

Studio comparativo tra lo stato dei luoghi prima e dopo l'incendio del Vesuvio tramite analisi satellitare

ing.Massimiliano Moraca - info@massimilianomoraca.it
dott.for.Antonio Pepe - antonio.pepe.d@gmail.com

Abstract

EN

At the half of July 2017 a big wildfire destroy a large area of Vesuvio and Mount Somma in the Vesuvio National Park.

In this work we have used Landsat8 multispectral set of images to study the area before and after fire. We have used tiles of 05-05-2017 and 24-07-2017. On the set of the images we have applied the DOS for pass from TOA (Top Of the Atmosphere) to BOA (Bottom Of the Atmosphere). After this correction we have applied the Pansharpening with the aim of improving images resolution from 30m/px to 15m/px. Therefore we have estimate NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NBR (Normalized Burn Ratio) and temperature of the ground before and after the fire.

IT

A metà luglio 2017 un incendio di vaste proporzioni ha interessato il Vesuvio ed il Monte Somma distruggendo vaste aree di vegetazione sia all'interno che all'esterno del Parco Nazionale del Vesuvio.

In questo elaborato è stato effettuato uno studio comparativo tra lo stato dei luoghi prima dell'incendio e dopo l'incendio. Per lo studio sono state usate immagini satellitari multispettrali relative ai rilievi Landsat 8 del 5 maggio e del 24 luglio. Le immagini sono state processate usando la tecnica DOS - Dark Object Subtraction - per rimuovere i disturbi dovuti all'atmosfera terrestre. Successivamente si è proceduto ad una ulteriore elaborazione, il Pansharpening, mirata ad aumentare la risoluzione delle immagini satellitari portandola così da 30m/px a 15m/px. Sono stati stimati gli indici NDVI ed NBR oltre che le temperature al suolo pre e post incendio.

Keywords

Landsat8, change detection, Vesuvio, wildfire, NDVI, NBR, temperature

Introduzione

A metà luglio 2017 un incendio di vaste proporzioni ha interessato il Vesuvio ed il Monte Somma distruggendo vaste aree di vegetazione all'interno del Parco Nazionale del Vesuvio. Lo scopo di questo studio è ottenere una valutazione degli indici NDVI, indice utile a valutare

lo stato fisiologico delle foreste e NBR, uno degli indici più utilizzati per mappare la severità di aree incendiate, in modo da stimare l'estensione dei danni provocati dall'incendio.

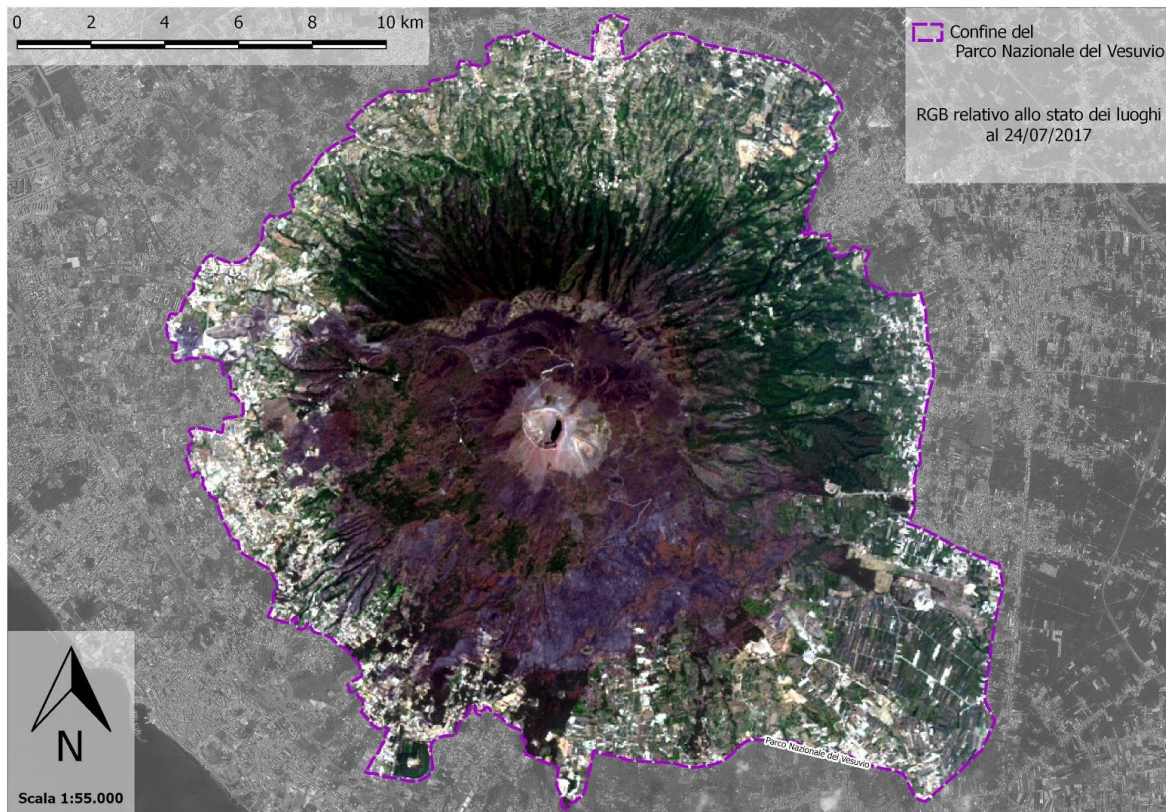


fig.1 - RGB relativo allo stato dei luoghi al 24 luglio 2017

Per questo studio sono state usate immagini satellitari multispettrali relative ai rilievi Landsat 8 del 5 maggio e del 24 luglio 2017. Si è scelta la piattaforma Landsat 8 piuttosto che la Sentinel 2 nonostante i rilievi della seconda abbiano una risoluzione migliore della prima. Questa scelta è stata fatta per tre ordini di motivi:

- nei mesi subito precedenti i giorni degli incendi, per i Sentinel 2, non erano disponibili dati liberamente scaricabili che non avessero copertura nuvolosa sul Vesuvio o sul Somma;
- si è appositamente scelto di non effettuare operazioni di mascheramento della copertura nuvolosa per non alterare i risultati relativi a NDVI e NBR;
- non si è voluto andare a ritroso nel tempo per non intercettare i danni provocati dagli incendi estivi degli anni precedenti il 2017,

Abbiamo voluto fare, quindi, una fotografia del pre-post incendio usando dati quanto più vicini e confrontabili tra loro. Le immagini sono state processate usando il metodo DOS, per rimuovere i disturbi dovuti all'atmosfera terrestre, e successivamente si è proceduto ad una loro ulteriore elaborazione, con il Pan-sharpening, mirata a ridurre la risoluzione delle immagini satellitari portandola così da 30m/px a 15m/px. Il processo elaborativo è stato condotto usando esclusivamente il software open source QGIS, nella versione 2.18, ed il Semi-Automatic Classification Plug-in.

1 - Remote Sensing

L'essere umano riesce ad identificare ed interpretare il territorio grazie al processo di elaborazione della luce effettuato dall'occhio. L'occhio umano è assimilabile al sensore che, montato su un satellite o su un aeromobile, analizza la luce solare e ne restituisce un input interpretato dal cervello.

La luce, cioè la radiazione visibile, è una piccola parte della radiazione elettromagnetica ed insieme ad altre tipologie di radiazioni forma lo spettro elettromagnetico. Parliamo di radiazione poichè facciamo riferimento a quel processo fisico per cui l'energia è trasportata da un corpo ad un altro attraverso il vuoto, quindi non per contatto tra i corpi.

Con lo spettro elettromagnetico andiamo a rappresentare su un asse le lunghezze d'onda dei vari tipi di radiazioni.

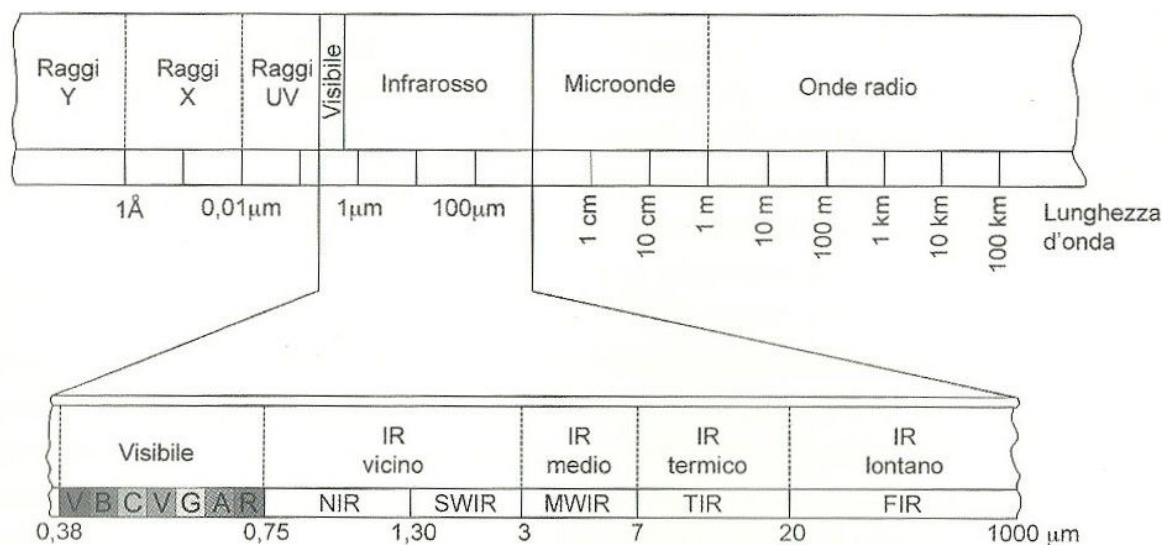


fig.2 - Lo spettro elettromagnetico. Da "L'osservazione della Terra - Telerilevamento"

Lo spettro del visibile è solo una piccolissima parte dello spettro elettromagnetico che va dai raggi Y, con lunghezza d'onda nell'ordine dell'Å(ångström), alle onde radio, con lunghezza d'onda superiore ai 100km. Per il remote sensing le regioni significative vanno dall'ultravioletto(UV) al microonde(MW).

