

Analisi spaziale dell'incendio del Morrone nel Parco Nazionale della Majella mediante l'utilizzo di immagini satellitari

Ludovico Frate⁽¹⁻²⁾,
Mauro Fabrizio⁽¹⁻²⁾,
Giampiero Ciaschetti⁽³⁾,
Mariano Spera⁽³⁾

Spatial analysis of the Morrone wildfires (Majella National park, Central Italy) by remote sensing images

In the last decades, wildfires have considerably changed in their frequency, extension, intensity and this is mainly due to climate change and human activities. The year 2017 was particularly significant for the amount of hectares burned in Southern Europe and especially in Italy. Remote sensing has been used to map and monitor wildfires around the world. In the last years, the advent of monitoring programs such as Copernicus (handled by the European Commission in partnership with the European Space Agency) offers a unique opportunity to monitor several land features, including wildfires. The aim of this paper is to map the 2017 fire occurred on the Morrone Mountain, in the Majella National Park. We used pre and post Sentinel 2-A data to map burned areas and to define severity classes. We also quantified burned areas in terms of land cover categories and Natura 2000 habitat types. The analysis showed that the burned area is 2184 ha, of which 84% (1837 ha) is within the Majella National Park limits (4% of the entire Park area). Most of the burned area is occupied by shrubs and grasslands, most of which are Natura 2000 habitats. Other burned areas are coniferous plantations and beech forests. The Sentinel 2-A imagery offers consistent, reproducible and unbiased recordings of fire features, an useful tool in remote and mountainous areas such as the Majella National Park.

Keywords: Wildfires, Sentinel 2-A, Natura 2000, Remote Sensing

Introduzione

I disturbi di origine naturale quali incendi, fitopatogeni e tempeste di vento, sono parte integrante delle dinamiche di evoluzione degli ecosistemi terrestri, ed in particolar modo degli ecosistemi forestali (Seidl et al. 2017). Tali disturbi avvengono come eventi relativamente discreti e sono caratterizzati da frequenze, dimensioni e intensità tipici (Turner 2010).

I regimi di disturbo sono profondamente cambiati negli ultimi decenni e le cause principali sono da ricondurre al cambiamento climatico e alle attività umane. Per esempio, sia la frequenza che l'intensità degli incendi è notevolmente aumentata negli ultimi anni a causa di temperature medie sempre più elevate e periodi di siccità sempre

più prolungati che influenzano negativamente la rigenerazione post-incendio (Stevens-Rumann et al. 2018).

Nel bacino del Mediterraneo il fuoco è da sempre stato un elemento di disturbo naturale degli ecosistemi, e molte piante e animali si sono adattate ad esso nel corso dei millenni. Tuttavia, molti studi hanno dimostrato che gli incendi possono causare dei veri e propri disastri, determinando dei cambiamenti netti nelle comunità naturali interessate da questi fenomeni (Rodrigo et al. 2004, De Luís et al. 2006, Arnan et al. 2007) oppure causando perdita di suoli (Marquès & Mora 1992).

Anche se alcune comunità naturali sono ben adattate al fuoco, quali la macchia mediterranea e le foreste caducifoglie a prevalenza di specie quercine, altre comunità sono altamente sensibili, quali i boschi di pino montani che mostrano scarsissima capacità di rigenerazione dopo gli incendi (Pausas et al. 2008)

Il bacino del Mediterraneo rappresenta una delle aree biogeografiche più sensibili ai cambiamenti climatici e quindi anche all'aumento del rischio di incendio. Ne è senza dubbio testimonianza il 2017 che sarà certamente ricordato come un anno catastrofico in termini di superficie percorsa dal fuoco in diversi paesi del Mediterraneo (Batipaglia et al. 2017). Solo in Italia il 2017 ha visto bruciare circa 140 392 ettari di territorio (dati dell'European Forest Fire Information System). Molti degli incendi in Italia sono causati dalla mano dell'uomo, non tanto per motivi dolosi ma per la noncuranza, negligenza, imprudenza o imperizia dei cittadini (Bovio et al. 2017). Tra gli eventi più eclatanti è da annoverare l'incendio del Monte Morrone nel Parco Nazionale della Majella che ha provocato seri danni alla biodiversità dell'area protetta.

