

Rapporti tecnici

INGV

**L'utilizzo dei satelliti per
l'individuazione degli incendi boschivi.
Applicazione all'incendio della
collina di Sant'Ilario (Genova)**

369



Direttore Responsabile

Silvia MATTONI

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



Rapporti tecnici INGV

L'UTILIZZO DEI SATELLITI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI INCENDI BOSCHIVI. APPLICAZIONE ALL'INCENDIO DELLA COLLINA DI SANT'ILARIO (GENOVA)

Malvina Silvestri, Massimo Musacchio

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

369

Come citare: Silvestri M., Musacchio M., (2017). L'utilizzo dei satelliti per l'individuazione degli incendi boschivi. Applicazione all'incendio della collina di Sant'Ilario (Genova). Rapp. Tec. INGV, 369: 1-20.

Indice

Introduzione	7
1. Informazioni generali	7
1.1 L'incendio di Sant'Ilario	7
1.2 Il dato satellitare: landsat 8	8
2. Procedura adottata	9
3. Risultati	11
4. Considerazioni finali	16
Bibliografia	17
Sitografia	17

Introduzione

Il 16 Gennaio 2017, alle 11.00 del mattino, ora locale, nella provincia di Genova è divampato, per cause dolose, un incendio nella zona collinare a Nord di Genova Nervi. Quest'incendio ha avuto una rapida evoluzione dovuta al forte vento che ha diretto il fronte di fuoco verso le vicine abitazioni e l'autostrada A10. L'incendio, che ha coperto un'area in prossimità sia di una importante infrastruttura che di un centro abitato, è stato ripreso dal satellite Landsat 8 che per le sue caratteristiche tecniche viene utilizzato per il riconoscimento di eventi ad alta temperatura quali incendi e lave; la mattina del 16 Gennaio il satellite ha acquisito l'area oggetto di questo report alle ore 10.11 UTC (11.11 ora locale), rilevando quindi le fasi iniziali dell'incendio che si è poi sviluppato nei successivi due giorni.

Il caso di studio è stato particolarmente interessante grazie alla vicinanza temporale tra lo stadio iniziale dell'incendio e l'acquisizione dell'immagine Landsat 8. Per la definizione delle aree incendiate è stato usato un algoritmo che richiede in *input* la riflettanza apparente al *top* dell'atmosfera. Al fine di verificare le *performance* dell'algoritmo sono state utilizzate due procedure diverse per il calcolo della riflettanza; una procedura è applicabile a qualsiasi sensore ottico, l'altra è stata sviluppata esclusivamente per Landsat 8.

Questo *report* vuole mostrare come i dati satellitari a media risoluzione spaziale, debitamente processati, siano in grado di offrire gli strumenti per un rapido riconoscimento delle aree affette da incendio.

1. Informazioni generali

1.1 L'incendio di Sant'Ilario

Il giorno 16 Gennaio 2017, alle 11.00 del mattino nella provincia di Genova è divampato un incendio in prossimità delle colline di Sant'Ilario (Figura 1), creando molta difficoltà alla popolazione ed agli operatori che hanno affrontato le fiamme alimentate dal forte vento che spostava il fronte di fuoco verso le vicine abitazioni e l'autostrada A10.



Figura 1. Sinistra: Immagine della zona di Sant'Ilario in provincia di Genova (da: *Google Earth*). Destra: l'incendio sopra Sant'Ilario (foto estratta dal quotidiano "La Stampa" del 18 Gennaio 2017).

"Genova - Da poco prima delle 11 di mattina, un vasto incendio ha interessato le alture del levante genovese: partito dalla collina di Sant'Ilario, col passare delle ore si è allargato alla zona di Apparizione; in serata, un altro fronte di fuoco è divampato alle spalle di Nervi, avvicinandosi pericolosamente alle case e al centro di riabilitazione situato nell'ex ospedale di Nervi con 67 persone per le quali era pronto un piano di sgombero."

Estratto dell'articolo pubblicato sul "Il Secolo XIX" - Genova il 16 Gennaio 2017.

“Un incendio che da ore divampa sui monti Moro e Fasce, sulle alture di Genova sopra Sant’Ilario, ha costretto i vigili del fuoco a far allontanare dalle loro abitazioni alcune famiglie. È avvenuto sopra Nervi, in via della Fassa. Sono 13 le persone sfollate che hanno trovato temporaneamente accoglienza da parenti e amici. Altre abitazioni nella stessa zona sono minacciate dalle fiamme. Poco distante, in località Apparizione, un altro fronte dell’incendio minaccia alcune abitazioni e un ristorante...”

Estratto dell’articolo pubblicato sul “La Stampa” - il 16 Gennaio 2017.

