emissione di energia radiante da parte di un corpo a temperatura più elevata rispetto al contesto, e quindi l'analisi si concentri maggiormente sul rilevamento dell'energia emessa dalla superficie.

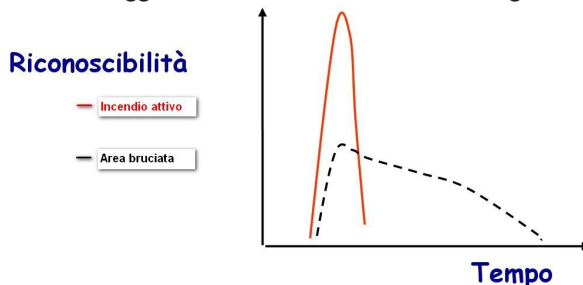


Figura 4 - Incendio attivo e area bruciata La potenza di emissione termica di un incendio è di diversi ordini di grandezza superiore a quella del territorio circostante.

È da notare che, anche se per l'individuazione di un incendio attivo basta che sia interessata solo una porzione del pixel, non si riesce a godere di un effetto cumulativo, ovvero non si riesce a rilevare tutta la superficie bruciata nello stesso incendio; pertanto lo studio della fase attiva degli incendi tende a privilegiare satelliti e sensori che permettono un'alta risoluzione temporale, anche se solitamente ciò va a discapito della risoluzione spaziale.

La mappatura del perimetro di un incendio consiste invece in una rappresentazione vettoriale del perimetro dell'area bruciata, che può essere riprodotta in forma digitale partendo da immagini a rilevazione remota ottenute da sensori a bassa, media o alta risoluzione spaziale; l'acquisizione in questo caso avviene dopo lo spegnimento, perciò si individua la reale estensione del fenomeno quando esso è già avvenuto.

L'individuazione e la georeferenziazione delle superfici percorse dal fuoco mediante remote sensing si fonda sul riconoscimento della risposta spettrale della vegetazione bruciata che è tipicamente differente rispetto a quella della superficie non bruciata.

Change detection analysis

La molteplicità di fattori che determinano la risposta della superficie effettivamente interessata dalla combustione rende quindi impossibile determinare un'unica curva di riflettanza media che rappresenti la firma spettrale di un incendio: i vari studi effettuati hanno portato a risultati diversi, ma è possibile affermare che le analisi delle aree bruciate debbano basarsi principalmente sulle bande dell'infrarosso (in particolare il NIR e lo SWIR) e del rosso, essendo queste maggiormente sensibili agli effetti degli incendi rispetto alle altre lunghezze d'onda.

Una volta calcolato l'indice per ciascuna delle fasi *pre* e *post* incendio, i dati vengono nuovamente processati mediante una tecnica di *Change Detection Analysis*, nota come *NDVI Differencing*. (De Conti et alii, 2003; Disperati et alii, 2003)

Viene pertanto restituita una terza immagine, nella quale ogni pixel esprime la variazione, in termini di attività fotosintetica, fra la fase *post* e *pre* incendio:

$$\Delta NDVI = (NDVI_{post} - NDVI_{pre})$$

In pratica si utilizza la differenza tra due scene riprese in tempi diversi per enfatizzare le variazioni di riflettanza. Valori prossimi allo zero ($\Delta NDVI \approx 0$) indicano assenza di cambiamenti; valori con modulo significativamente diverso da zero identificano zone di cambiamento.

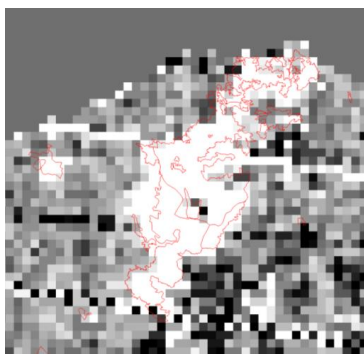


Figura 5 - $\Delta NDVI$ dell'area in cui è avvenuto l'incendio (Parco delle Madonie).