L'utilizzo delle immagini satellitari per il monitoraggio

□ (1) EnvixLab, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, c.da Fonte Lappone, 86090 Pesche, IS (Italy); (2) Studio Associato Ecoview, v. Montauti 3, 64100 Teramo (Italy); (3) Parco Nazionale della Majella, v. Badia 28, 67039 Sulmona, AQ (Italy)

@ Ludovico Frate (frateludovico@gmail.com)

Ricevuto: Mar 01, 2018 - Accettato: May 01, 2018

Citazione: Frate L, Fabrizio M, Ciaschetti G, Spera M (2018). Analisi spaziale dell'incendio del Morrone nel Parco Nazionale della Majella mediante l'utilizzo di immagini satellitari. *Forest@* 15: 59-64. - doi: [10.3832/efor2775-015](https://doi.org/10.3832/efor2775-015) [online 2018-05-08]

Editor: Marco Borghetti

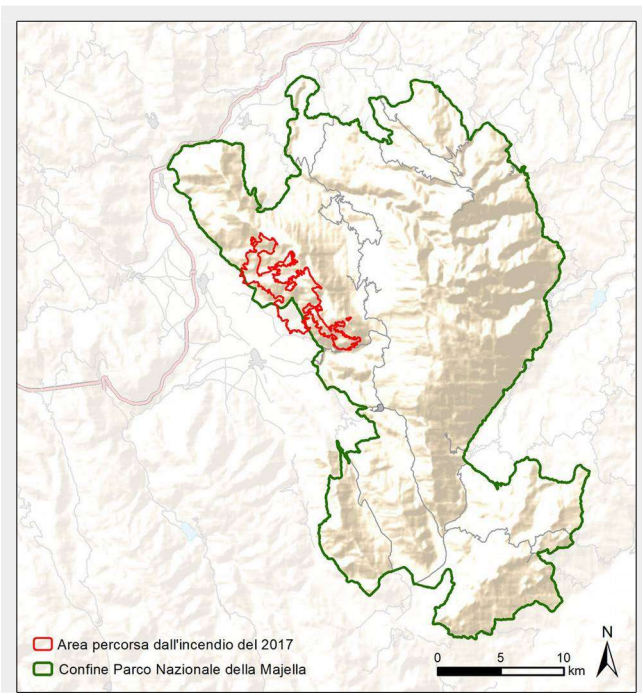


Fig. 1 - Area di studio.

delle risorse terrestri si è notevolmente diffuso negli ultimi 20 anni. Tra questi rientra il monitoraggio degli incendi che va dalla mappatura dei tipi e della quantità di combustibile, alla perimetrazione e all'analisi delle dinamiche di successione post-incendio (Frattaroli et al. 2006, Van Gils et al. 2010). Al giorno d'oggi, la disponibilità di immagini satellitari ad alta risoluzione, permette di mappare e monitorare gli incendi con un dettaglio molto maggiore rispetto al passato. In questo contesto, la costellazione di satelliti Sentinel lanciati dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), offre una serie di informazioni utili al monitoraggio delle risorse terrestri, inclusi gli incendi (Malenovsky et al. 2012).

Obiettivo del presente lavoro è quello di individuare le aree percorse da incendio nel Parco Nazionale della Majella nell'estate del 2017 attraverso l'utilizzo di immagini satellitare ad alta risoluzione e di analizzare quali tipologie di vegetazione e habitat sono state maggiormente danneggiate attraverso l'impiego di analisi spaziali. Tali informazioni sono utili sia per fornire indicazioni gestionali per la prevenzione degli incendi nel territorio del parco, sia per programmare attività di monitoraggio ed eventuali interventi di ripristino o di messa in sicurezza.

Materiali e metodi

Area di studio

L'area attraversata dal fuoco si colloca, per la massima parte, sul versante occidentale del Monte Morrone, nei comuni di Caramanico Terme, Pacentro, Pratola Peligna, Roccasasale, Sant'Eufemia a Majella, Salle e Sulmona. Tale area ricade all'interno del Parco Nazionale della Majella, che coincide anche con la ZPS Parco Nazionale della Majella e del SIC Majella (Fig. 1).

Sotto il profilo dell'uso del suolo, tale territorio è caratterizzato principalmente da aree a pascolo naturale e prateria d'alta quota, aree a ricolonizzazione naturale, rimboschimenti a Pino nero, aree cespugliate e boschi misti.

Nel periodo 1997-2012 la superficie del parco percorsa dal fuoco è stata di 4171.12 ha con una media annua di 260.70 ha. Nello specifico, tre eventi eccezionali hanno interessato il territorio influenzando fortemente le statistiche: agosto 2000 che ha interessato una superficie di 1125 ha, 22 luglio e 30 agosto 2007 con una superficie di 1743 ha e 743 ha rispettivamente (Parco Nazionale della Majella 2015). Sempre nello stesso periodo, la superficie percorsa dal fuoco relativa ai comuni interessati è di 659.29 ha. Tuttavia, negli ultimi anni, nella zona attraversata dall'incendio dell'estate 2017, non sono stati registrati eventi di grande entità (Parco Nazionale della Majella 2015).

Acquisizione dei dati ed analisi

La mappatura delle aree incendiate è stata effettuata tramite l'analisi delle immagini satellitari Sentinel 2-A. Sentinel 2-A offre una serie di immagini ad alta risoluzione (da 10 a 60 metri) con 13 bande multispettrali e una risoluzione temporale di 5 giorni. Le immagini Sentinel vengono fornite gratuitamente (<https://scihub.copernicus.eu/dhus>) con un livello di pre-processamento denominato Level-1C il quale fornisce valori di riflettanza atmosferica.