La zona interessata dall’incendio ha coperto un’area di circa 14 kmq rendendo possibile l’uso di quei sistemi satellitari a media risoluzione geometrica (> 15 m e < 100 m) che presentano le caratteristiche necessarie, in termini di lunghezze d’onda, per il riconoscimento di eventi ad alta temperatura quali incendi e lave. La mattina del 16 Gennaio il satellite Landsat 8 (L8), che corrisponde alle caratteristiche sopra citate, ha acquisito un’immagine dell’area oggetto di questo *report* alle ore 10.11 UTC (11.11 ora locale), rilevando quindi le fasi iniziali dell’incendio.

1.2 Il dato satellitare: Landsat 8

I satelliti della serie Landsat formano una costellazione di 8 satelliti che hanno prodotto la più ampia collezione al mondo di immagini satellitari ottiche oggi reperibili gratuitamente (1980-2017). In particolare l’ultimo satellite, L8, lanciato nel febbraio 2013 con a bordo due sensori, *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), presenta 11 bande spettrali (Tabella 1), dedicate a diverse applicazioni quali ad esempio lo studio dell’aerosol costiero, la copertura nuvolosa, la stima della temperatura superficiale e non per ultimo il riconoscimento di *pixel* caratterizzati da una elevata temperatura [<https://landsat.usgs.gov/>].

Ad eccezione delle bande termiche (10 ed 11) che vengono acquisite alla risoluzione spaziale di 100 m, tutte le altre hanno una risoluzione spaziale di 30 metri. In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche delle 11 bande del satellite.

Il tempo di rivisita del satellite, ossia il tempo impiegato dal satellite prima che ripassi sopra la stessa area, è di 16 giorni.

Bande L8	Lunghezza d’onda [µm]	Risoluzione temporale [Giorni]	Risoluzione [m]
Banda 1 - Aerosol costiero	0.43 - 0.45	Il tempo di rivisita del satellite sulla stessa area è di circa 16 giorni.	30
Banda 2 - Blu	0.45 - 0.51		30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59		30
Banda 4 - Rosso	0.64 - 0.67		30
Banda 5 - Infrarosso Vicino (NIR)	0.85 - 0.88		30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65		30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29		30
Banda 8 - Pancromatica	0.50 - 0.68		15
Banda 9 - Cirro	1.36 - 1.38		30
Banda 10 - Infrarosso Termico (TIRS) 1	10.60 - 11.19		100 (ricampionata a 30)
Banda 11 - Infrarosso Termico (TIRS) 2	11.50 - 12.51		100 (ricampionata a 30)

Tabella 1. Caratteristiche del satellite L8.

2. Procedura adottata

Per l'analisi condotta in questo lavoro è stato seguito il diagramma di flusso presentato in Figura 2, di cui di seguito diamo maggiori specifiche.