Nel metodo di *Change Detection* comunemente applicato, l'immagine differenza viene riclassificata utilizzando un valore *soglia* che consente di distinguere tre intervalli, corrispondenti rispettivamente alla coda sinistra ($\Delta NDVI < \mu - n \sigma$), alla coda destra ($\Delta NDVI > \mu + n \sigma$) e alla parte centrale della distribuzione ($\mu - n \sigma < \Delta NDVI < \mu + n \sigma$). Le due code indicano un cambiamento significativo

nelle condizioni dello strato vegetativo, conseguenza dell'elevato impatto che l'incendio ha avuto sulla copertura vegetale; i valori nella parte centrale della distribuzione segnalano invece che nessun cambiamento ha interessato l'attività fotosintetica. Il fattore n definisce l'ampiezza della dispersione dei valori attorno alla media.

WEBGIS

La potenza espressiva della cartografia su internet ha dato un importante input per il cambio di passo che ha condotto alle moderne applicazioni di webmapping. Una ulteriore spinta alla diffusione di questa nuova generazione di applicazioni di Webmapping è venuta dall'affermarsi di **standard aperti, documentati e condivisi** messi a punto dall'Open Geospatial Consortium (OGC). La soluzione scelta per realizzare il nostro client è un framework in PHP (p.Mapper per UMN-Mapserver) che mette a disposizione un client con dei moduli dinamici lato server (PHP MapScript). PMAPPER è un client che offre molte funzionalità GIS, ed ha un'interfaccia userfriendly che si interfaccia al motore di rendering **MapServer**.

Nella piattaforma WebGIS realizzata sono stati riversati i prodotti delle elaborazioni effettuate. I servizi offerti da tale piattaforma sono: interrogazione degli indici di vegetazione (NDVI, NMDI) del periodo indagato (gennaio 2004-dicembre 2010); pop-up statico sull'area incendiata dell'analisi multitemporale dell'NDVI; servizi WMS della Regione Sicilia (Carta di uso del suolo ed Ortofoto) e del SIRF (poligoni delle aree incendiate del 2007).

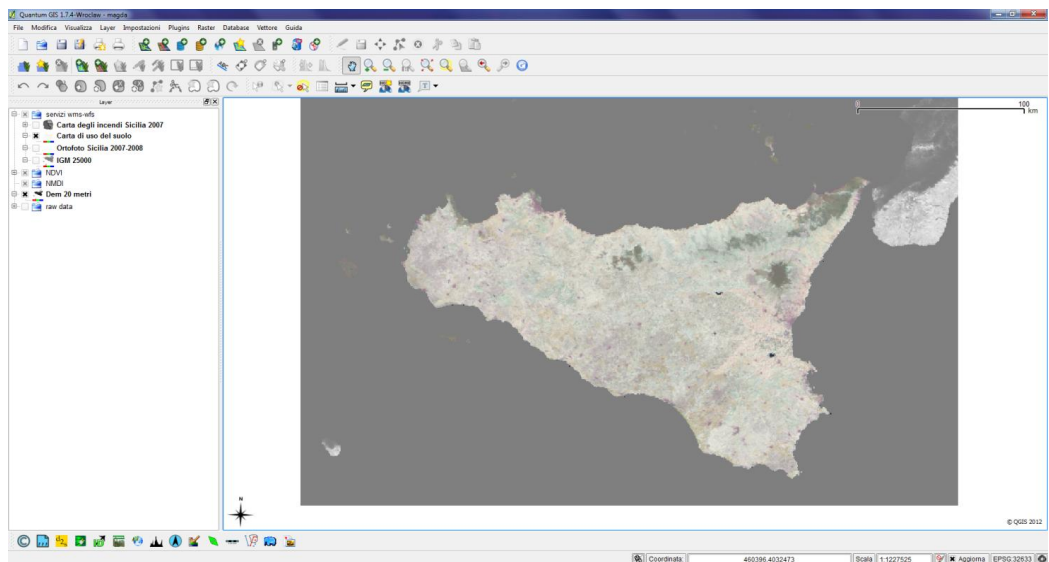


Figura 6 □ Progetto QGIS da cui è stato generato il file .map per il WebGIS.