Sono state acquisite due scene in date differenti, pre-incendio (Sentinel2-A T33TVG_A010844_20170720T100027) e post-incendio (Sentinel2-A T33TVG_A011659_20170915T095829), con una copertura nuvolosa inferiore al 10%. Le immagini scaricate sono state corrette atmosfericamente tramite l'algoritmo *Dark Object Subtraction* (DOS - Chavez 1996). Tutte le operazioni sono state svolte utilizzando il *Semi-Automatic-Classification plugin* per QGIS (Congedo 2016).

Con l'immagine post incendio si è proceduto alla fotointerpretazione manuale a video del perimetro dell'incendio impiegando un'elaborazione in falso colore SWIR/NIR/RED (bande 12/8A/4 - Fig. 2)

Successivamente, per entrambe le immagini, è stato calcolato il *Normalized Burned Ratio Index* (NBR - Key & Benson 2005). Con tale indice è possibile individuare non solo le aree interessate dal fuoco, ma anche il grado di severi-



Fig. 2 - Immagine in falso colore (Sentinel 2-A 12/8A/4) dell'area pre-incendio (sinistra) e post-incendio (destra). Le aree in rosa sono quelle attraversate dal fuoco.

tà. La vegetazione mostra alti valori di riflettanza nelle bande del vicino infrarosso (NIR) e bassi valori di riflettanza nella banda dell'infrarosso ad onda corta (SWIR), che è l'opposto di quello che accade nelle aree dove la vegetazione è stata percorsa dal fuoco. L'indice NBR può essere calcolato utilizzando la seguente equazione (eqn. 1):

$$NBR = \frac{NIR(B8) - SWIR(B12)}{NIR(B8) + SWIR(B12)} \quad (1)$$

L'indice NBR assume valori elevati in corrispondenza di vegetazione vigorosa e valori bassi nelle aree incendiate. La differenza tra i valori di NBR pre e post incendio fornisce la severità dell'incendio (Keeley 2009 – eqn. 2):

$$\Delta NBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (2)$$

Tali valori possono essere riclassificati utilizzando lo schema proposto da Key & Benson (2005 – Tab. 1).

Infine, i valori di ΔNBR sono stati incrociati con la carta d'uso del suolo del Parco Nazionale della Majella (Blasi et al. 1999) e la Carta degli Habitat Natura 2000 (Ciaschetti et al. 2015) tramite operazioni di *overlay* spaziale in ambiente GIS (*software* QGIS ver. 2.18) al fine di derivare informazioni sulle tipologie di vegetazione e uso del suolo più colpite dall'incendio.

Risultati

L'area totale interessata dall'incendio risulta essere pari a 2184 ha, di cui l'84% (1837 ha) ricade all'interno dei confini del Parco Nazionale della Majella (Fig. 3).

L'incendio si è esteso per il 98.55% tra i Comuni di Pacentro (28.86%), Pratola Peligna (19.36%) e Sulmona (50.33%), e per piccole porzioni nei comuni di Sant'Eufemia a Majella (1.01%), Caramanico Terme (0.31%), Salle (0.11%) e Roccasale (0.02%).

Sono stati incendiati complessivamente il 19.02% del territorio comunale di Sulmona, il 14.78% del territorio comunale di Pratola Peligna e l'8.74% del territorio comunale di Pacentro e circa il 4% del Parco Nazionale della Majella.