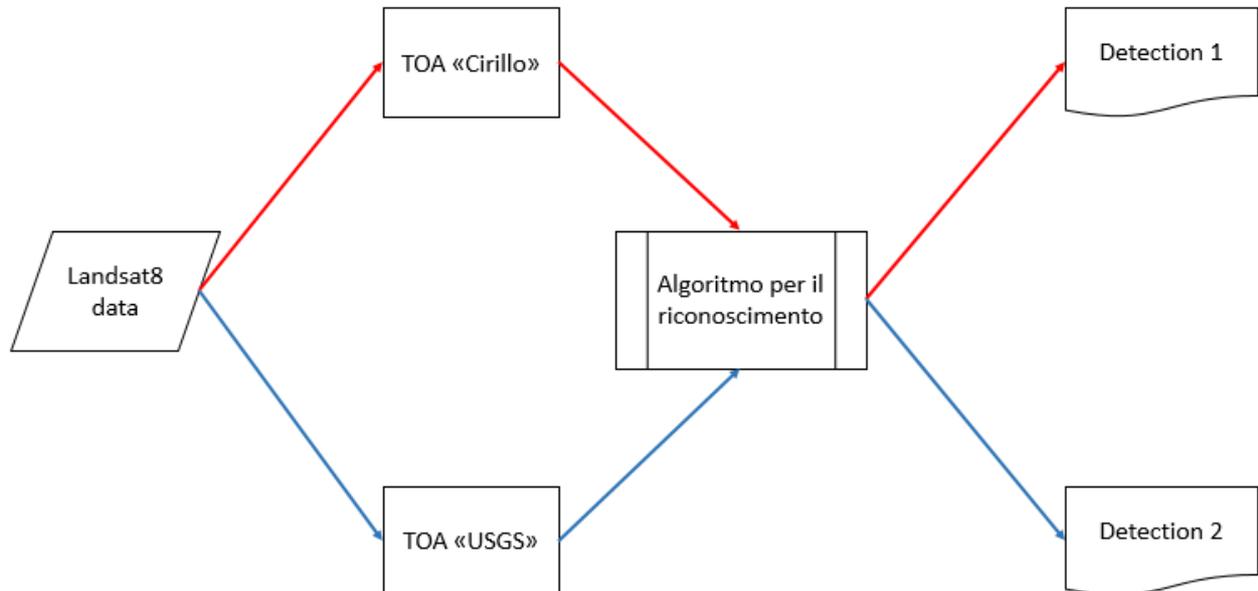


Figura 2. Diagramma di flusso seguito nello sviluppo dell'analisi presentata. I due percorsi rosso e blu indicano due diversi pre-trattamenti del dato che permettono la verifica della omogeneità del risultato.

Il dato L8: Il primo passo effettuato è stato la verifica della disponibilità di un dato L8 sul sito dell'*United States Geological Survey* (USGS [<https://earthexplorer.usgs.gov/>]). Il dato L8 utilizzato all'interno di questo lavoro è stato acquisito dall' USGS il 16 Gennaio 2017 alle 10:11 UTC (Figura 3) e reso disponibile attraverso il suo catalogo *on line* secondo le politiche di disseminazione dei dati dell'USGS. Da questo dato sono state estratte le bande 5, 6 e 7 (Tabella 1) e processate per ottenere la riflettanza apparente al *top* dell'atmosfera. Il valore della riflettanza apparente è stata ricavata in due modi: il primo utilizzando la procedura CIRILLO [Teggi *et al.*, 2007], il secondo seguendo la procedura proposta dal sito dell'USGS [<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>]. Mentre la prima procedura è applicabile a qualsiasi sensore ottico, la seconda è stata sviluppata esclusivamente per L8. Questo confronto ci permette di valutare l'efficienza dell'algoritmo applicato.

In Figura 3 è stata evidenziata l'area interessata dall'incendio ed il fumo emesso rilevato da L8.

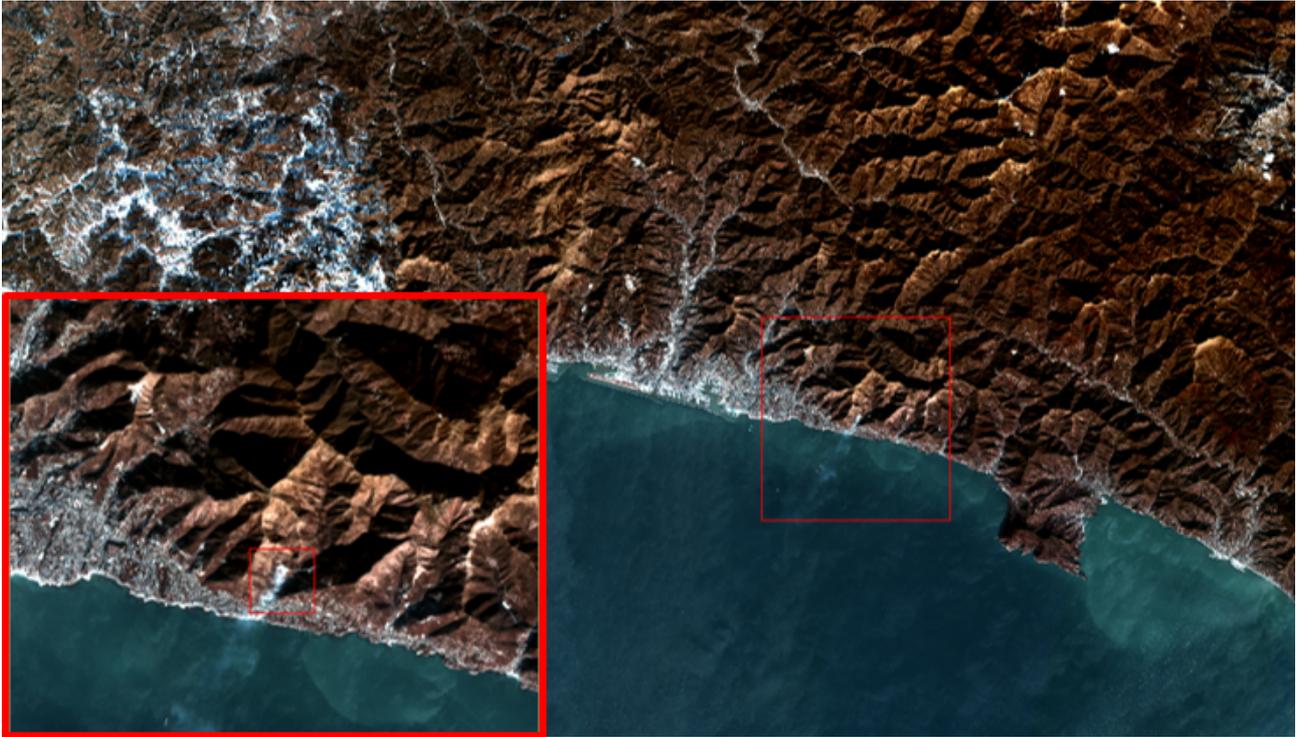


Figura 3. Immagine RGB L8 del 16 Gennaio 2017 alle 10:11 UTC e ingrandimento sull'area dell'incendio.