Conclusioni

Nel presente lavoro sono state utilizzate le bande 1-2 (rosso ed infrarosso) con una risoluzione spaziale di 250 m, e le bande 3-7 (visibile, infrarosso vicino e medio) con una risoluzione spaziale di 500 m delle immagini MOD09. Ciò in quanto le dimensioni caratteristiche degli incendi nel territorio regionale varia da 0,02 ad 2200 ha. I dati MODIS a 250 m e a 500 m risultano idonei a supportare scelte di pianificazione ad ampia scala, offrendo un compromesso tra un'analisi di dettaglio spaziale e spettrale.

L'obiettivo del presente studio, incentrato su un'area della Sicilia interessata da incendi nel corso dell'estate 2007, è stato quello di sperimentare su immagini multispettrali MODIS un algoritmo di

classificazione pixel-based delle aree percorse da incendio al fine di valutarne i limiti di applicabilità nel contesto territoriale regionale.

L'analisi multitemporale di un indice di vegetazione (NDVI) ha permesso di monitorare l'evoluzione delle dinamiche spazio-temporali (nel periodo tra gennaio 2004 e dicembre 2010). Questo aspetto del monitoraggio ha permesso di derivare i parametri delle fasi fenologiche della copertura vegetale dell'area incendiata.

Il metodo di *Change Detection* applicato (*NDVI Differencing*) consente di individuare con accuratezza le aree bruciate da quelle circostanti. La metodologia applicata, inoltre, presenta un requisito di dinamicità potendo essere utilizzata per l'analisi di dati relativi a serie storiche di diversa ampiezza e ad altri contesti regionali.

Concludendo, la metodologia ha prodotto risultati significativi che, da soli, offrono un contributo al controllo della perdita ecologica del manto boschivo causata da un incendio; inseriti in un contesto più ampio, danno un apporto importante alla valutazione del rischio da incendio boschivo.

I principali limiti riscontrati in questo studio sono rappresentati dalla dimensione delle aree: quelle molto piccole non risultano analizzabili con immagini MODIS a 250 m o a 500 m e richiederebbero l'ausilio dell'alta risoluzione spaziale (e.g. Deimos, Sentinel-2).

Gli indici utilizzati presentano, anche se in misura diversa, errori di confusione con superfici di tipo differente: nella fattispecie possono essere incluse tra le aree bruciate anche superfici a bassa riflettanza nel visibile e nell'infrarosso vicino come gli specchi d'acqua, le nuvole, le ombre delle nuvole ed il fumo. È da ricordare come il presente studio abbia incentrato le sue attenzioni solo sulla mappatura delle aree bruciate, senza investigare sulle caratteristiche dell'incendio in termini di gravità e varietà di vegetazioni colpite.

Bibliografia

- Casa, R. (2003) *Multiangular remote sensing of crop canopy structure for plant stress monitoring*. Thesis submitted for degree of Doctor of Philosophy of University of Dundee.
- Dempewolf, J.; Trigg, S.; DeFries, R.S.; Eby, S. (2007) *Burned-Area Mapping of the Serengeti-Mara Region Using MODIS Reflectance Data*, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, IEEE April 2007 Issue: 2 Volume: 4, pp 312 - 316
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira L.G. (2002) *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*, *Remote Sensing of Environment*, vol. 83, pp. 195-213.
- Justice, C.O., et al., (1998) *"The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research."* *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, no.4, July 1998.
- Petitcolin, F. and E. Vermote. (2002) *Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data* *Remote Sensing of Environment* vol. 83, 112-134.
- Roy, D.P.; Boschetti, L. (2009) *Southern Africa Validation of the MODIS, L3JRC, and GlobCarbon Burned-Area Products* *Geoscience and Remote Sensing*, *IEEE Transactions on April 2009* Volume: 47, Issue: 4 Page(s): 1032 - 1044
- Weiss, M., Baret, F., Myneni, R.B., Pragnere, A., Knyazikhin Y. (2000) *Investigation of a model inversion technique to estimate canopy biophysical variables from spectral and directional reflectance data* *Agronomie* 2000, vol. 20, pp. 3-22.
- Xiao, X., Zhang, Q., Braswell, B., Urbanski, S., Boles, S., Wofsy, S., Moore, B., Ojima D. (2004) *Modelling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data* *Remote Sensing of Environment* 2004, vol. 91, pp. 256-270.