La radiazione elettromagnetica risulta quindi fondamentale per questo tipo di studi, essa risulta essere trasportata dai fotoni, secondo la teoria quantistica, e l'energia trasmessa attraverso di essi è detta **energia radiante**, Q . A noi interessa una grandezza ben specifica derivante dall'energia radiante e cioè il **flusso di energia radiante**, Φ , che è la quantità di energia trasportata in un certo tempo:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Tale flusso è espresso in Watt.

E' di rilievo considerare anche il flusso di energia radiante che passa attraverso una certa area. Se esso fuoriesce da una fonte energetica abbiamo l'**exitanza**, M , misurata in $Watt/m^2$:

$$M = \frac{d\Phi}{dA}$$

Se invece un corpo ne è colpito abbiamo l'**irradianza**, E , anch'essa espressa in $Watt/m^2$:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Una ulteriore grandezza radiometrica fondamentale per il remote sensing, anche perchè risulta essere quella effettivamente misurata dal sensore, è la **radianza**, L , e cioè il flusso radiante attraverso un'area ed un certo angolo di osservazione. Tale grandezza è espressa in $Watt/m^2 sr$ in cui sr è lo steradiano¹:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cos\theta d\omega}$$

in cui θ è l'angolo di osservazione e ω è la normale alla superficie osservata.

Tutto i corpi che sono ad una temperatura superiore allo zero assoluto emettono energia elettromagnetica, in particolare ogni tipologia di materiale emette una propria firma spettrale(Dainelli, 2011).

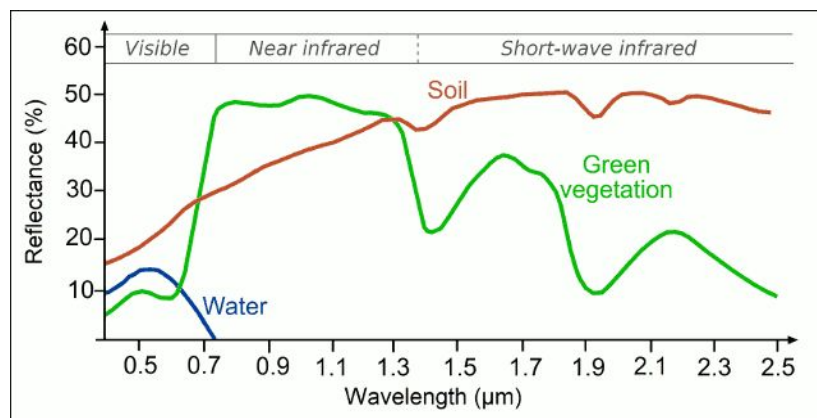


fig3. - Firme spettrali di alcuni materiali

1.1 - DOS e Pan-sharpening

Nell'utilizzo dei dati da rilievo satellitare è importante andare a rimuovere gli effetti deteriorativi della qualità dell'immagine che l'atmosfera terrestre imprime su di esse. L'atmosfera terrestre infatti attiva effetti di dispersione, assorbimento e riflessione della radiazione elettromagnetica. Tali effetti vanno rimossi per una corretta analisi dei dati. In questo studio è stata usata il metodo DOS - *Dark Object Subtraction* - ideato da Pat S. Chavez jr nel 1996(Pat S.Chaver, 1996) ed i cui algoritmi sono riportati nel plugin di QGIS "Semi-Automatic Classification Plug-in"(Congedo, 2016).

Il metodo DOS rimuove i pixel neri dalle immagini rendendola più nitida poichè parte dal presupposto che alcuni pixel riproducono aree che sono in completa ombra e la radiazione

¹ Lo steradiano è l'unità di misura del sistema internazionale per l'angolo solido, ossia il corrispondente tridimensionale del radiante.

al satellite è dovuta all'effetto di dispersione atmosferica; ciò è combinato con il fatto che pochissimi target al suolo sono di un nero intenso, è ipotizzata quindi una riflettanza² dell'1%.

In gergo tecnico si dice che con la rimozione dei disturbi si “portano le immagini al di sotto dell’atmosfera terrestre”. Per i dati rilevati da aeromobile non è necessario utilizzare nessuna tecnica di rimozione degli effetti di disturbo dell'atmosfera terrestre.

Per migliorare la qualità dell'output del nostro studio è stata usata la tecnica del Pan-Sharpening per ridurre la risoluzione delle immagini Landsat 8. Il Pan-Sharpening o Panchromatic Sharpening è una tecnica che sfrutta la banda pancromatica combinandola con le bande multispettrali andando così a ridurre la risoluzione spaziale delle bande multispettrali. Anche per i processi relativi al Pan-Sharpening è stato usato il Semi-Automatic Classification Plug-in.

1.2 - Landsat 8

Il programma Landsat fornisce immagini satellitari della superficie terrestre da 45 anni; è ampia e varia la comunità degli utilizzatori dei dati Landsat si va dai settori del business a quelli della scienza e ricerca, il governo del territorio e la sicurezza nazionale.

Il programma Landsat prevede l'acquisizione continua ed in bande multispettrali di immagini dell'intero globo terrestre, producendo il più vasto archivio di rilievi satellitari accessibile per lo più gratuitamente da chiunque.

Il programma Landsat è gestito dall'USGS - *United States Geological Survey* - e dalla NASA - *National Aeronautics and Space Administration* - e vede il lancio del primo satellite, il Landsat 1, nel 1972; l'ultimo, il Landsat 8, è stato messo in orbita nel 2013.

Il Landsat 1 aveva una risoluzione al suolo di 80m/px e 4 bande multispettrali; Landsat 2 e 3, lanciati rispettivamente nel 1975 e nel 1978, avevano una configurazione simile al Landsat 1. Landsat 4, lanciato nel 1984 aveva una risoluzione di 30m/px e 7 bande multispettrali; Landsat 5 era una copia del 4 e fu lanciato nello stesso anno. Landsat 6 andò perso subito dopo il lancio nel 1993 perchè non riuscì a marcare l'orbita. Landsat 7, lanciato nel 1999, aveva 8 bande multispettrali a 30m/px di cui una pancromatica a 15m/px.

Landsat 8 effettua un passaggio sullo stesso punto della superficie terrestre ogni 16 giorni, è posto su un'orbita quasi polare, elio-sincrona, circolare, ad una quota di 705 km e rileva immagini multispettrali a 11 bande.

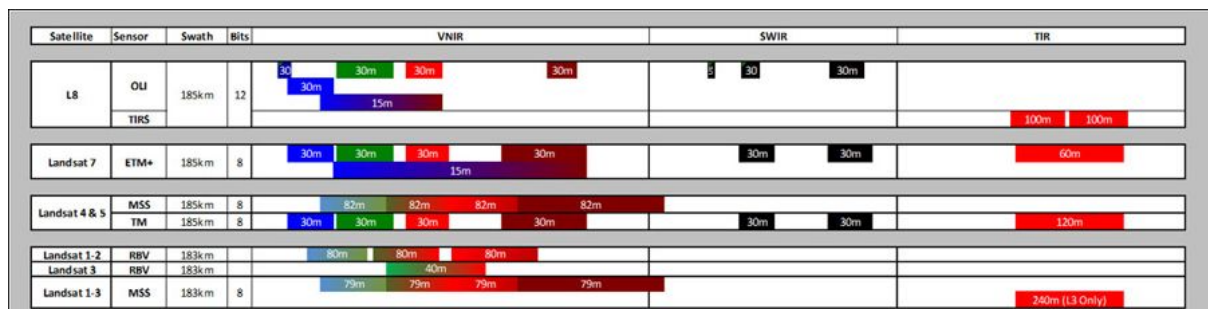


fig4. - Comparazione delle bande multispettrali delle missioni Landsat

² La riflettanza, rapporto tra intensità del flusso radiante riflesso e intensità del flusso radiante incidente su un corpo. E' la capacità di un materiale o di una superficie di riflettere parte della luce incidente su di esso.

Landsat 8 monta due importanti sensori passivi³: OLI - *Operational Land Imager* - e TIRS - *Thermal Infrared Sensor*.

L'OLI ha un telescopio a quattro specchi ed elabora immagini a 12bit rispetto agli 8bit dei sensori TM & ETM+.

Raccoglie immagini in 9 bande multispettrali di cui 8 con risoluzione pari a 30m/px ed una, la banda pancromatica, a risoluzione di 15m/px.

In particolare la banda pancromatica è una risoluzione minore rispetto alle altre per accentuare il contrasto tra aree vegetate ed aree senza copertura vegetale.

fig5. - Sensoristica a bordo del Landsat 8 (Landsat 8 Data Users Handbook)

Landsat-7 ETM+ Bands (µm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (µm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

fig6. - Comparazione tra bande Landsat 7 e 8 (Landsat 8 Data Users Handbook)

La comparazione tra le bande del Landsat 7 e del Landsat 8 mettono in evidenza le differenze tra le due piattaforme presenti non solo per la differente lunghezza d'onda della sensoristica ma anche per la presenza di ulteriori bande; nello specifico la banda 1, la 9 e le bande 10 ed 11 relative al TIRS.