Top of Atmosphere (TOA) "CIRILLO": Questa procedura è stata sviluppata per apportare le correzioni atmosferiche alle immagini telerilevate nella regione dello spettro elettromagnetico compresa tra $0,40 \mu\text{m}$ e $2,5 \mu\text{m}$. In questa regione spettrale l'atmosfera influenza il dato telerilevato sia tramite processi di diffusione che di assorbimento. In questo caso il procedimento sviluppato per le correzioni atmosferiche utilizza il modello di trasferimento radiativo 6S [Vermote *et al.*, 1997], che tiene conto anche degli effetti di riflessione ambientale ed il modello di trasferimento radiativo MODTRAN [Berk *et al.*, 1989]. È stata inoltre aggiunta la correzione del cambiamento di illuminazione legato all'orografia. La peculiarità della procedura per la correzione atmosferica, per la quale si rimanda a Berk *et al.* [1989], Bogliolo *et al.* [1998], Vermote *et al.* [1997], Teggi *et al.* [2007] e Teggi *et al.* [2005], è che uno dei risultati che genera è la riflettanza apparente TOA, cioè misurata al *top* dell'atmosfera.

TOA "USGS": Questa procedura consente di ottenere la riflettanza apparente, $\rho\lambda'$, attraverso la formula

$$\rho\lambda' = M_p Q_{\text{cal}} + A_p \quad (1)$$

dove:

- M_p è un fattore moltiplicativo specifico della banda dai metadati L8 (*REFLECTANCE_MULT_BAND_x*, dove x è il numero della banda) presente all'interno del file MTL fornito con il dato;
- Q_{cal} è il valore del *pixel* (DN) del prodotto *standard* quantizzato e calibrato;
- A_p è un fattore additivo specifico della banda dai metadati L8 (*REFLECTANCE_ADD_BAND_x*, dove x è il numero della banda).

La riflettanza apparente con la correzione dell'elevazione del sole, $\rho\lambda$, è ottenuta dalla formula:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{sz})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{se})} \quad (2)$$

dove:

- θ_{se} l'elevazione del sole. Tale valore, espresso in gradi, è presente all'interno del metadato MTL (*SUN_ELEVATION*);
- $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$

Algoritmo per il riconoscimento: La riflettanza apparente è il parametro di cui necessita l'algoritmo applicato per il riconoscimento di incendi attivi e descritto in Murphy *et al.* [2016]. L'algoritmo si basa sulla definizione di soglie che permettono di identificare i *pixel* sede di incendio come quelli per i quali il segnale misurato dal satellite verifica due condizioni:

$$A = ((R_7/R_6) \geq 1.4) \text{ e } ((R_7/R_5) \geq 1.4) \text{ e } (R_7 \geq 0.15)$$

$$B = ((R_6/R_5) \geq 2) \text{ e } (R_6 \geq 0.5) \text{ o } \textit{pixel} \text{ non saturati}$$

con R_5 , R_6 e R_7 rispettivamente le riflettanze apparenti misurate nelle bande 5, 6 e 7 (Tabella 1).

In particolare il parametro A identifica tutti i *pixel* in cui potrebbe essere presente l'incendio mentre il parametro B permette di identificare i *pixel* più caldi rispetto ad A eliminando anche i falsi errori. Per maggiori dettagli si rimanda a Murphy *et al.* [2016].

Detection 1 e Detection 2: Rappresentano i risultati ottenuti (vedi Capitolo 3) partendo dallo stesso dato iniziale (L8) attraverso i due pretrattamenti diversi (rispettivamente TOA "CIRILLO" e TOA "USGS") che generano *input* diversi allo stesso algoritmo.

3. Risultati

La procedura di calcolo sopra descritta ha fornito i risultati presentati nelle figure successive (Figure 4, 5, 6 e 7). Le prime due (Figure 4 e 5) rappresentano rispettivamente una vista generale ed una ravvicinata dell'incendio del 16 gennaio attraverso l'algoritmo di riconoscimento [Murphy *et al.*, 2016] applicato al dato TOA "CIRILLO". Le successive due (Figure 6 e 7), analogamente alle precedenti, presentano il risultato ottenuto partendo dalle immagini TOA "USGS".