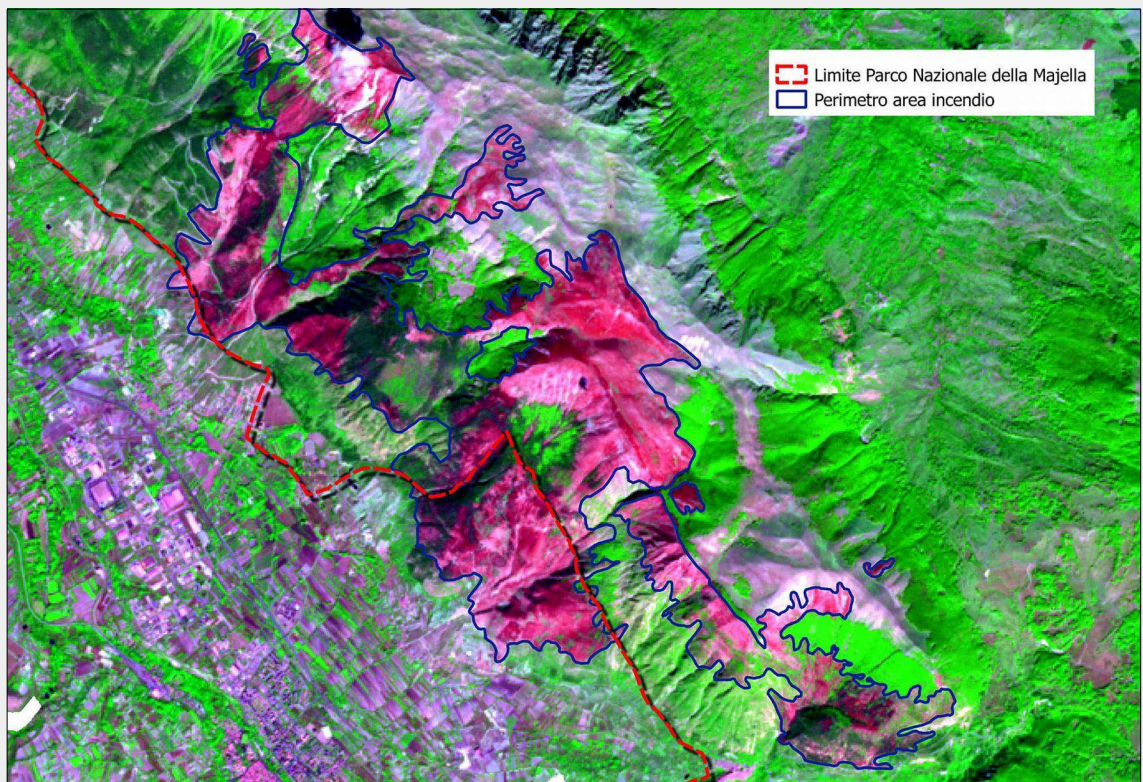
Tab. 1 - Schema di classificazione del grado di severità secondo Key & Benson (2005).

ΔNBR	Severità
<-0.25	Ricrescita delle vegetazione elevata post-incendio
-0.25 → -0.1	Ricrescita delle vegetazione bassa post-incendio
-0.1 → 0.1	Non incendiato
0.1 → 0.27	Bassa severità
0.27 → 0.44	Da bassa a moderata severità
0.44 → 0.66	Da moderata a elevata severità
> 0.66	Elevata severità

I valori di ΔNBR variano da un minimo di -0.28 ad un massimo di 1.04, con un valore medio di 0.40 (deviazione standard = 0.20). La maggior parte della superficie è classificata con un grado di severità da basso a moderato (33% – 722 ha), seguito dalla classe da moderato ad elevato (26% – 574 ha) e dalla classe bassa severità (23% – 510 ha); la classe di severità elevata occupa il 12% (267 ha) della superficie, la classe non incendiata il 5% (112 ha), mentre sono trascurabili le altre categorie (Fig. 4)

Le categorie di uso del suolo presentano diversi livelli di grado di severità dell'incendio. In termini assoluti, la categoria che presenta i livelli maggiori di severità (elevato e da moderato a elevato) è aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota (elevato = 92 ha; da moderato a elevato = 211 ha), seguita da brughiere e cespuglieti (elevato = 58 ha; da moderato a elevato = 95 ha), da aree a ricolonizzazione naturale (elevato = 40 ha; da moderato a elevato = 88 ha) e da i boschi di conifere (elevato = 33 ha; da moderato a elevato = 53 ha). In termini percentuali brughiere e cespuglieti hanno subito il maggior livello di disturbo (elevato = 18%; da moderato a elevato = 30%) seguite dalle aree a pascolo naturale e prateria d'alta quota (elevato = 16%; da moderato a elevato = 32%) e dai boschi misti di co-

Fig. 3 - Perimetrazione dell'area percorsa da incendio. Sullo sfondo l'immagine in falso colore Sentinel 2-A 12/8A/4) dell'area post-incendio.