La banda 1 è stata introdotta per l'osservazione degli oceani, la banda 9 è utile invece per l'osservazione delle coperture nuvolose anche sottili.

Le bande 10 ed 11, relative al sensore **TIRS**, sono usate per monitorare la temperatura della superficie terrestre. TIRS utilizza fotorivelatori a infrarossi quantici QWIP - *Quantum Well Infrared Photodetectors* - per misurare l'energia termica a infrarossi a onde lunghe (TIR) emessa dalla superficie terrestre. I QWIP di TIRS sono sensibili a due bande di lunghezza d'onda dell'infrarosso termico, consentendo la separazione della temperatura della superficie terrestre da quella dell'atmosfera.

³ I sensori passivi sfruttano, per le loro analisi, la sola energia elettromagnetica proveniente dal corpo indagato mentre quelli attivi, oltre a sfruttare l'energia elettromagnetica proveniente dal corpo indagato, producono essi stessi energia utile ai fini del rilievo. I radiometri sono esempi di sensori passivi mentre i sensori radar ed i LiDAR sono esempi di sensori attivi.

2 - Dati usati e metodologia

Lo studio è stato condotto secondo le seguenti fasi:

1. Individuazione del periodo di interesse;
 - a. Raccolta dei tiles Landsat 8;
 - b. Scrematura degli stessi finalizzata all'individuazione di due dataset riferiti ad altrettanti giorni utili ai nostri scopi;
2. Pre-processamento dei dataset;
 - a. Rimozione dei disturbi dell'atmosfera tramite DOS;
 - b. Aumento della risoluzione del dataset tramite Pan-Sharpening;
3. Post-processamento dei dataset;
 - a. Calcolo di NDVI, NBR;
 - b. Campionamento della temperatura al suolo;
 - c. Intersezione tra NBR e Corine Land Cover.

I dati per il nostro studio sono stati prelevati dal sito web EarthExplorer dell'USGS effettuando una prima scrematura dei tile prima del download.

Successivamente con l'utilizzo congiunto di QGIS e del Semi-automatic Classification Plug-in è stato applicato il metodo DOS sia al tile del 5 maggio 2017 sia a quello del 24 luglio 2017, metodo applicato ad ognuna delle 11 bande dei singoli tile.

L'output di questo primo processo è stato rielaborato con il Pan-Sharpening per ottenere un output finale ad una risoluzione di 15m/px, dimezzando la risoluzione rispetto ai 30m/px iniziali. Per questo processo è stata combinata la banda 8, la banda pancromatica, con le bande da 2 a 7, cioè le bande multispettrali.

Nell'immagine che segue è indicato il flusso di lavoro per entrambe le operazioni appena indicate.

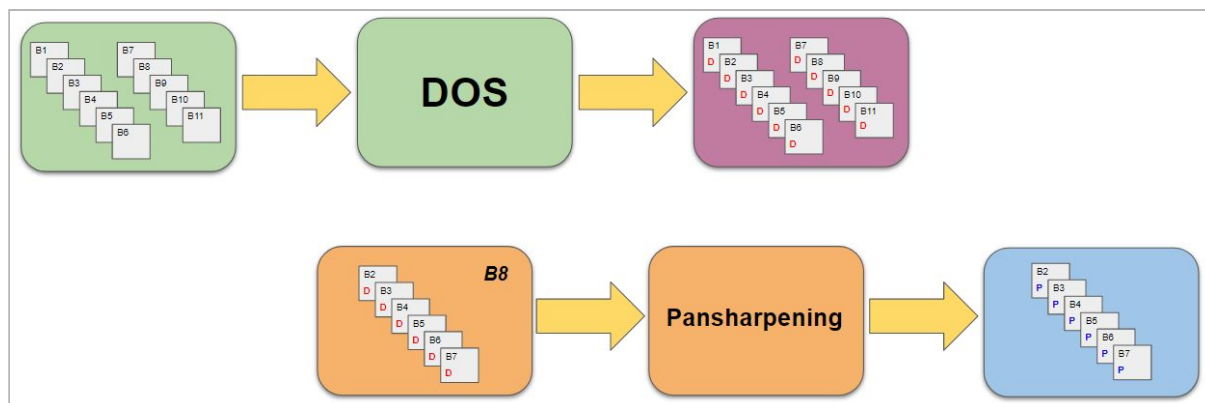


fig7. - Flusso di lavoro sui dati Landsat 8

Il nuovo set di bande è stato riutilizzato per la determinazione degli indici NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* - e NBR - *Normalized Burn Ratio* -, indici che verranno approfonditi nel paragrafo successivo.

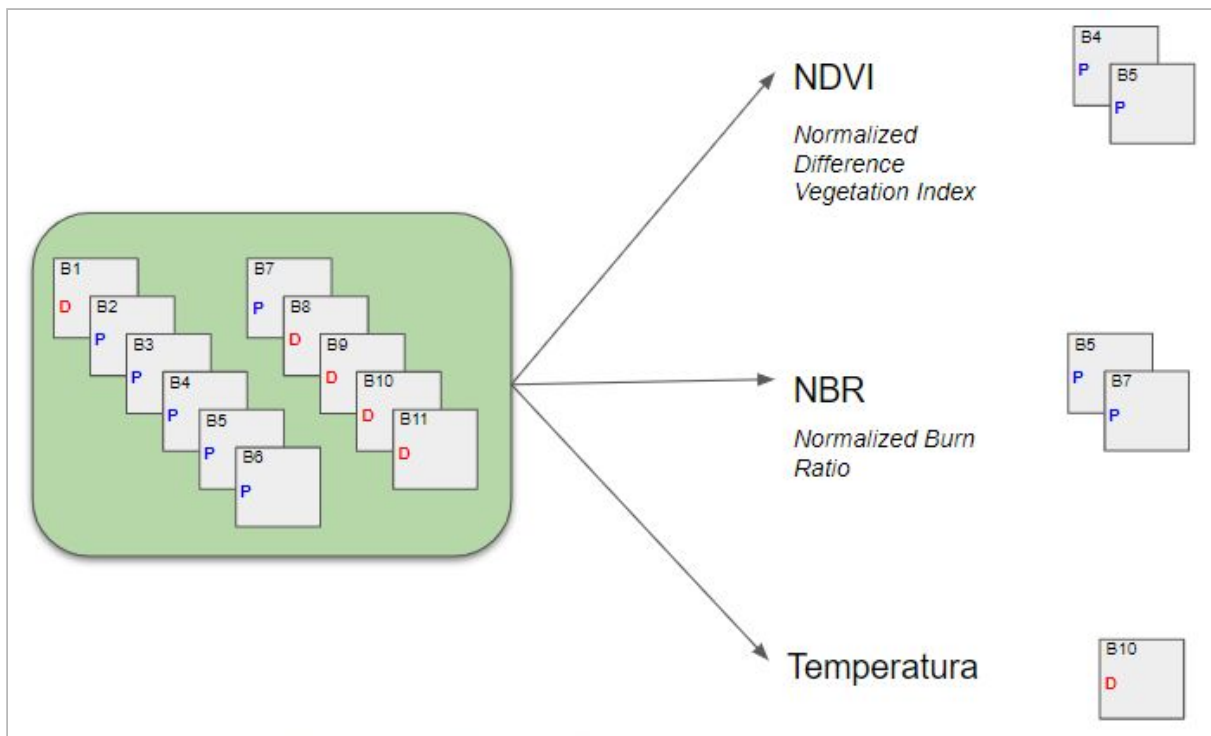


fig8. - Bande su cui si è condotto lo studio

Una delle prime analisi effettuate è stata quella relativa alla comparazione della temperatura al suolo pre e post incendio sfruttando la banda 10 TIRS. Abbiamo rilevato 5 punti di campionamento a cui abbiamo associato il dato termico pre e post incendio tramite join spaziale.

L'indice NBR ci ha consentito di individuare, tramite differenza pre-post incendio, l'area del Parco Nazionale del Vesuvio in cui si sono avuti i maggiori danni; successivamente abbiamo riclassificato e vettorializzato il raster di differenza ottenuto in modo da avere una copertura di tipo poligonale e vettoriale dell'area di nostro interesse.

Tale dato è stato interpolato con il vettore poligonale della CLC 2012 - *Corine Land Cover* -, prelevato dal sito web Copernicus, tramite operazioni di geoprocessing in modo da ottenere una correlazione tra il tipo di danno ed il tipo di copertura del suolo. Dal vettore poligonale così ottenuto sono state estratte le estensioni delle singole tipologie di suolo danneggiate.