Comparando i risultati si possono trarre le seguenti considerazioni:

- 1) usando il dato TOA "CIRILLO" si identifica un'area affetta da incendio circa la metà rispetto a quella ottenuta usando il TOA "USGS", rispettivamente 9800 mq e 19800 mq;
- 2) l'algoritmo di Murphy *et al.*, [2016] permette di identificare aree caratterizzate da valori di temperatura diversi, evidenti in questo caso solo usando il dato TOA "USGS". È da sottolineare che, sebbene si identifichino due aree a temperature diverse, non è possibile, con questa procedura, ottenere i valori assoluti di temperatura di queste due aree;
- 3) l'area più calda ottenuta mediante la TOA "USGS" ricade interamente nell'area identificata, usando la TOA "CIRILLO" (Figura 8).

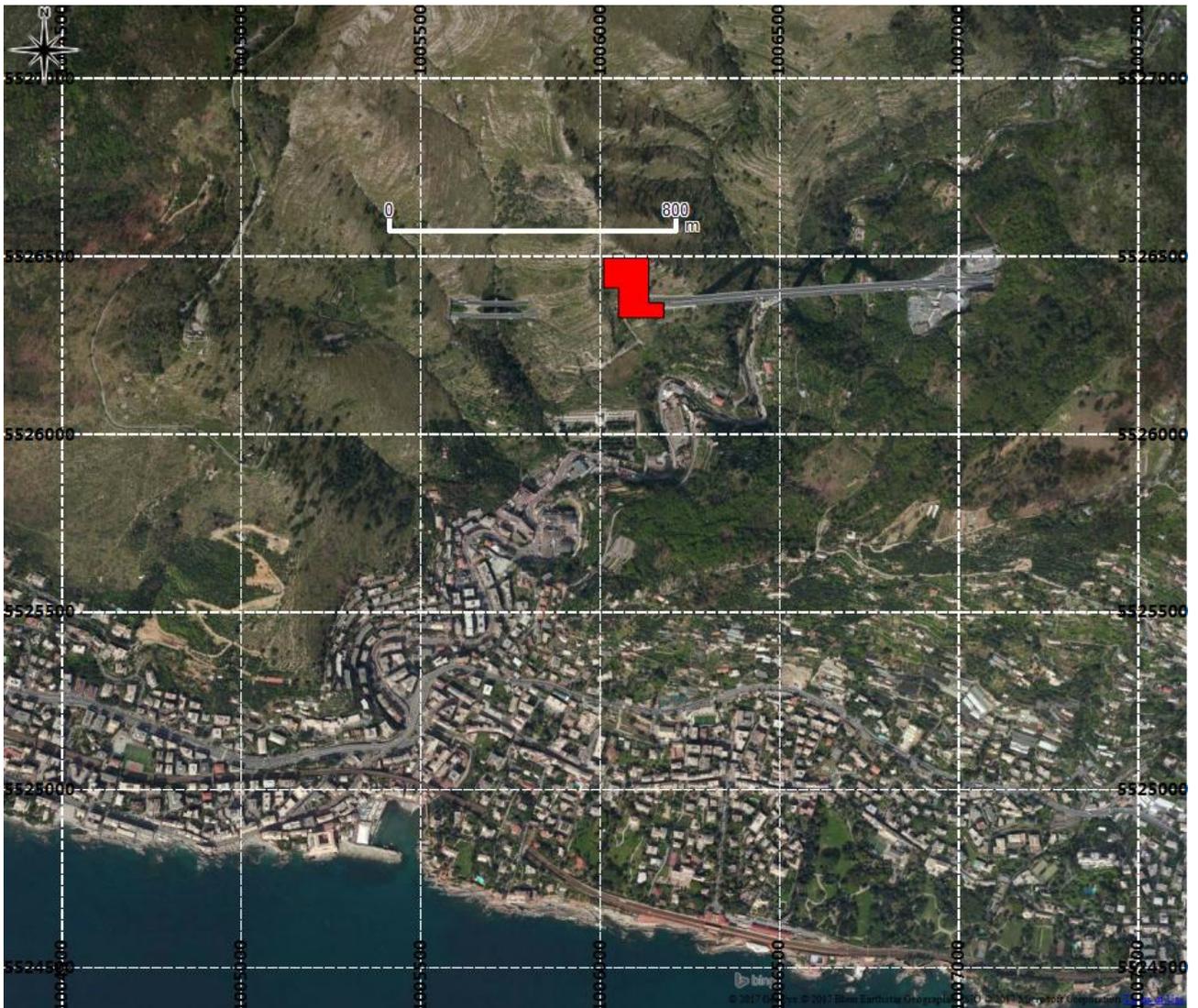


Figura 4. Identificazione dell'incendio del 16 Gennaio partendo dalla TOA calcolata con "CIRILLO". L'area stimata è di circa 9800 mq.