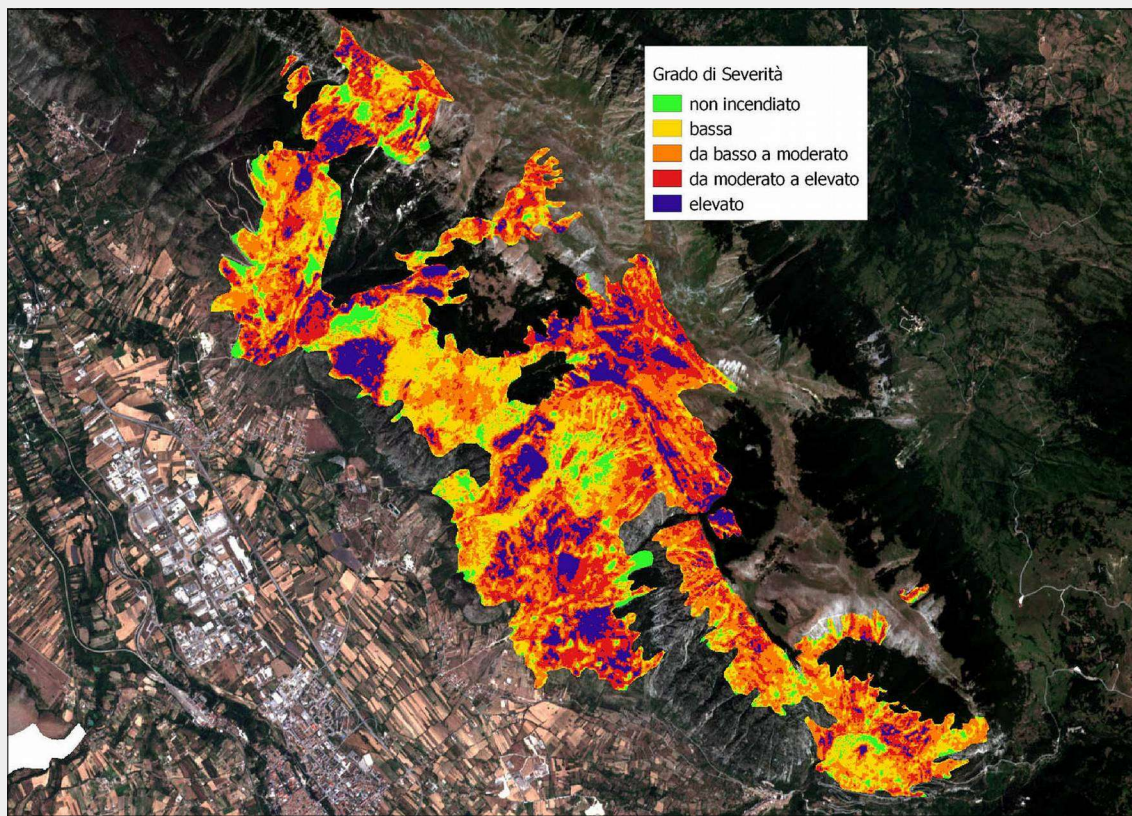


Fig. 4 - Grado di severità dell'incendio ΔNBR , classificato in 5 categorie: non incendiato, basso, da basso a moderato, da moderato a elevato, elevato. Sullo sfondo l'immagine in colore naturale (Sentinel 2-A 4/3/2) dell'area.

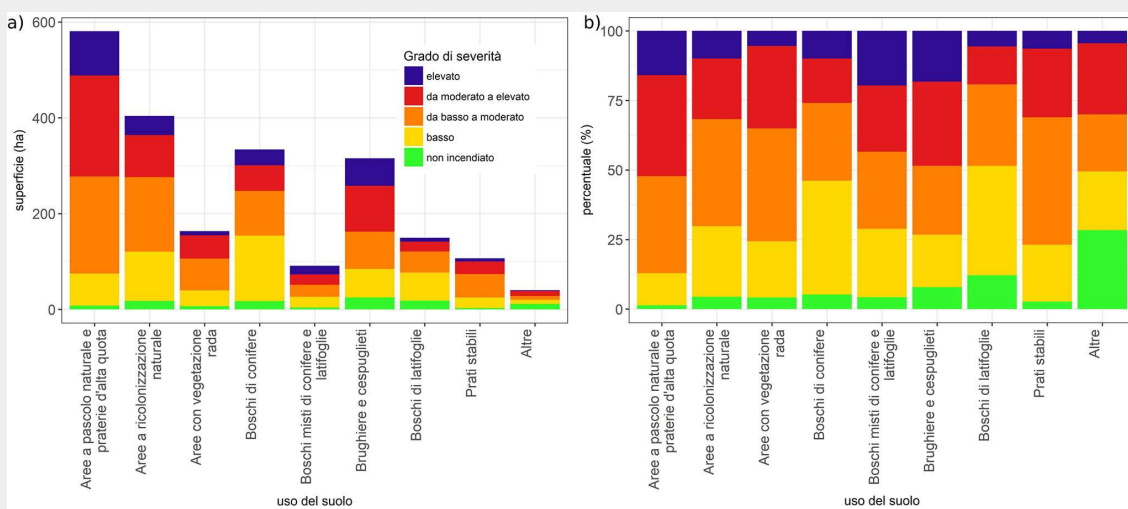


Fig. 5 - Istogramma del grado di severità dell'incendio ΔNBR per categoria di uso del suolo. I valori sono riportati sia in termini di superficie assoluta (a) che percentuale della categoria (b).

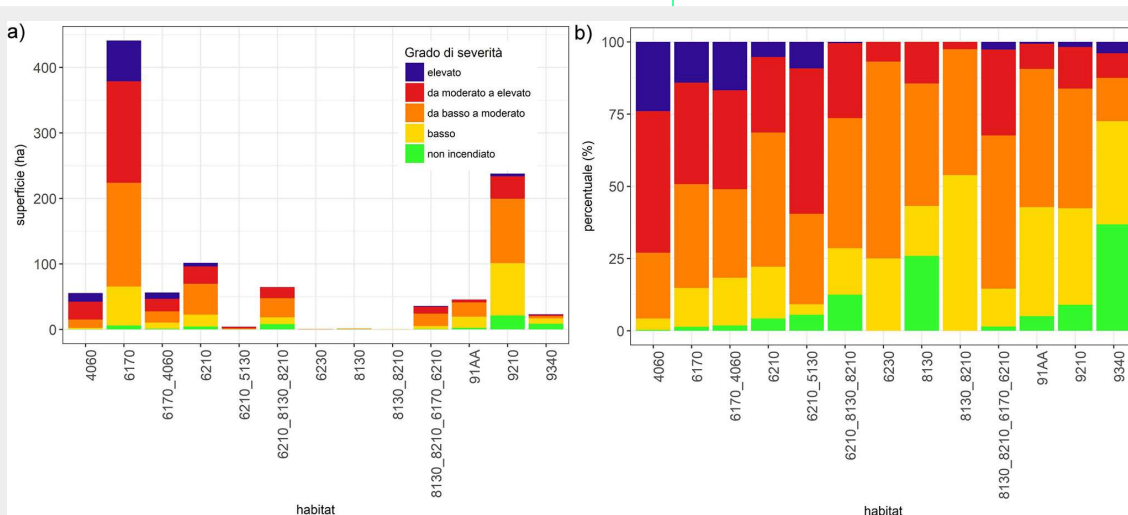


Fig. 6 - Istogramma del grado di severità dell'incendio ΔNBR per habitat Natura 2000. I valori sono riportati sia in termini di superficie assoluta (a) che percentuale della categoria (b).

nifere e latifoglie (elevato = 20%; da moderato a elevato = 24% - Fig. 5).

Analizzando gli habitat Natura 2000 emerge che le superfici maggiormente attraversate dal fuoco risultano classificate come habitat 6170 Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine (elevato = 62 ha; da moderato a elevato = 155 ha), seguite dall'habitat 9210* Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex* (che presenta gradi di severità più bassi) e dal 6210 Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*), che nell'area si rinviene anche in formazioni a mosaico con altri tipi di habitat prativi (6170), cespugliosi (4060) e su substrati rocciosi (8130-8210; rispettivamente ghiaiosi e pareti). In relazione alla loro estensione l'habitat 4060 Lande alpine e boreali presenta gradi di severità più importanti (elevato = 23%; da moderato a elevato = 49%), seguito dagli habitat prativi 6170 e 6210 che possono trovarsi in mosaico con l'habitat 4060 (Fig. 6).

Discussione

L'incendio del Monte Morrone nel Parco Nazionale della Majella è stato senza dubbio un evento molto importante, interessando circa 2100 ha di superficie di cui l'84% ricadente all'interno dei confini del Parco. Il più grande evento registrato nel parco è stato nel 2007 ed ha interessato circa 2500 ha (Van Gils et al. 2010).

Il grado di severità dell'incendio ha mostrato che alcune tipologie di uso del suolo hanno subito i danni maggiori. Nello specifico la categoria brughiere e cespuglieti ha mostrato i livelli di disturbo più elevati. Si tratta di formazioni arbustive a dominanza di *Juniperus communis* var. *saxatilis*, classificate anche come habitat di interesse comunitario (habitat 4060). Tali comunità sono molto suscettibili al passaggio del fuoco e *Juniperus communis* mostra scarse capacità di rigenerazione anche se è capace di resistere ad eventi di bassa intensità (Garcia et al. 1998).

Un'altra tipologia di uso del suolo particolarmente interessata dall'incendio è stata quella delle aree a pascolo naturale e delle praterie d'alta quota. Si tratta delle tipologie di uso del suolo più estese nell'area. Molte di queste praterie sono classificate anche come habitat Natura 2000 (6170, 6210). Tali habitat sono tra i più diffusi sulle montagne dell'Appennino centrale e sono particolarmente ricchi di specie di flora (Evangelista et al. 2016). Al tempo stesso queste cenosi possiedono una resilienza molto elevata e sono capaci di recuperare velocemente dopo eventi di disturbo (Frattaroli et al. 2006). Tuttavia eventi straordinari come l'incendio oggetto di studio, possono avere degli effetti molto importanti sulla struttura e la composizione specifica delle praterie. Alcuni studi hanno dimostrato un crollo della copertura della vegetazione appena dopo l'evento, seguito da un recupero che ha favorito l'abbondanza di graminacee (Venn et al. 2016).

I boschi di conifere che nell'area sono caratterizzati da rimboschimenti artificiali a *Pinus nigra*, hanno subito danni significativi. I rimboschimenti di conifere sono molto comuni in tutti gli Appennini: si tratta di impianti generalmente monospecifici, caratterizzati da elevata densità che ne determina una fragilità strutturale e problemi fitosanitari. Alle opere di rimboschimento non hanno quasi mai fatto seguito cure colturali adeguate (Mercurio et al. 2009). I mancati interventi determinano un'elevata quantità di biomassa che favorisce l'innesco e la propagazione degli incendi, soprattutto nelle resinose. Il Pino nero è noto per avere una scarsissima capacità di rigenerazione post-incendio, in quanto non è dotato di coni serotini e il seme è sensibile alle alte temperature (Escudero et al. 1999, Fyllas et al. 2008). Un precedente studio, condotto proprio nell'area del Parco Nazionale della Majella, ha dimostrato che il fuoco compromette la successione secondaria delle pinete verso il bosco misto (Pino nero, Faggio,

Orniello e Aceri) deviandola, almeno nei primi anni, verso formazioni ad Orniello ed arbusti (Van Gils et al. 2010).

Importanti superfici percorse dal fuoco hanno interessato l'habitat 9210* Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*. Le faggete tollerano male il passaggio del fuoco (Valsecchi et al. 2008) e la sopravvivenza dei semi appare molto improbabile. Tuttavia, nelle zone attraversate dal fuoco, i semi trasportati dai micromammiferi possono favorire la rigenerazione del faggio, che tende a riconquistare le aree incendiate ricreando formazioni monospecifiche (Van Gils et al. 2010).

Conclusioni

Il presente studio ha messo in evidenza come l'incendio del Monte Morrone abbia coinvolto molte tipologie di uso del suolo, con diversi livelli di severità che dipendono dalle caratteristiche stesse delle tipologie interessate. Nello specifico gli arbusteti, le praterie e i pascoli e i rimboschimenti di conifere sono le tipologie più colpite. Molte di queste tipologie sono classificate anche come habitat Natura 2000 e sono ricche di specie di flora, con elevati livelli di endemismi.

L'utilizzo di dati satellitari ed in particolare del satellite Sentinel 2-A ha permesso di delineare con elevata precisione le aree percorse dal fuoco e di calcolarne il grado di severità. In tal senso, l'utilizzo di questa tipologia di dati è di notevole aiuto per i ricercatori ma anche per gli operatori del settore, al fine di monitorare e valutare i danni causati da questo tipo di calamità.

Ringraziamenti

Si ringrazia lo *European Forest Fire Information System* (EFFIS) per aver fornito le statistiche aggiornate relative agli incendi 2017 in Italia.

Bibliografia

- Arnan X, Rodrigo A, Retana J (2007). Vegetation type and dryness drive the post-fire regeneration of Mediterranean plant communities at a regional scale. *Journal of Vegetation Science* 18: 111-122. - doi: [10.1111/j.1654-1103.2007.tb02521.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02521.x)
- Battipaglia G, Tognetti R, Valese E, Ascoli D, De Luca PF, Basile S, Ottaviano M, Mazzoleni S, Marchetti M, Espostio A (2017). Incendi 2017: un'importante lezione. *Forest@* 14: 231-236. - doi: [10.3832/efor0076-014](https://doi.org/10.3832/efor0076-014)
- Blasi C, Filesi L, Pirone G, Canini L, Carranza ML, Fiorini S (1999). Aspetti climatici, pedologici, floristici, vegetazionali, individuazione della macrounità ecosistemiche e qualità ambientale. In: "Realizzazione degli studi preliminari e dell'elaborato tecnico del piano del Parco e del regolamento", Ente Parco Nazionale della Majella.
- Bovio G, Marchetti M, Tonarelli L, Salis M, Vacchiano G, Lovreglio R, Elia M, Fiorucci P, Ascoli D (2017). Gli incendi boschivi stanno cambiando: cambiamo le strategie per governarli. *Forest@* 14: 202-205. - doi: [10.3832/efor2537-014](https://doi.org/10.3832/efor2537-014)
- Chavez PS (1996). Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62: 1025-1036. [online] URL: <http://www.unc.edu/courses/2008spring/geog/577/001/www/Chavez96-PERS.pdf>
- Ciaschetti G, Di Martino L, Frattaroli AR, Pirone G, Di Cecco V, Giallonardo T (2015). Vegetazione e flora. In: "Piano di Gestione dei Siti Natura 2000 del Parco Nazionale della Majella", Ente Parco Nazionale della Majella.
- Congedo L (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. Release 6.0.1.1, Web site. - doi: [10.13140/RG.2.2.2947.4.02242/1](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.2947.4.02242/1)
- De Luís M, Raventós J, Gonzalez-Hidalgo JC (2006). Post-fire vegetation succession in Mediterranean gorse shrublands. *Acta Oecologica* 30: 54-61. - doi: [10.1016/j.actao.2006.01.005](https://doi.org/10.1016/j.actao.2006.01.005)
- Escudero A, Sanz MV, Pita JM, Perez-García F (1999). Probability of germination after heat treatment of native Spanish pines. *Annals of Forest Science* 56: 511-520. - doi: [10.1051/forest:19](https://doi.org/10.1051/forest:19)

990608

- Evangelista A, Frate L, Stinca A, Carranza ML, Stanisci A (2016). VIOLA - the vegetation database of the central Apennines: structure, current status and usefulness for monitoring Annex I EU habitats (92/43/EEC). *Plant Sociology* 53: 47-58. [online] URL: <http://www.researchgate.net/publication/312289602>
- Frattaroli AR, Ciaschetti G, Di Martino L, Pirone G, Del Monaco L, Andrisano T, Di Cecco M (2006). Ricerca sui cambiamenti floristici e sulla dinamica vegetazionale in un settore del Parco della Majella (Abruzzo) percorso da incendio nell'estate 2000. In: "La biodiversità vegetale nelle aree protette in Abruzzo: studi ed esperienze a confronto" (Di Cecco M, Andrisano T eds). Documenti tecnico-scientifici del Parco Nazionale della Majella, pp. 210-224.
- Fyllas NM, Dimitrakopoulos PG, Troumbis AY (2008). Regeneration dynamics of a mixed Mediterranean pine forest in the absence of fire. *Forest Ecology and Management* 256: 1552-1559. - doi: [10.1016/j.foreco.2008.06.046](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.046)
- García D, Zamora R, Hódar JA, Gómez MJ (1998). Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian peninsula: conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biological Conservation* 87: 215-220. - doi: [10.1016/S0006-3207\(98\)00059-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00059-7)
- Keeley JE (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18: 116-126. - doi: [10.1071/WF07049](https://doi.org/10.1071/WF07049)
- Key CH, Benson NC (2005). Landscape assessment: ground measure of severity, the Composite Burn index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In: "FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System" (Lutes DC, Keane RE, Caratti JF, Key CH, Benson NC, Ganci LJ eds). General Technical Report, USDA Forest Services, Rocky Mountains Research Station, Ogden, UT, USA.
- Malenovsky Z, Rott H, Cihlar J, Schaepman ME, García-Santos G, Fernandes R, Berger M (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sensing of Environment* 120: 91-101. - doi: [10.1016/j.rse.2011.09.026](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.026)
- Marquès MA, Mora E (1992). The influence of aspect on runoff and soil loss in a Mediterranean burnt forest (Spain). *Catena* 19: 333-344. - doi: [10.1016/0341-8162\(92\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(92)90007-X)
- Mercurio R, Mallamaci C, Muscolo A, Sidari M (2009). Effetti della dimensione delle buche sulla rinnovazione naturale in rimboschimenti di pino nero. *Forest@* 6: 312-319. - doi: [10.3832/efor0591-006](https://doi.org/10.3832/efor0591-006)
- Parco Nazionale della Majella (2015). Piano di previsione, prevenzione e lotta agli incendi nel Parco Nazionale della Majella. Parco Nazionale della Majella, Ufficio Gestione Forestale.
- Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R (2008). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review. *International Journal of Wildland Fire* 17: 713-723. - doi: [10.1071/WF07151](https://doi.org/10.1071/WF07151)
- Rodrigo A, Retana J, Picó X (2004). Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85: 716-729. - doi: [10.1890/02-0492](https://doi.org/10.1890/02-0492)
- Seidl R, Thom D, Kautz M, Martin-Benito D, Peltoniemi M, Vacchiano G, Wild J, Ascoli D, Petr M, Honkaniemi J, Lexer MJ, Trotsiuk V, Mairiotta P, Svoboda M, Fabrika M, Nagel TA, Reyer CPO (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395-402. - doi: [10.1038/nclimate3303](https://doi.org/10.1038/nclimate3303)
- Stevens-Rumann CS, Kemp KB, Higuera PE, Harvey BJ, Rother MT, Donato DC, Morgan P, Veblen TT (2018). Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters* 21: 243-252 - doi: [10.1111/ele.12889](https://doi.org/10.1111/ele.12889)
- Turner MG (2010). Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91: 2833-2849. - doi: [10.1890/10-0097.1](https://doi.org/10.1890/10-0097.1)
- Valsecchi V, Finsinger W, Tinner W, Ammann B (2008). Testing the influence of climate, human impact and fire on the Holocene population of *Fagus sylvatica* in the southern Prealps (Italy). *The Holocene* 18: 603-614. - doi: [10.1177/0959683608089213](https://doi.org/10.1177/0959683608089213)
- Van Gils H, Odoi JO, Andrisano T (2010). From monospecific to mixed forest after fire? An early forecast for the montane belt of Majella, Italy. *Forest Ecology and Management* 259: 433-439. - doi: [10.1016/j.foreco.2009.10.040](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.040)
- Venn SE, Pickering CM, Butler SA, Letten AD (2016). Using a model based fourth-corner analysis to explain vegetation change following an extraordinary fire disturbance. *Oecologia* 182: 855-863. - doi: [10.1007/s00442-016-3700-8](https://doi.org/10.1007/s00442-016-3700-8)