3 - Analisi dei risultati

3.1 - Normalized Difference Vegetation Index

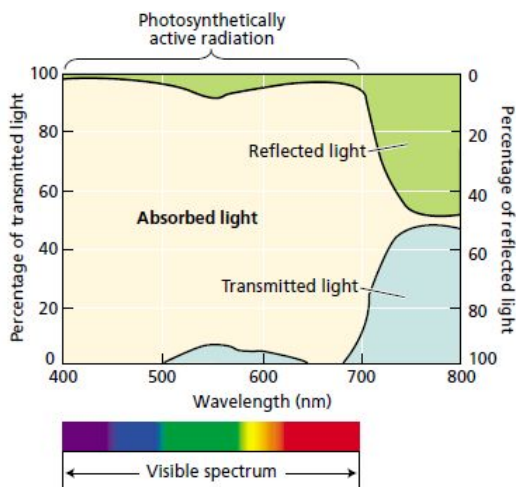


fig.9 Assorbimento e riflessione della luce da parte dei pigmenti vegetali

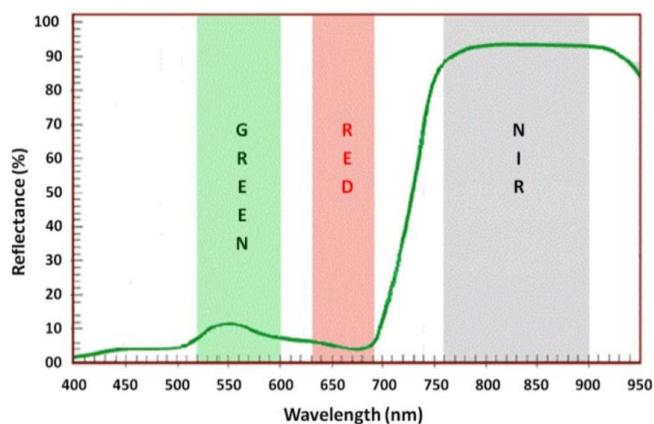


fig.10 firma spettrale dei vegetali tra i 400 e 950 nm

Le piante sono caratterizzate da un particolare firma spettrale. Il loro comportamento nei confronti della luce è influenzato dalla attività dei pigmenti (clorofilla, carotenoidi, antociani). La clorofilla infatti ha un picco di assorbimento nelle lunghezze d'onda del rosso visibile, mentre la struttura cellulare delle foglie tende a riflettere l'infrarosso. L'attività fotosintetica influenza quindi la quantità di luce assorbita e trasmessa che viene rilevata dal satellite. Utilizzando questo principio è possibile monitorare lo stato di salute del bosco ed eventuali problemi (stress idrico, patologie, incendi) che abbassano la quantità di fotosintesi (Weier & Herring, 2000).

Per quantificare la capacità fotosintetica delle foreste viene utilizzato l'*Indice di Area Fogliare (LAI, Leaf Area Index)*, un indice che misura la quantità di superficie fogliare fotosinteticamente attiva per unità di superficie di suolo (Bolstad, 1990). Il LAI può essere misurato in capo tramite appositi sensori ottici. Calcolare il LAI in campo però risulta dispendioso se non impossibile per grandi superfici. Una valida alternativa è l'utilizzo di indici satellitari che consentono un monitoraggio duraturo nel tempo e anche per quelle aree di difficile accessibilità. Per valutare lo stato fisiologico delle foreste vesuviane è stato utilizzato l'indice di vegetazione normalizzato (*NDVI - Normalized Difference Vegetation Index*), uno degli indicatori più usati per monitorare l'evolversi della vegetazione nel tempo e soprattutto un indice che in diversi ambienti può quantificare in modo ottimale l'area fogliare fotosinteticamente attiva e mostra una forte correlazione con il LAI (Quan Wang 2005) (Carlson 1997). Molti indici inoltre, essendo sviluppati nel centro-nord Europa e in America settentrionale sono calibrati per funzionare nel macro-clima temperato, risultando problematici in ambiente mediterraneo. L'NDVI è uno dei pochi indici ad avere una correlazione lineare con i dati rilevati empiricamente in campo su superfici incendiate in ambiente mediterraneo (Veraverbeke et al. 2011). L'indice è calcolato come rapporto tra differenza e somma delle bande con lunghezza d'onda nel vicino infrarosso (ρ_{nir}) e rosso (ρ_{red}):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

Questo indice infatti, per i motivi fisiologici già descritti, ci indica innanzitutto la presenza o meno di chiome. Considerando infatti che le foglie assorbono il rosso e riflettono l'infrarosso (fig. 10) se vi è più radiazione riflessa nel vicino infrarosso rispetto a quella nelle lunghezze d'onda del rosso, allora è probabile che in quel pixel la vegetazione sia maggiormente densa e fotosinteticamente attiva. Essendo legato anche alla capacità di fotosintesi, le variazioni del rapporto tra le due bande sono spesso utilizzate per una quantificazione di danno o stress che rifletta lo stato di salute della copertura arborea. I valori di NDVI sono compresi tra -1 e 1, tende ad assumere valori tanto più positivi quanto più è presente una vegetazione fitta, con grossa presenza di clorofilla. Le foreste che si attestano ad un valore medio che oscilla tra 0.7 a 0.9 a seconda del tipo di vegetazione. Valore che scende a 0.2/0.3 nel caso di formazioni ad habitus erbaceo e scende ulteriormente per le superfici prive di vegetazione.

Il valore del NDVI non è costante tutto l'anno ed è strettamente legato alla fenologia della specie. Si pensi ad esempio alle specie a foglia caduca, che in inverno non hanno attività fotosintetica, in tal caso il bosco avrà un valore di NDVI bassissimo nel periodo invernale (dovuto per lo più al suolo visibile) con un rapido incremento in primavera. Successivamente l'indice tende a "saturarsi", non rilevando cambiamenti sostanziali durante il periodo estivo. Dopo il rapido incremento primaverile i valori di NDVI raggiungono quindi un plateau e rimangono stabili fino ad un decremento autunnale. Nel monitorare quindi la variazione di NDVI di un singolo evento bisogna scegliere un intervallo di date non troppo distanti tra loro e che ricadano all'interno della fase estiva, con valori di NDVI stabili, affinché la fenologia non influenzi i risultati e si possa isolare solamente l'effetto dell'evento dannoso, nel nostro caso un incendio.

Le immagini multispettrali del satellite Landsat 8 sono state quindi processate per il calcolo del NDVI, utilizzando nel nostro caso le bande 4 e 5 del satellite Landsat 8. Sono stati scelti due voli, uno antecedente l'incendio uno posteriore. La scelta è ricaduta sui voli del 05/05/2017 e 24/07/2017. I voli sono stati scelti anche in base all'assenza di nuvolosità. La differenza del valore di NDVI è in grado di restituirci una valutazione sia quantitativa della superficie danneggiata, sia qualitativa, in base alle superficie delle chiome rimaste fotosinteticamente attive. Superfici maggiormente danneggiate avranno infatti un calo più drastico del valore di NDVI. Al variare delle condizioni della chioma e della presenza di clorofilla varierà il rapporto tra la riflessioni del rosso e dell'infrarosso, restituendoci quindi una variazione del valore di NDVI. Questo indice è stato scelto per monitorare lo stato delle foreste vesuviane per via del suo valore di sintesi delle condizioni del bosco. Delimitare la superficie bruciata (che vedremo più avanti) infatti non è sufficiente, l'NDVI ci restituisce un riassunto del danno ecologico e fisiologico subito dalle foreste, restituendoci quindi un'immagine del vero danno ambientale causato dall'incendio.

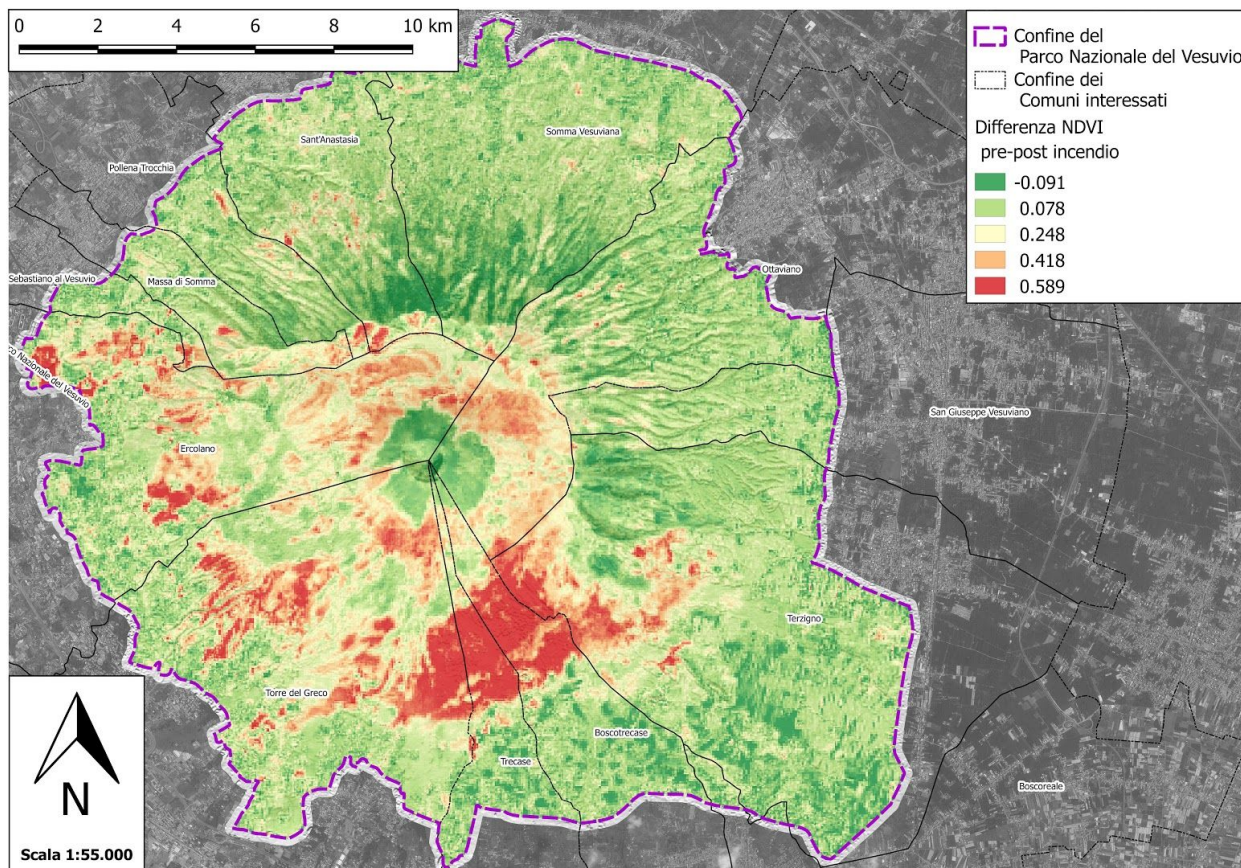


fig.11 - Differenza di NDVI tra il 5 maggio ed il 24 luglio

Tramite una semplice differenza algebrica dei due voli otteniamo la variazione di NDVI ($\Delta NDVI$) prima e dopo l'incendio. È possibile notare come buona parte delle foreste vesuviane abbia perso almeno 0.2 punti di NDVI, risultando quindi gravemente danneggiata. L'intera stazione Vesuviana ha subito un calo dell'NDVI medio di tutta la superficie forestale di 0.28 punti. Sul versante meridionale nei comuni di Torre del Greco, Trecase e Boscotrecase, si registrano ampie superfici con una perdita di circa 0.6 punti, valori estremamente elevati che confermano una totale distruzione delle chiome arboree. La differenza di NDVI ha valori significativi anche in tutta l'area arbustiva della parte alta del vesuvio, circondante il cratere. Valori leggermente negativi visibili sporadicamente caratterizzano quelle aree che hanno visto un aumento, seppur leggerissimo, del valore di NDVI nella finestra temporale considerata. Questo rinverdimento delle chiome non danneggiate è del tutto naturale dato l'inoltrarsi della stagione vegetativa; ciò è avvenuto soprattutto sul versante Nord, quello del monte Somma dove l'incendio è stato di gran lunga meno impattante. Il Somma infatti ha visto infatti una diminuzione media dell'NDVI molto minore (una diminuzione di 0.09). Il monte Somma infatti, considerata la sua esposizione settentrionale presenta generalmente una condizione di maggiore umidità. La vegetazione inoltre è completamente differente per i due versanti: l'umidità e la lontananza dalle distruttive colate laviche hanno consentito uno evoluzione della vegetazione verso stadi più maturi. caratterizzati da specie come pioppo, ontano, acero, castagno. A differenza delle pinete dei versanti meridionali, gli habitat formati da queste specie (boschi di latifoglie decidue) presentano una minore incendiabilità e una resistenza al propagarsi del fuoco.

Per i suoli agrari o nudi (privi quindi di vegetazione) invece il risultato è da considerarsi un dato non significativo poiché dovuto a diverse cause come cambio di coltura del suolo agricolo, lavorazioni stagionali o differenti condizioni di umidità del suolo.

3.2 - Normalized Burn Ratio

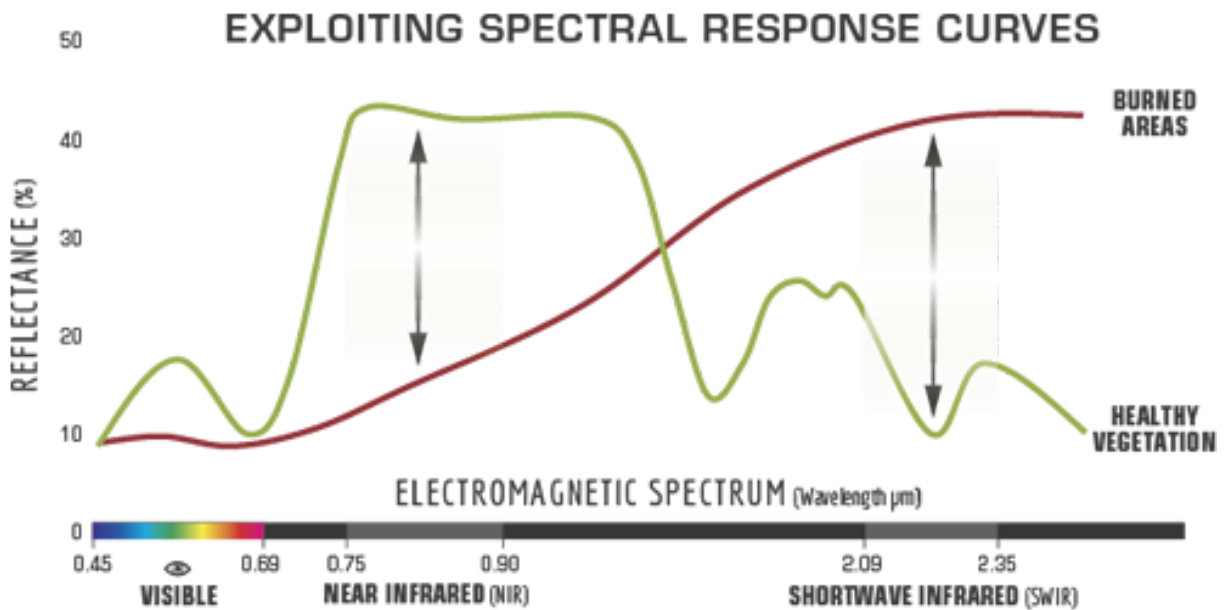


fig.12 firma spettrale dei vegetali (verde) e delle aree incendiate (rosso)

L'NDVI è però incompleto per definire il danno e le superfici causate da un incendio in ambiente mediterraneo (Pereira 1999). Il NBR (Normalized Burn Ratio) è uno degli indici più utilizzati per mappare la severità di aree incendiate in diversi ambienti, incluso il macroclima mediterraneo (Boer 2008). L'NBR nacque inizialmente come strumento per delimitare le aree incendiate, fin quando diversi studi (Key and Benson 2006) non utilizzarono il ΔNBR come indice per la severità dell'incendio. Ad oggi è largamente applicato insieme a dati di origine satellitare e per la sua affidabilità è utilizzato all'interno di FireMon, un sistema per il monitoraggio degli incendi utilizzato negli USA. Come l'NDVI anche questo indice si basa su alcune caratteristiche della firma spettrale dei vegetali. Come già detto una vegetazione in normale stato di salute e produttività mostrerà un picco di riflettanza nel campo del cosiddetto vicino infrarosso (NIR), valore invece debole all'interno dell'infrarosso ad onde corte (SWIR, Short-Wave InfraRed) (fig. 12).

A seguito di un incendio e quindi di una perdita del materiale fotosintetizzante, la riflettanza nel NIR sarà calata drasticamente. Nelle aree incendiate inoltre potremo notare un netto aumento di riflettanza nello SWIR. Il rapporto tra i valori di riflettanza nel NIR e nello SWIR ci può quindi aiutare nel delimitare le aree che hanno subito un cambiamento di copertura del suolo a causa di un incendio. In maniera molto simile a come già visto per l'NDVI l'indice si basa sul rapporto tra la differenza e la somma delle due bande considerate:

$$NBR = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir}}{\rho_{nir} + \rho_{swir}}$$

Per quanto riguarda le bande da utilizzare nel presente lavoro sono state utilizzate le bande 7 e 5. Il Landsat 8 possiede ben due bande nello SWIR (6 e 7) con lunghezze d'onda differenti. Le lunghezze d'onda utilizzate per lo sviluppo nell'NBR sono quelle tra i 2080 e 2350 nanometri, corrispondenti per il Landsat 8 alla banda 7 (fig.6).

Il Δ NBR non è altro che la variazione del valore di NBR di una determinata superficie, prima e dopo l'incendio. Dopo aver calcolato il Δ NBR è necessaria una catalogazione dei suoi valori per poterne interpretare i risultati. Una delle classificazioni più utilizzate per l'analisi del Δ NBR è quella usata dalla USDA (United States Department of Agriculture), i cui valori soglia sono di seguito riportati:

Δ NBR	Intensità del danno
0.27 <	Danni lievi o nulli
tra 0.27 e 0.44	Danni moderatamente bassi
tra 0.44 e 0.66	Danni moderatamente alti
> 0.66	Danni severamente elevati

La classificazione originale prevede ulteriori differenziazioni. Alcune di esse utilizzabili in altri contesti come la delimitazione di aree incendiate ricolonizzate dalla vegetazione (valori negativi di Δ NBR). La classe "danni lievi o nulli" prevede inoltre un'ulteriore divisione in "danni lievi" e "non danneggiato". Per capire il perché dell'accorpamento effettuato all'interno di questo studio bisogna innanzitutto considerare le differenze climatiche e vegetazionali tra l'ambiente mediterraneo e quello nord-americano. Questa classificazione dei valori Δ NBR è infatti calibrata per funzionare principalmente nel macroclima temperato delle foreste nordamericane. Le foreste mediterranee hanno valori diversi di riflettanza, dovuti in parte alla struttura stessa della macchia mediterranea ed in parte alle strutture fogliari completamente diverse tra le latifoglie decidue americane e la macchia sempreverde mediterranea. Questo influenza ovviamente tutti gli indici vegetazionali: l'NDVI di un ginestreto (comune sul Vesuvio) può risultare inferiore anche di diversi decimi di punto rispetto ad una foresta temperata (Telesca 2005). In ambiente mediterraneo quindi la classe più bassa, quella dei danni di lieve entità risulterebbe essere per buona parte formata da falsi positivi ed ogni metodo di selezione potrebbe risultare privo di oggettività e standardizzazione, vista l'assenza di studi precedenti. Inoltre la scelta è anche di natura pratica: il presente lavoro vuole individuare le aree interessanti per futuri studi o interventi gestionali. Le aree debolmente danneggiate potrebbero ritornare alle condizioni precedenti l'incendio in poco tempo grazie alla loro resilienza. Riteniamo quindi ben più interessante limitare le aree sicuramente danneggiate, eseguendo una lieve approssimazione per difetto piuttosto che per eccesso.

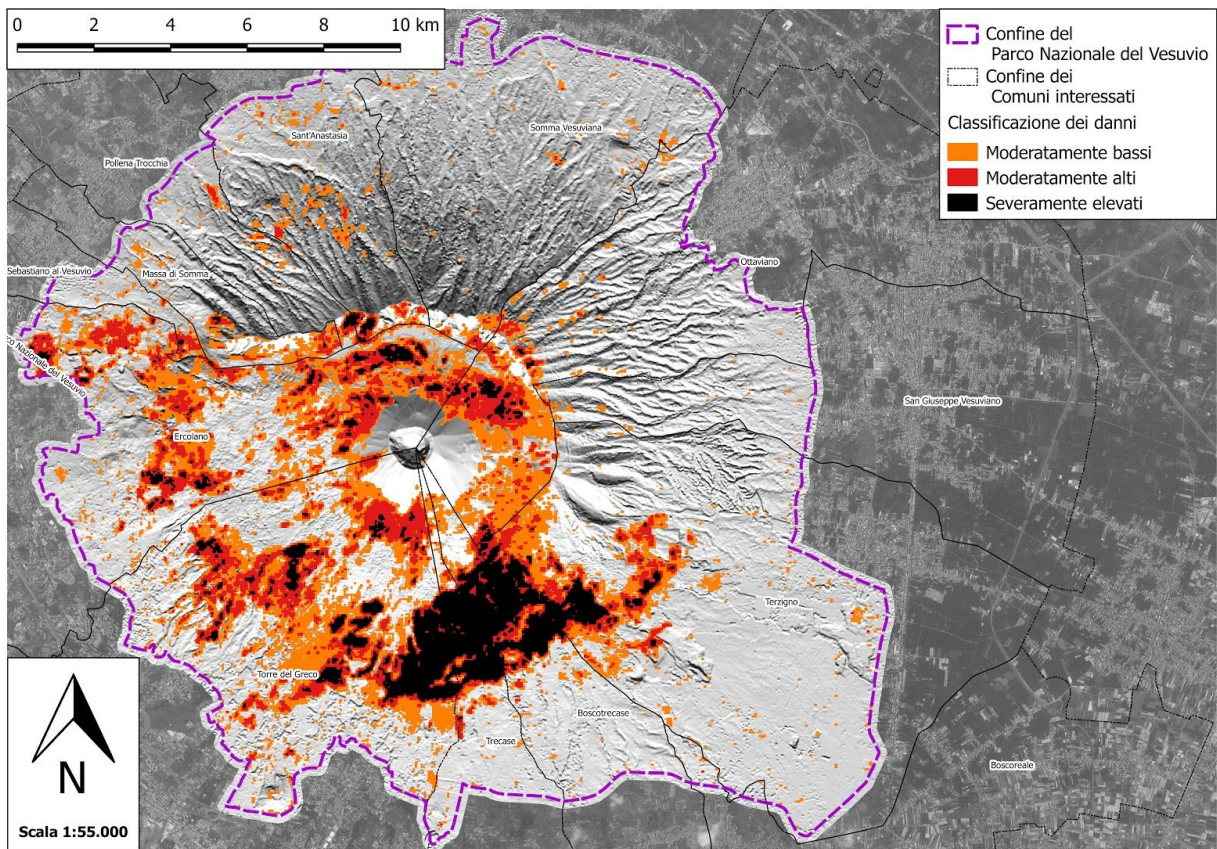


fig.13 - Entità dei danni all'interno del parco nazionale del vesuvio calcolati tramite il Δ NBR

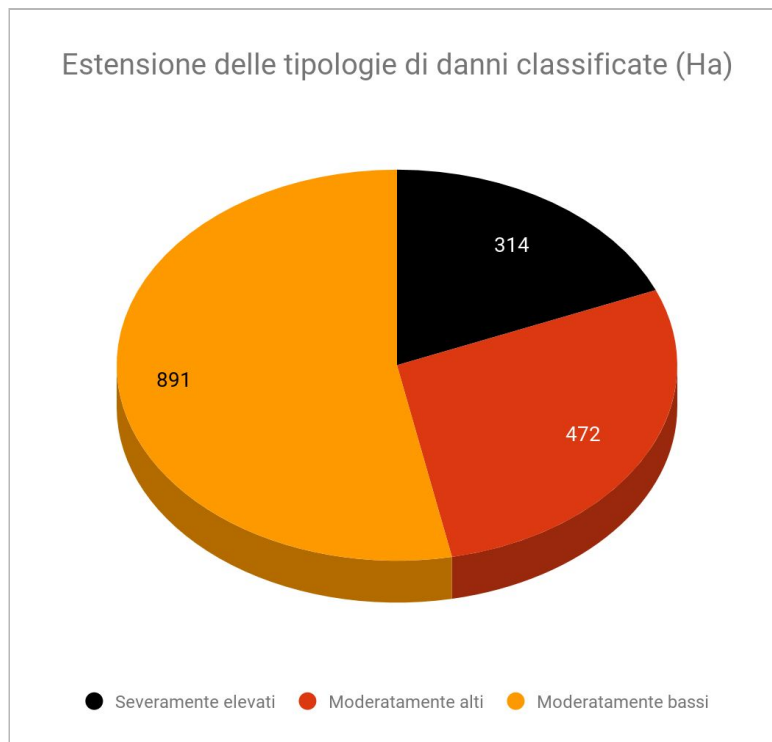


fig.14 - Distribuzione delle tipologie di danno estratte dal NBR

3.3 - Classificazione dei suolo interessati dall'incendio

Con l'ausilio della Corine Land Cover⁴ aggiornata al 2012 e tecniche di geoprocessing, è stata effettuata una comparazione con la perimetrazione delle aree incendiate al fine di stimare l'estensione del danno e le specie vegetali interessate dallo stesso.

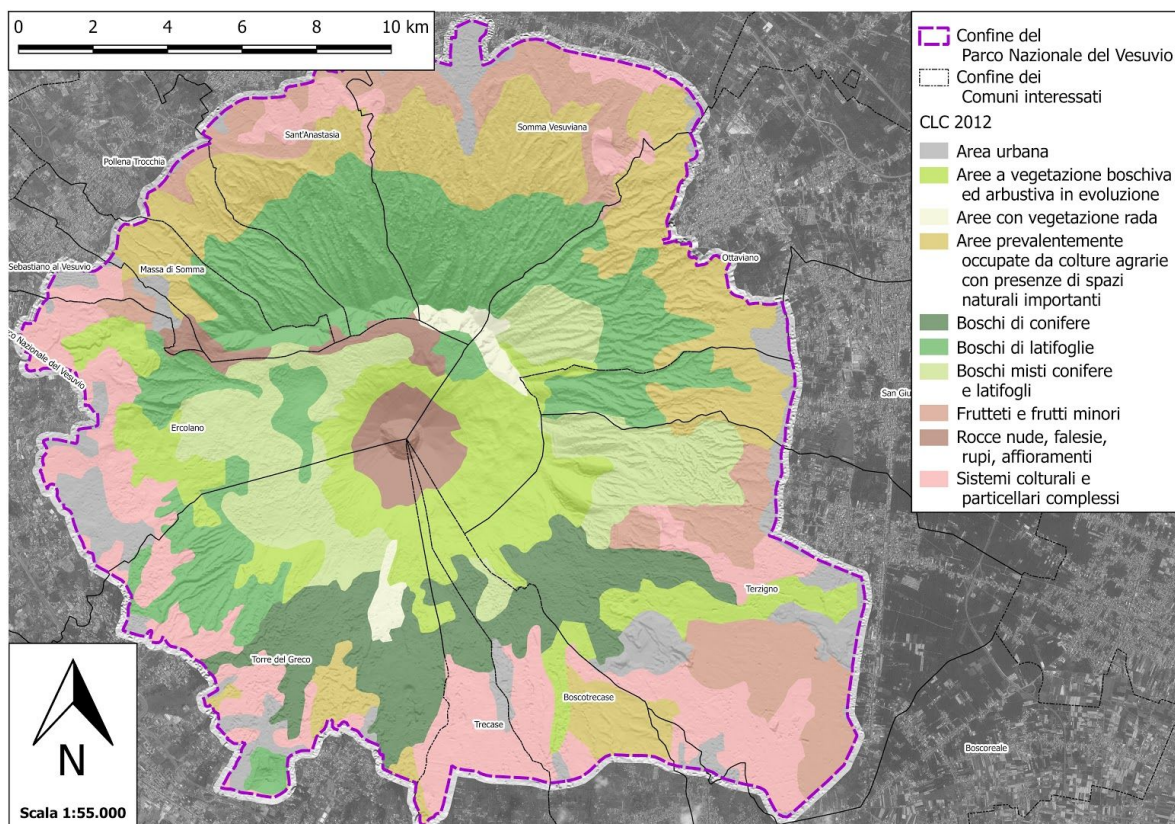


fig.15 - Estratto di Corine Land Cover 2012

Dalla comparazione sono state escluse le aree urbane riportate nella CLC.

⁴ Il progetto Corine Land Cover (CLC) è nato a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela ambientale. Fonte: <http://www.isprambiente.gov.it>

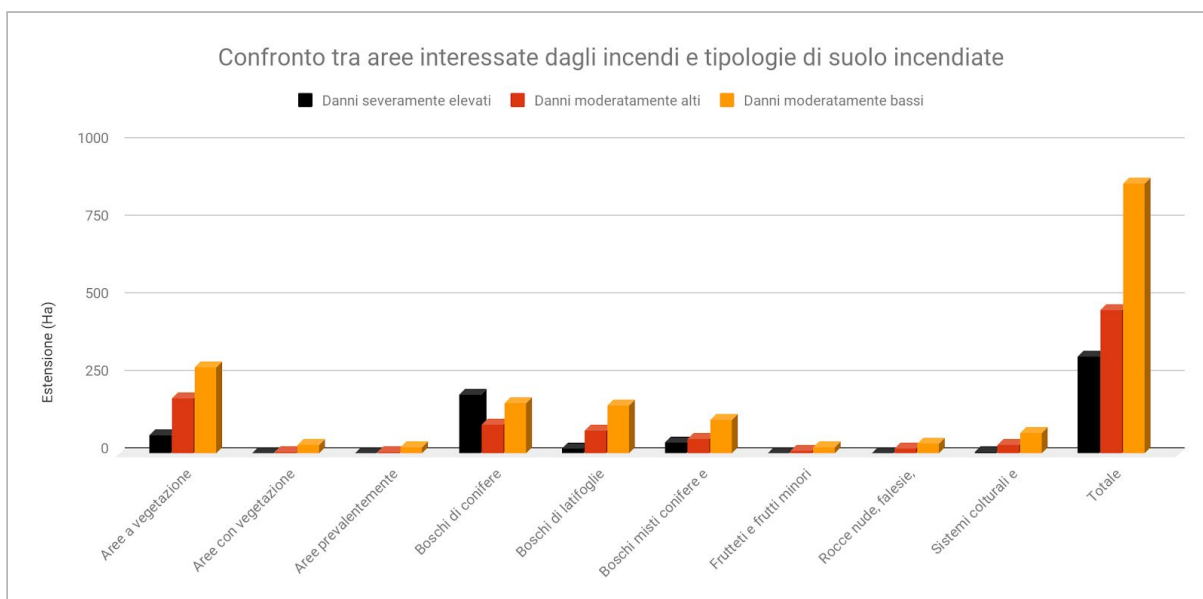


fig.16 - Confronto tra aree interessate dagli incendi e tipologie di suolo incendiate
 Dall'analisi si è evidenziato che le tipologie di suolo ad aver subito il danno maggiore sono le aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione, seguite poi dai boschi di conifere. La presenza di danni anche in aree a rocce nude, falesie, rupi, affioramenti è dovuta alla distruzione di quel minimo di vegetazione, per lo più arbustiva, che interessava le zone. Queste aree sono per lo più localizzate sul cono del Vesuvio e sulle recenti colate laviche. Nel grafico che segue è stata comparata l'estensione delle tipologie di suolo pre incendio e post incendio.

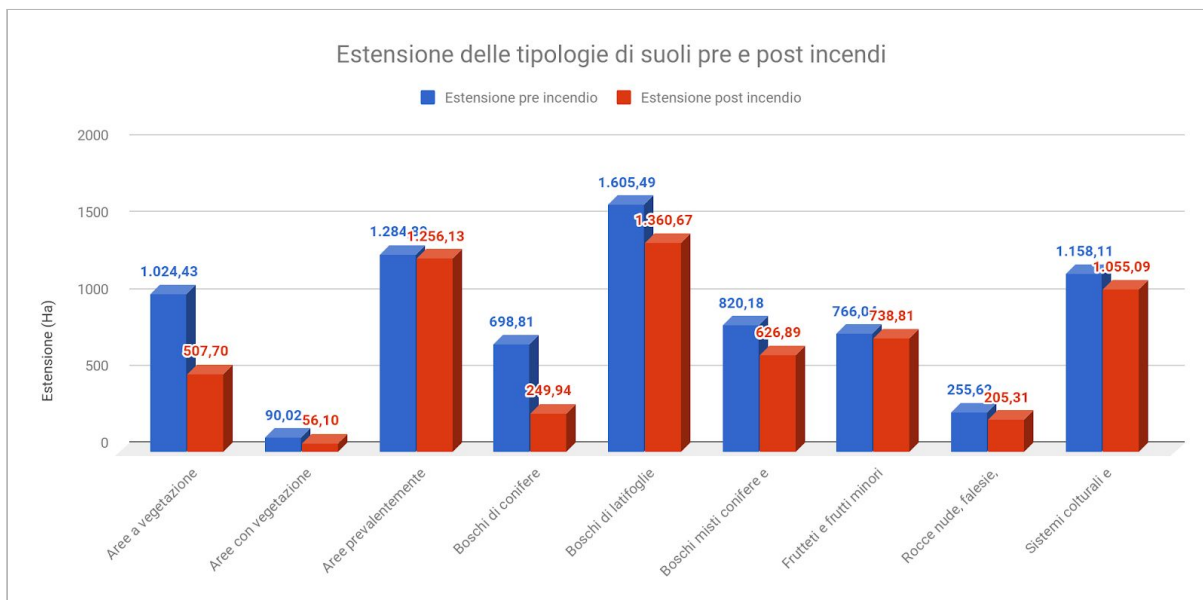


fig.17 - Estensione delle tipologie di suoli pre e post incendi
 Nella tabella che segue è riportata la stima delle estensioni, in ettari, delle tipologie di danno in funzione del tipo di suolo.

Tipo di suolo	Danni severamente elevati	Danni moderatamente alti	Danni moderatamente bassi

Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	57,97	180,14	278,62
Aree con vegetazione rada	0,14	6,68	27,10
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenze di spazi naturali importanti	1,45	5,92	21,29
Boschi di conifere	191,24	95,29	162,35
Boschi di latifoglie	15,40	75,16	154,26
Boschi misti conifere e latifoglie	37,37	47,29	108,63
Frutteti e frutti minori	0,33	7,27	19,63
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	1,05	16,95	32,31
Sistemi colturali e particellari complessi	7,13	29,63	66,26
Totale	312,08	464,33	870,45

Nella tabella che segue è invece riportata la variazione dell'estensione delle tipologie di suolo pre e post incendio, oltre che il computo totale dei danni, in ettari.

Tipo di suolo	Estensione pre incendio	Estensione post incendio	Estensione danni
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1.024,43	507,70	516,73
Aree con vegetazione rada	90,02	56,10	33,91
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenze di spazi naturali importanti	1.284,80	1.256,13	28,67
Boschi di conifere	698,81	249,94	448,88
Boschi di latifoglie	1.605,49	1.360,67	244,82
Boschi misti conifere e latifoglie	820,18	626,89	193,29
Frutteti e frutti minori	766,04	738,81	27,23
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	255,62	205,31	50,31
Sistemi colturali e particellari complessi	1.158,11	1.055,09	103,02
Totale	7.703,51	6.056,65	1.646,86

Sommando le estensioni pre e post incendio delle aree boschive, e cioè:

- Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
- Boschi di conifere
- Boschi di latifoglie
- Boschi misti conifere e latifoglie

risulta che prima degli eventi di luglio, la macroarea bosco, aveva una estensione di 4.148,92 Ha, ridotta a 2.745,21 Ha a seguito dell'incendio. Si sono persi quindi 1.403,72 Ha di boschi.

3.4 - Temperatura

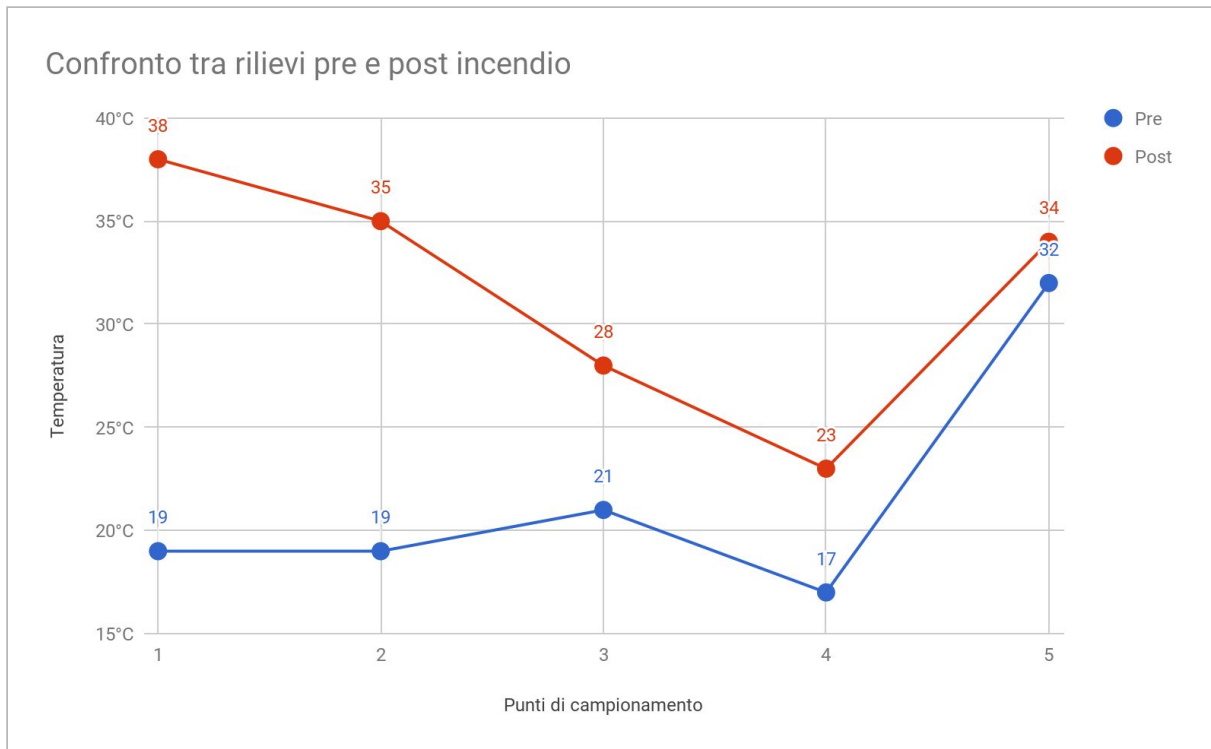


fig.18 - Confronto tra rilievi pre e post incendio

I rilievi 1 e 2 fanno riferimento ad un'area boschiva totalmente danneggiata, il 3 fa riferimento ad un'area boschiva debolmente danneggiata, mentre il 4 è in un'area boschiva non interessata dagli incendi ed il 5 è in area urbana. Come si nota dal grafico la aree boschive pre incendio avevano una temperatura abbastanza normalizzata, con 4°C di scarto; mentre la differenza di temperatura era molto più accentuata tra area boschiva ed urbana. Dopo l'incendio nelle aree boschive danneggiate si è avuto un netto aumento della temperatura che risulta essere anche più elevata di quella del punto censito in area urbana.

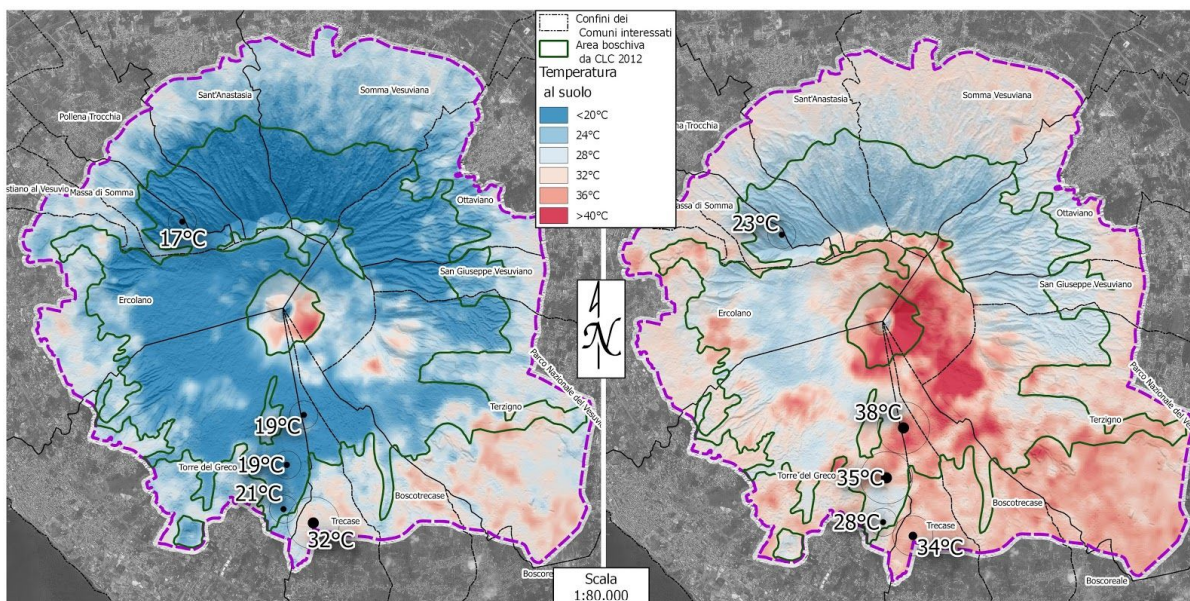


fig.19 - Rilievi Landsat 8 della temperatura al suolo; pre incendio (a sinistra), post incendio (a destra)

Il confronto dei dati termici risulta essere una forzatura poiché andrebbe fatto un confronto simile mantenendo costanti le variabili al contorno con l'unica eccezione del dato relativo al suolo. Nonostante ciò abbiamo voluto effettuare lo stesso il confronto poiché si è voluto evidenziare l'effetto di mitigazione micro e mesoclimatica di un'area boschiva.

4 - Conclusioni

L'obiettivo del presente studio è stato quello di comparare lo stato delle foreste vesuviane prima e dopo l'impatto del terribile incendio verificatosi nel luglio 2017. La caratterizzazione ha previsto l'utilizzo di più indici satellitari applicati allo studio della vegetazione.

L'NDVI, un indice basilare nello studio dell'ecologia forestale, che ci ha consentito di capire quanto sia stata alterata la funzione ecologica del bosco. L'NDVI è infatti legato all'attività fisiologica degli esemplari arborei ed un suo drastico calo vuol dire calo nella produttività legnosa, calo nella capacità di stoccare anidride carbonica, calo nella capacità di regimazione delle acque e di termoregolazione.

Tale capacità del bosco è stata inoltre confermata dalla misura dell'aumento di Temperatura nelle aree private dalla vegetazione, rispetto a quelle che avevano subito lievi danni e in cui la vegetazione non era scomparsa.

L'utilizzo dell'NBR, un indice che ci ha consentito di delimitare le aree incendiate e catalogarle per entità del danno. Ciò ci ha consentito di poter superare temporalmente il report di Copernicus, che perimetrava le aree fino al 16 luglio, quando l'incendio era ancora in corso, il 24 luglio, ad incendio terminato, erano 1.878 gli ettari di bosco andati persi.

L'incrocio con i dati di copertura del suolo del progetto Corine Land Cover ci ha consentito di poter analizzare quali tipologie vegetazionali fossero risultate maggiormente danneggiate dal fuoco: i boschi di conifere e le aree arbustive (di macchia o in evoluzione). In ciò è riscontrabile una colpa antropica da ricercare a monte. Nei decenni passati infatti l'abbandono selvicolturale del patrimonio boschivo ha gettato le basi per questo *annus horribilis* a cui abbiamo assistito. Pinete di origine antropica come quelle vesuviane infatti richiederebbero un periodico diradamento nel numero di esemplari, che per motivi economici

non viene più effettuato. Si assiste così ad un accumulo di necromassa, un potenziale combustibile, soprattutto nel caso di una conifera resinosa come il Pino. I rami secchi e gli alberi caduti inoltre costituiscono una via di collegamento tra il suolo e lo strato delle chiome, trasformando gli incendi di superficie in più dannosi incendi di chioma.

Non a caso infatti la gran parte dell'incendio ha riguardato i boschi di conifere. Il 75% di essi è andato distrutto. Le pinete inoltre vivevano in un pessimo stato fitosanitario. Erano rese più vulnerabili da un fortissimo attacco di Cocciniglia tartaruga (*Toumeyella parvicornis*), insetto alloctono ed invasivo che dal 2015 è sbarcato in Campania. Nello stesso anno era stata riportata la diffusa presenza di un fungo patogeno, *Diplodia africana* (Cristinzio, 2015). Tutto ciò ha reso ancor più precaria la condizione degli esemplari di *Pinus pinea* locali. Seguendo la classificazione di Corinne Land Cover, un'altra categoria fortemente colpita è quella della "vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione" ed anche in questo possiamo scorgere gli effetti della passata azione dell'uomo. In questa categoria infatti rientrano le estesissime distese di Ginestra Etnea (*Genista aetnensis*) un arbusto che non appartiene alla flora vesuviana, ma fu piantato dall'uomo per stabilizzare i versanti e prevedibilmente, come molte specie aliene, ha preso il sopravvento, trasformando molte aree che una volta erano suolo nudo in una fitta vegetazione arbustiva, secca e sensibile al fuoco.

Un'altra causa scatenante è stata certamente la natura del territorio: la velocità di propagazione di incendi di chioma è correlata alla pendenza del territorio, che nel caso delle pendici vesuviane è elevata. La velocità ha consentito all'incendio di espandersi lungo un fronte tanto ampio quanto difficile da contrastare, facendo danni anche nei giorni successivi all'inizio degli interventi. Preponderante è stata la limitata disponibilità di mezzi da parte delle autorità: gli incendi, sia per la loro natura di incendi di chioma, sia per la loro localizzazione, erano spesso contrastabili solo tramite mezzi aerei, di cui purtroppo disponiamo in maniera limitatissima, anche perché impegnati negli stessi giorni già in altri incendi.

In conclusione lo studio vuole essere uno strumento di supporto per ulteriori approfondimenti e lavori riguardanti il Vesuvio ed uno strumento logistico fondamentale per la progettazione di interventi di recupero, aiutandone la localizzazione puntuale grazie alle analisi effettuate.

Bibliografia

- Boer M. (2008) Mapping burned areas and burn severity patterns in SW Australian eucalypt forest using remotely-sensed changes in leaf area index.
- Bolstad P.V., Gower S.T. (1990). Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stands using a portable radiometer. *Tree Physiology*
- Carlson T. N., D. A. Ripley "On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index" (1997).
- Congedo Luca, "Semi-Automatic Classification Plugin User Manual" (2016);
- Cristinzio G., Bosso L. (2015) Serious damage by *Diplodia africana* on *Pinus pinea* in the Vesuvius national park (Campania region, southern Italy)
- Niccolò Dainelli "L'osservazione della Terra - Telerilevamento" (2011);
- Pat S.Chaver, junior - "Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved" (1996);
- Pereira, J., 1999, A comparative evaluation of NOAA-AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, pp. 217–226.
- Quan Wang, Samuel Adiku, John Tenhunen, André Granier (2005) On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site
- Telesca L., R. Lasaponara, "Quantifying intra-annual persistent behaviour in Spot-Vegetation NDVI data for Mediterranean ecosystems of southern Italy (2006);
- Veraverbeke Sander , Stefaan Lhermitte , Willem W. Verstraeten & R. Goossens (2011) Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat ThematicMapper
- Weier J., Herring D. (2000) *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*