Figura 5. Ingrandimento dell'area identificata partendo dalla TOA calcolata con "CIRILLO".

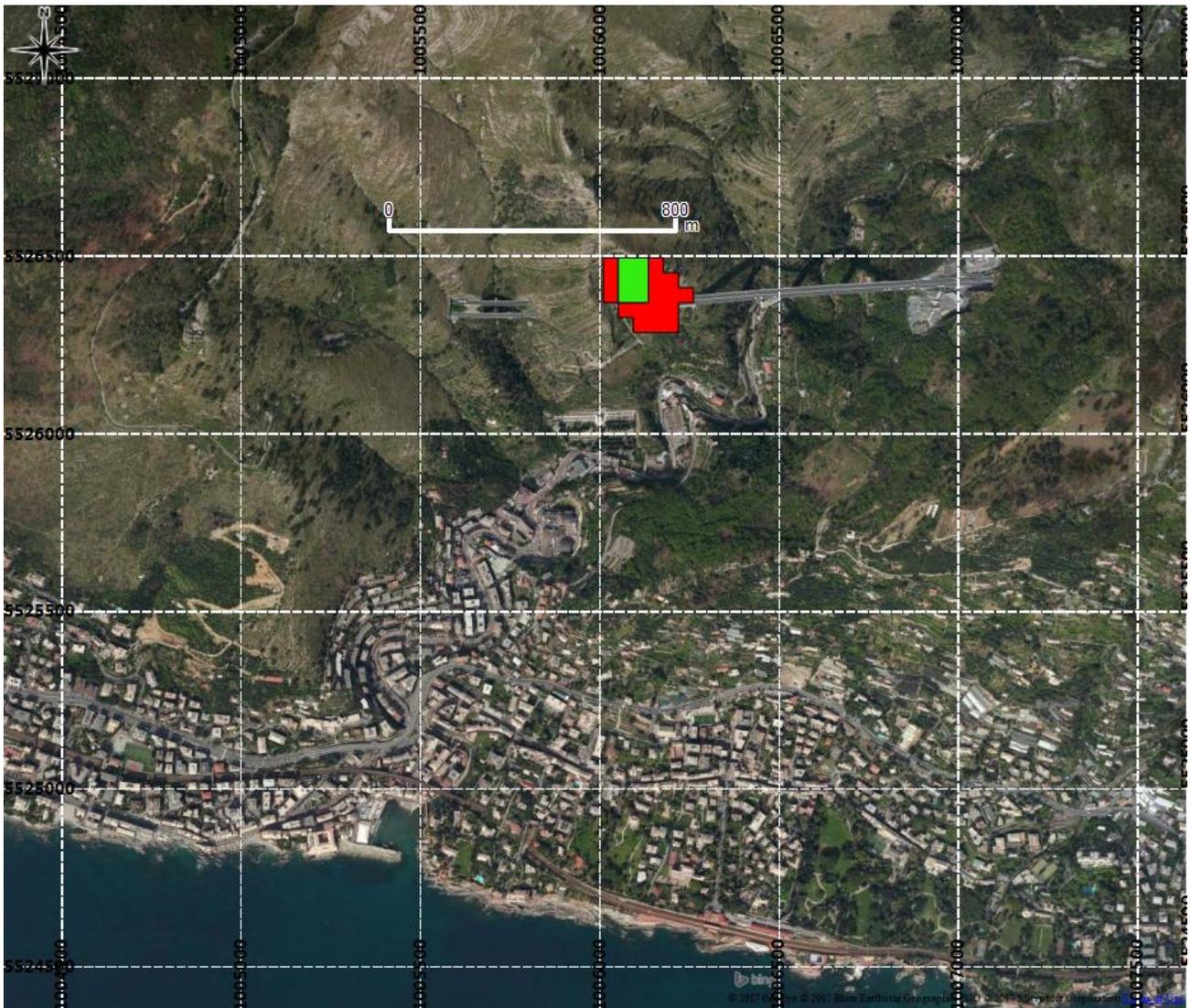


Figura 6. Identificazione dell'incendio del 16 Gennaio partendo dalla TOA "USGS". L'area stimata è di circa 19800 mq. Secondo quanto descritto da Murphy *et al.* [2016] l'area verde è caratterizzata da una temperatura maggiore rispetto a quella rossa, senza comunque poterne definire i valori assoluti.



Figura 7. Ingrandimento dell'area identificata partendo dalla TOA "USGS". L'area verde è di circa 5400 mq quella rossa di circa 14400 mq.

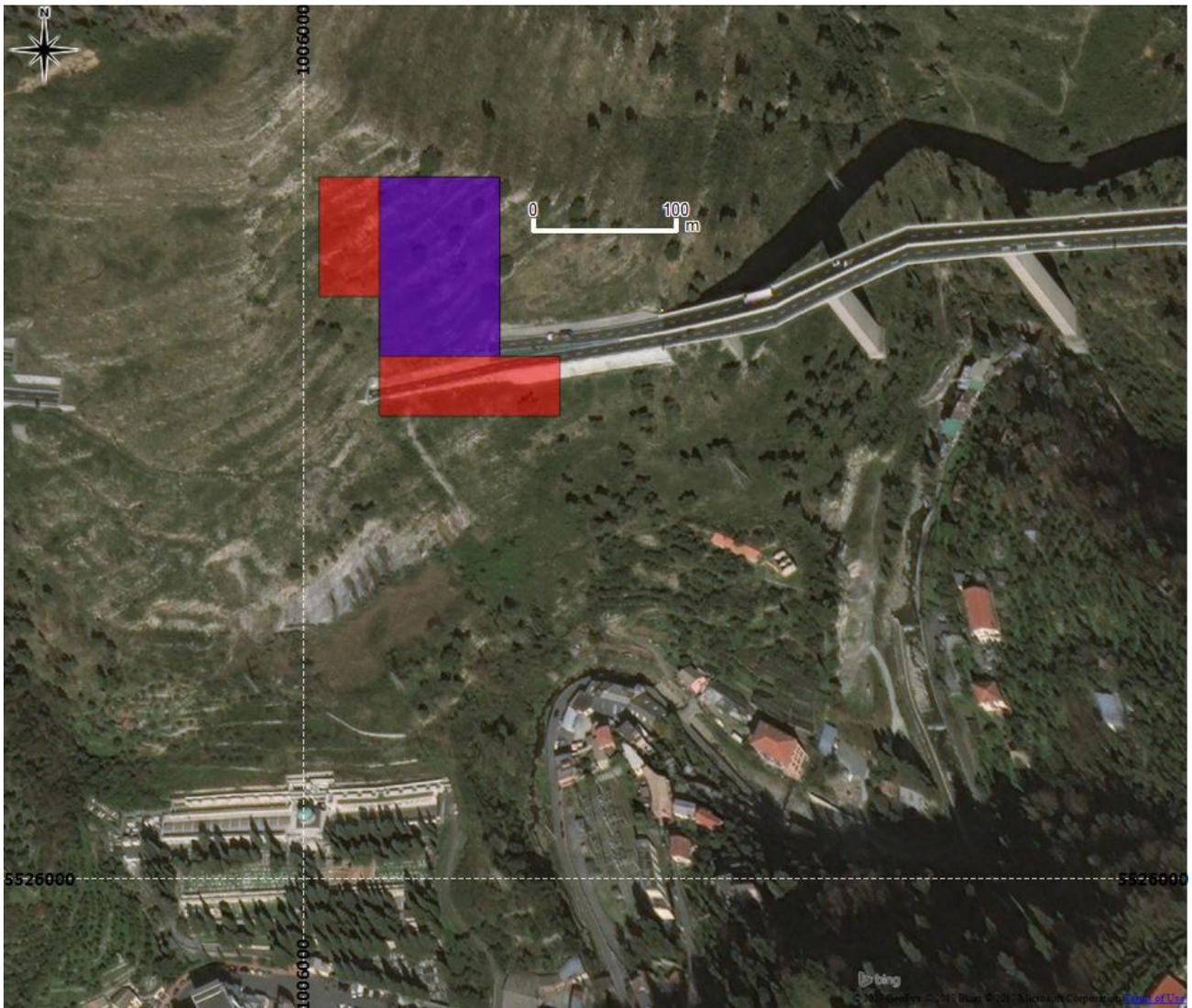


Figura 8. L'area viola in figura (circa 4500 mq) rappresenta la sovrapposizione delle aree ottenute utilizzando l'algoritmo di Murphy *et al.* [2016] con le TOA CIRILLO e TOA USGS.

4. Considerazioni finali

Questo *report* vuole evidenziare la capacità di produrre informazioni a valore aggiunto su un fenomeno ad evoluzione rapida, come un incendio, data la disponibilità del dato satellitare. Infatti l'elevato rischio dei rilievi aerei durante un incendio può rappresentare un limite alla diffusione ed utilizzo delle tecniche foto interpretative per la perimetrazione degli incendi attivi; circostanza aggravata dall'esigenza di dover effettuare la ricognizione più volte nel corso di uno stesso anno, quindi con costi molto elevati.

Nel metodo applicato l'uso delle TOA "USGS" permette di ottenere un dettaglio maggiore delle aree incendiate identificando anche aree a temperatura reciprocamente diversa. La procedura applicata in questo modo identifica anche altri *pixel* singoli come affetti da incendio per i quali non abbiamo modo di verificarne la correttezza attribuzione. L'uso della TOA "CIRILLO" permette di identificare un'area affetta da incendio di dimensioni minore rispetto alla precedente, ma che contiene integralmente la parte più calda identificata attraverso l'algoritmo di Murphy *et al.* [2016] applicato al dato TOA "USGS". Le due soluzioni ottenute identificano un'area presente in entrambe. Dal momento che questa sovrapposizione è l'unica presente nelle due immagini ed in considerazione della impossibilità di verificare i falsi positivi, questa indica in modo conservativo le dimensioni dell'incendio visto dal satellite L8 solo 40 minuti dopo il suo inizio.

La disponibilità di immagini satellitari gratuite, a media ed alta risoluzione spaziale e con tempi di rivisita pari a 16 giorni, sebbene presenti dei limiti nei confronti di eventi veloci e di piccole dimensioni, permette di identificare aree affette da incendi. In prospettiva futura, la disponibilità dei dati Sentinel-2A e Sentinel-2B rispettivamente lanciati nel Giugno 2015 e Marzo 2017 dall’Agenzia Spaziale Europea (ESA), forniranno un importante contributo in considerazione della migliorata risoluzione spaziale (20 m per quanto riguarda le bande utilizzate in questo lavoro) e dei più frequenti tempi di rivisita rispetto ad L8. Infatti nella programmazione delle missioni Sentinel di ESA la famiglia delle Sentinel-2, costituita due piattaforme, ridurrà i tempi di rivisita a circa 3 giorni. Per ottenere un prodotto analogo a quello presentato a partire da questa nuova famiglia di sensori sarà necessario adattare la procedura TOA “CIRILLO” alle nuove specifiche del sensore.

Il satellite L8 ha costituito la base per eseguire, mediante *software di image processing* (ENVI) e di analisi delle stesse (Quantum GIS), questo studio sull’incendio che ha bruciato, nella sola zona di Sant’Ilario circa 700 ettari, come riportato dai giornali locali.

Importante è sottolineare che i dati acquisiti da questi satelliti (L8 e Sentinel-2) sono scaricabili gratuitamente dai relativi portali *on line* (rispettivamente [<https://earthexplorer.usgs.gov/> e <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>]). Sebbene i metodi di analisi basati su dati telerilevati dimostrino significativi progressi, allo stato attuale questi possono solo affiancare i metodi tradizionali di monitoraggio degli incendi e non sostituirli in un contesto operativo.

Bibliografia

- Berk A., Bernstein L.S., Robertson D.C., (1989). *MODTRAN: a moderate resolution model for Lowtran7*. GL-TR-89-0122, AFG Lab., Hanscom Air Force Base, MA 01731-5000, USA.
- Bogliolo M.P., Teggi S., Buongiorno M.F., Pugnaghi S., (1998). *Retrieving ground reflectance from MIVIS data: a case study on Vulcano island (Italy)*. Proc. of 1st EARSeL Workshop on IMAGING SPECTROSCOPY, Remote Sensing Lab., Univ. of Zurich, Switzerland, 6-8 October 1998, pp. 403-416.
- Murphy S.W., Filho de Souza C.R., Wright R., Sabatino G., Pabon R.C., (2016). *HOTMAP: Global hot target detection at moderate spatial resolution*. Remote Sensing of Environment <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.027>.
- QGIS Development Team, (2009). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation.
- Teggi S., Musacchio M., Buongiorno M.F., (2005). *Procedura con interfaccia-utente grafica per le correzioni atmosferiche di immagini satellitari*. Atti della 9a conferenza nazionale ASITA, cd room.
- Teggi S., Bertacchini E., Musacchio M., Buongiorno M.F., (2007). *Correzioni atmosferiche e topografiche di immagini satellitari nell’ambito del progetto Sistema Rischio Vulcanico*. Atti 11° Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto, Torino 6 – 9 novembre 2007.
- Vermote E., Tanré D., Deuzé J.L., Herman M., Morcrette J.J., (1997). *Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 35: 675-686.

Sitografia

- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
<http://www.exelisvis.it/>
http://www.ilsecoloxix.it/p/genova/2017/01/16/ASKekRxF-autostrada_incendio_ilario.shtml
<https://landsat.usgs.gov/>
<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>
<https://goo.gl/jsoVlc>
<http://qgis.osgeo.org>
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia