

ANDREA FAVRETTO - FRANCESCA KRASNA\*

TELERILEVAMENTO PER LA MAPPATURA DEL  
BRUCIATO E PER LA VALUTAZIONE DELLA SEVERITÀ  
DEGLI INCENDI.  
IL CASO DEL CARSO TRIESTINO E GORIZIANO  
NELL'ESTATE DEL 2022\*\*

*Premessa.* – Il fuoco è stato sempre usato dall'uomo per la caccia, la deforestazione rapida di terreni da destinare all'agricoltura, in generale per la gestione del territorio (Pyne, 1995). Inoltre, il fuoco è un fattore ecologico importante, che impatta profondamente sugli ecosistemi, influenzandone la biodiversità, selezionando gli organismi resilienti e promuovendo la naturale forza rigenerativa delle piante (Kelly e altri, 2017). Come è noto, gli incendi causano una regressione degli ecosistemi a stadi nei quali la composizione in specie vegetali e la loro struttura è più semplice (ad esempio, la distruzione di un bosco porta la formazione di una successiva vegetazione arbustiva o erbacea - Castello e altri, 2023).

Purtroppo il numero degli incendi, a livello globale, è in crescita. Si pensi che per la sola Unione europea, dal 1° gennaio al 3 novembre 2023 EFFIS (European Forest Fire Information System) stima un totale di ben 457.033 ettari bruciati (sulla base di dati da satellite MODIS/Sentinel 2<sup>1</sup>). L'area climatica mediterranea, in particolare, risulta essere fra le zone a maggior rischio d'incendio, a livello globale (Rossetti e altri, 2022). A tal riguardo, si veda ad esempio la figura 1, che riporta degli istogrammi indicanti il numero degli incendi verificatisi in alcuni Paesi del bacino Mediterraneo, dal 2016 al 2023, rilevati da dati satellitari (satellite Sentinel 3, sensore SLSTR, in grado di rilevare il fuoco e le alte temperature durante la notte<sup>2</sup>).

---

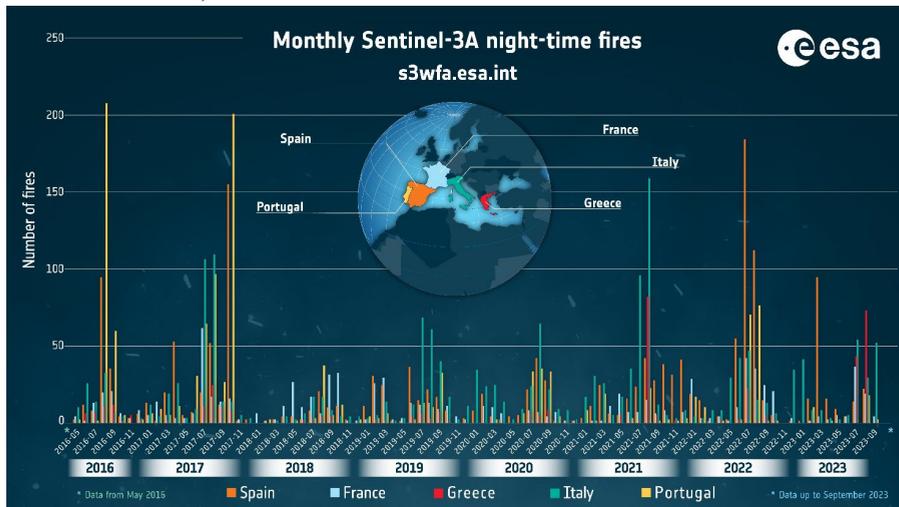
\* Il contributo, già accolto per la pubblicazione nel fascicolo 2.2023, per mero errore materiale non è stato poi inserito nella composizione del suddetto fascicolo. Si inserisce nel presente con le scuse della Redazione.

\*\* Il lavoro è stato realizzato in piena collaborazione fra i due Autori. Si specifica che *Premessa* e *Conclusioni* vanno attribuiti a Francesca Krasna, mentre *Inquadramento teorico*, *Materiali e metodi* e *Elaborazione dei dati* ad Andrea Favretto.

<sup>1</sup> Si veda <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/>.

<sup>2</sup> Si veda <https://s3wfa.esa.int/>.

Fig. 1 – Numero degli incendi verificatisi in alcuni Paesi del bacino Mediterraneo, dal 2016 al 2023, rilevati da dati satellitari



Fonte: ESA, World Fire Atlas

Le cause di tali eventi possono essere antropiche (incendi colposi e/o dolosi) o naturali. Come si può vedere dal report JRC sugli incendi in Europa, Medio Oriente e Nord Africa per l'anno 2019, in Italia sono le prime ad essere di gran lunga le più numerose (57.4% dolose e 13.7% colpose) mentre le cause naturali sono appena il 1.9% (il resto va diviso in: non determinate – 4.4% e non classificabili - 22.5%). La frequenza degli incendi è in particolare un fattore da valutare attentamente, in quanto mina la capacità di recupero della vegetazione, impoverendo il suolo. Proprio quest'ultima viene stimata in aumento, a causa dell'effetto combinato dell'attività antropica, del cambiamento dell'uso del territorio (ad esempio: l'abbandono delle attività di legnatico da parte dei residenti, che determina un accumulo di potenziale combustibile a terra) e, soprattutto, dei cambiamenti climatici (ondate di calore e periodi di siccità prolungati – cfr. Castello e altri, 2023). Un clima caratterizzato da prolungati periodi estivi sempre più caldi e secchi rende inoltre gli incendi molto difficili da controllare, con durate che estenuano gli sforzi degli spegnitori e incrementano esponenzialmente i disagi e i pericoli per la popolazione residente (RAFGV, 2020).

Il processo di valutazione dei danni al territorio e alle comunità residenti passa necessariamente attraverso una mappatura delle aree bruciate.

Quest'ultima è inoltre parte fondamentale nelle azioni disincentivanti le attività dei piromani, in quanto un terreno bruciato non può avere una destinazione d'uso diversa rispetto a quella precedente l'evento per almeno 15 anni e, su di esso, è vietata per 10 anni "la realizzazione di edifici nonché di strutture e infrastrutture finalizzate ad insediamenti civili ed attività produttive" (Legge-quadro in materia di incendi boschivi n. 353 del 21 novembre 2000, art. 10). L'articolo 3 della stessa legge prevede infatti la redazione di "apposita cartografia" per rappresentare le aree percorse dal fuoco e di "cartografia tematica aggiornata, con l'indicazione delle tipologie di vegetazione prevalenti", per rappresentare le aree a rischio di incendio boschivo. Successivamente alla legge quadro del 2000, il DL n. 120 del 8/9/2021, convertito in legge in data 8/11/2021 (n. 155), specifica all'art. 3 il periodo limite di 60 giorni dall'estinzione dell'incendio per la rilevazione delle aree percorse dal fuoco nonché, all'Art. 5, la facoltà per i Comuni di avvalersi di ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) o di altri soggetti muniti delle necessarie capacità tecniche per il censimento delle aree colpite da incendi. Infine, per quanto riguarda l'uso delle tecnologie satellitari in materia, si desidera citare il paragrafo g) della già citata Legge quadro del 2000, che individua i "sistemi di monitoraggio satellitare" come strumenti per la previsione e la prevenzione degli incendi boschivi nel Piano regionale di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi, che le Regioni devono approvare.

Nella Regione FVG le "Disposizioni per la difesa dei boschi dagli incendi" sono state recentemente normate nella Legge regionale n. 13 del 10/8/2023 (precedentemente, nella Legge regionale n. 17 del 7/11/2019). L'Art. 7, che tratta del Piano regionale antincendio boschivo, definisce al paragrafo h) "l'organizzazione della banca dati delle aree percorse da incendio, le procedure e la modulistica per la raccolta dei dati statistici utili alla conoscenza del fenomeno e alla sua visualizzazione". Il successivo Art. 8 individua il Corpo forestale regionale come ente rilevatore delle aree percorse dagli incendi boschivi.

In ottemperanza alla Legge quadro del 2000, in FVG è stato realizzato ARDI (Archivio Regionale Dati Incendi), recentemente rinnovato per renderlo conforme con altri sistemi informativi introdotti dal Ministero

delle Politiche Agricole e Forestali<sup>3</sup>. Nella banca dati confluiscono le informazioni sugli incendi boschivi inviate dai Comuni e dalle Stazioni Forestali. Queste sono particolarmente complete in quanto, oltre alle informazioni descrittive, contengono anche quelle geo-cartografiche, come la geometria totale dell'area bruciata, il punto d'inizio incendio e le geometrie specifiche relative al boscato, non boscato e pascolo danneggiate dall'evento.

Nel presente lavoro viene preso in considerazione il grave incendio che ha interessato il Carso triestino, isontino e sloveno nell'estate del 2022. Il fuoco, sviluppatosi fra Monfalcone e Gorizia, a cavallo del confine italo-sloveno, ha avuto una durata temporale molto lunga (più di una settimana, in zone diverse dell'area colpita), interessando oltre 3.700 ettari di boschi e distruggendo complessivamente 194.000 metri cubi di biomassa vegetale (Nardini, Petruzzellis, 2023). L'incendio del 2022, le cui cause non sono ancora state chiarite per il fatto che sono stati rilevati diversi punti di innesco, segue tristemente un altro evento dello stesso genere, avvenuto nella stessa area circa 20 anni prima (estate del 2003) e studiato da chi scrive mediante il telerilevamento (Favretto e altri, 2004 e 2005).

Le aree bruciate nel 2022 sono state indagate mediante l'analisi di immagini telerilevate dal sensore passivo Sentinel 2, applicando alle stesse alcuni indicatori utilizzati dalla comunità scientifica per la delimitazione e la valutazione della severità dell'incendio (ovvero di come l'intensità del fuoco abbia impattato il funzionamento dell'ecosistema nell'area bruciata – Keeley, 2009).

La mappatura del bruciato, realizzata sulla base degli indicatori, è stata confrontata con quella ufficiale, fornita dagli enti previsti dalla legislazione e resa disponibile sul sito Web dell'Archivio Regionale Dati Incendi boschivi<sup>4</sup>, al fine di valutare l'indicatore stesso e parametrizzarne correttamente la classificazione, tenuto conto anche delle caratteristiche fisico-morfologiche e vegetative del territorio in esame.

*Inquadramento teorico.* – Il telerilevamento applicato alle aree bruciate non è una novità. Facendo riferimento al telerilevamento passivo, ovvero ai sensori in grado di registrare il segnale riflesso dalla radiazione solare al

---

<sup>3</sup> Si veda <http://www.simontagna.it/portalesim/home.jsp>.

<sup>4</sup> ARDI FVG: <https://eaglefvg.regione.fvg.it/eagle/main.aspx?configuration=guest>.

terreno, le prime applicazioni sono partite da una analisi visiva su immagini a media risoluzione spaziale (sensore passivo TM, a bordo di Landsat 5), inevitabilmente condizionate dall'abilità dell'interprete nel valutare variazioni di colore e di tessitura rispetto a terreni non colpiti da incendi. In seguito, le regioni spettrali dell'infrarosso vicino (NIR – Near InfraRed) e del medio infrarosso (SWIR – Short Wave InfraRed), sono state riconosciute particolarmente sensibili agli effetti del fuoco (Lopez Garcia, Caselles, 1991; Oliva, Marti, Chuvieco, 2011; Pereira e altri, 1999; Pleniou, Koutsias, 2013; Trigg, Flasse, 2001). Il fuoco, infatti, causa sia una riduzione dell'area fogliare che una diminuzione dei pigmenti verdi, in seguito all'essiccazione della foglia. La prima fa registrare un forte calo di riflessione nel NIR (Chuvieco, Congalton, 1988; Lopez Garcia, Caselles, 1991; Silva e altri, 2004), mentre la seconda un incremento nel SWIR (Ceccato e altri, 2001; Chuvieco e altri, 2006; Trigg, Flasse, 2000). L'uso di indici normalizzati, facenti uso di tali finestre spettrali, si è rivelato molto efficace, anche nel confronto di immagini multitemporali e questo ha determinato un ampio impiego di tali algoritmi, sia applicati alla vegetazione che al bruciato (Key, Benson, 2006; Alcaras e altri, 2022; Filipponi, 2018; Rossetti e altri, 2022; Navarro e altri, 2017; Colson, Petropoulos, Ferentinos, 2018; De Simone e altri, 2020; Fernandez-Manso e altri, 2016; Fernandez-Garcia e altri, 2018).

Indipendentemente dal tipo di elaborazione dei dati telerilevati si faccia, va ricordato che un approccio multitemporale permette di limitare gli errori nel valutare le zone in ombra (per copertura nuvolosa o topografica), gli specchi d'acqua, i terreni con scarsa riflettanza (scuri), mentre la stessa pone altri problemi, legati ad eventuali differenze radiometriche o geometriche delle immagini a disposizione (Chuvieco e altri, 2019).

Per quanto riguarda le applicazioni su dati telerilevati da sensori attivi, va ricordato che l'eco dei segnali emessi da un sensore del tipo SAR (Synthetic Aperture Radar) è condizionato dalla struttura della vegetazione e dalla biomassa (Addison, Oommen, 2018). In particolare, la lunghezza d'onda del segnale<sup>5</sup> influenza la penetrazione nelle diverse coperture del

---

<sup>5</sup> I sistemi radar operano con diverse lunghezze d'onda. Come nel caso dei sensori passivi, questa influenza l'immagine riprodotta e le sue caratteristiche informative. La penetrazione dell'impulso radar è funzione della lunghezza d'onda ed è maggiore nei segnali radar in banda L (24 cm) rispetto alla banda X (3 cm) e alla banda C (5,6 cm) (cfr., ad esempio, Gomasca, 2004).

suolo illuminate. Facendo riferimento alla vegetazione, la lunghezza d'onda della banda-L (24 cm), soprattutto polarizzata in modalità HV, permette al segnale di penetrare la chioma ed interagire con i rami più grandi e il suolo (Le Toan e altri, 1992; CEOS, 2018; per ulteriori approfondimenti, si può vedere: DLR – Microwaves and Radar Institute - [https://www.dlr.de/hr/en/desktopdefault.aspx/tabid-8113/14171\\_read-35852/](https://www.dlr.de/hr/en/desktopdefault.aspx/tabid-8113/14171_read-35852/), Addison e altri, 2018; Tanase e altri, 2013; Tanase, Kennedy, Aponte, 2015; Hosseini, Lim, 2023; Alarcon-Aguirre e altri, 2022).

Infine, per completezza teorica, si desidera ricordare l'applicazione dei cosiddetti algoritmi ibridi per l'analisi delle aree bruciate. Si tratta dell'integrazione di diverse tecniche per l'osservazione del territorio da remoto, che prevedono l'uso combinato di anomalie termiche (rilevate nelle regioni spettrali del termico, cosiddette bande TIR – Thermal InfraRed) e variazioni nella riflessione nelle bande NIR e SWIR prima, durante e dopo l'incendio (si vedano, ad esempio: Boschetti e altri, 2015; Roteta e altri, 2019).

*Materiali e metodi.* – Abbiamo utilizzato 3 immagini telerilevate:

1. Immagine Sentinel 2A (sensore passivo MSI – MultiSpectral Instrument), livello di trattamento immagine L1C (ortoretticazione, calcolo riflettanza TOA – TopOfAtmosphere – cfr. ESA/1, 2023); data acquisizione 20/7/2019; coordinate metriche UTM33.

2. Immagine Sentinel 2A (sensore passivo MSI – MultiSpectral Instrument), livello di trattamento immagine L2A<sup>6</sup> (riflettanza alla superficie corretta atmosfericamente cfr. ESA/2, 2023); data acquisizione 1/8/2022; coordinate metriche UTM33.

3. Immagine Sentinel 2A (sensore passivo MSI – MultiSpectral Instrument), livello di trattamento immagine L1C (ortoretticazione, calcolo riflettanza TOA – TopOfAtmosphere – cfr. ESA/1, 2023); data acquisizione 9/7/2023; coordinate metriche UTM33.

---

<sup>6</sup> In questo lavoro i dati telerilevati sono sottoposti a normalizzazione, nel senso che vengono applicati degli algoritmi che normalizzano i numeratori con la somma dei valori da essi elaborati, operazione che tende a ridurre gli eventuali disturbi delle bande e le differenze fra diverse immagini (Brivio, Lechi, Zilioli, 2006, pp. 454; Lillesand, Kiefer, 1994, pp. 506; Gomasasca, 204, pp. 398). Ad esempio, tale operazione rende possibile un confronto fra immagini sottoposte a diverse procedure di pre-elaborazione – trattamenti L1C e L2A delle immagini Sentinel 2).

Per un confronto con i risultati delle elaborazioni sulle immagini, sono stati impiegati anche alcuni layer vettoriali, relativi alle aree interessate dall'incendio del 2022, scaricate dal già citato sistema informativo ARDI e riportanti il perimetro degli incendi boschivi.

Sentinel 2 è costituito da una costellazione di due satelliti (A e B) che compiono la medesima orbita (quasi polare ad un'altezza di 786 Km). I due satelliti sono stati messi in orbita rispettivamente il 23 giugno 2015 ed il 7 marzo 2017. A bordo trasportano un sensore multispettrale con 13 bande, da 443 a 2190 nm, denominato MSI (MultiSpectral Imager). La risoluzione spaziale va da 10 a 60 metri, a seconda della banda considerata mentre l'ampiezza dello swath al terreno è 290 Km. Come le sue caratteristiche tecniche lasciano intuire, le immagini di Sentinel 2 vengono utilizzate per il monitoraggio agricolo e per un controllo dei cambiamenti di copertura del suolo (vegetazione, evoluzione dei centri urbani, erosione di coste, ecc.). Ulteriori informazioni tecniche su Sentinel 2 si possono trovare su: ESA, 2015.

Le immagini di Sentinel 2 sono state elaborate utilizzando i seguenti indicatori:

- $NBR = (B12-B8A) / (B12+B8A)$

Normalized Burn Ratio<sup>7</sup> è un indice molto diffuso per mettere in evidenza le aree bruciate (cfr. Lopez Garcia, Caselles, 1991). Tale algoritmo sfrutta l'infrarosso vicino (banda 8A di Sentinel 2 – narrow NIR – 0,865  $\mu\text{m}$  di lunghezza d'onda centrale) e il medio infrarosso (banda 12 di Sentinel 2 – SWIR2 – 2,19  $\mu\text{m}$  di lunghezza d'onda centrale), riportando un valore elevato per la vegetazione sana ed un valore basso per le aree recentemente bruciate (intervallo dei valori da -1 a +1).

- $NBR+ = (B12-B8A-B3-B2)/(B12+B8A+B3+B2)$

---

<sup>7</sup> Nella letteratura scientifica si trovano diverse versioni di tale indice. Queste differiscono nella scelta dell'infrarosso vicino da usare nell'algoritmo (si vedano, ad es.: Fernandez-Manso e altri, 2016; Filipponi, 2018; Navarro e altri, 2017; Alcaras e altri, 2022; Rossetti e altri, 2022). Sentinel 2 rende infatti disponibili due possibilità: un NIR cosiddetto a banda larga (banda 8 - lunghezza d'onda centrale 842 nm; ampiezza di banda 115 nm; ris. spaziale 10m) ed un NIR cosiddetto a banda stretta (banda 8A - lunghezza d'onda centrale 865 nm; ampiezza di banda 20 nm; ris. spaziale 20m). Si è scelta in questo lavoro la formula con il NIR a banda stretta – band 8A di Sentinel 2 - in quanto spesso ritenuta più efficace nella discriminazione della vegetazione (si veda ad esempio: sentinelhub-<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/>; Zhang e altri, 2019; Addabbo e altri, 2016; Lange e altri, 2017).

Versione migliorata di NBR (Alcaras e altri, 2022), in grado di differenziare meglio l'acqua ed eventuali nuvole dalle aree bruciate (valori più bassi per B12, nel caso di acqua perché il verde – B3 - e il blu – B2- sono più elevati; nel caso delle nuvole perché B12 è più basso).

$$- \text{BAIS2} = \left( 1 - \sqrt{\frac{B6 * B7 * B8A}{B4}} \right) * \left( \frac{B12 - B8A}{\sqrt{B12 + B8A}} + 1 \right)$$

Si tratta di un adattamento del diffuso BAI (Burned Area Index) (Chuvieco, Petropoulos, Ferentinos, 2018), per le immagini di Sentinel 2. Le bande proprie del sensore MSI<sup>8</sup>, in aggiunta alle classiche RED e NIR, sono molto utili per discriminare le aree bruciate (Alcaras e altri, 2022; Filipponi, 2018).

La differenza fra NBR calcolato prima e dopo l'incendio viene utilizzata per stimare la cosiddetta “burn severity”, ovvero il livello di devastazione dell'area percorsa dall'incendio (Addison e altri, 2018):

$$- \text{dNBR} = \text{prefireNBR} - \text{postfireNBR}$$

I valori di dNBR sono stati classificati adattando la proposta di EFFIS (European Forest Fire Information System)<sup>9</sup>, adattata al territorio allo studio (Carso triestino e goriziano, caratterizzato da presenza di affioramenti di pietra calcarea, cfr., fra i molti: Forti, 1982; CAI, AAVV, 1984; Mezzena, 1982). Per approfondire le classificazioni dNBR, si possono vedere: Llorens e altri, 2021; Key e altri, 2006.

La differenza fra NBR calcolato dopo l'incendio e dopo un anno viene invece utilizzata per stimare il recupero della vegetazione colpita dall'evento (Rossetti e altri, 2022):

$$- \text{dNBR}_{\text{post1year}} = \text{NBR}_{\text{postfire}} - \text{NBR}_{\text{1year}}$$

I valori di dNBR<sub>post1year</sub> sono stati classificati come nel caso di dNBR (si veda anche Rossetti e altri, 2022).

*Elaborazione dei dati.* – Le tre immagini Sentinel 2 sono state per prima cosa ritagliate, in modo da mostrare solamente l'area interessata dall'incendio. Sulla figura 2 si può vedere il risultato per due di esse, visualizzato in falsi colori, ovvero utilizzando il canale rosso per la banda 8 (NIR), il verde per la banda 4 (RED) ed il blu per la banda 3 (GREEN).

<sup>8</sup> Sono B5 e B6, le bande cosiddette “red-edge”, ovvero quelle che rilevano gli infrarossi vicini spostati verso il rosso, (Fernandez-Manso e altri, 2016).

<sup>9</sup> Si veda <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>.

Il riquadro A della figura mostra la situazione pre-incendio (27 luglio 2019) mentre il riquadro B lo stesso territorio subito dopo lo spegnimento (1° agosto 2022). La linea in nero, visibile in sovrapposizione, riporta il confine fra Italia e Slovenia. Come si può chiaramente osservare dalla figura, l'impressionante devastazione dell'incendio è visibile in verde mentre le aree vegetate sono in tonalità di rosso (chiaro: vegetazione prativa, scuro: boschiva). Rocce e costruito sono in grigio chiaro/grigio-azzurro mentre la superficie del mare Adriatico è in blu scuro (le parti più chiare dipendono dai sedimenti superficiali, legati alla foce del fiume Isonzo, appena visibile nella parte sud-est dell'immagine).

Fig. 2 – Visualizzazione a falsi colori delle immagini Sentinel 2 pre e post incendio (riquadro A: luglio 2019; riquadro B: agosto 2022)

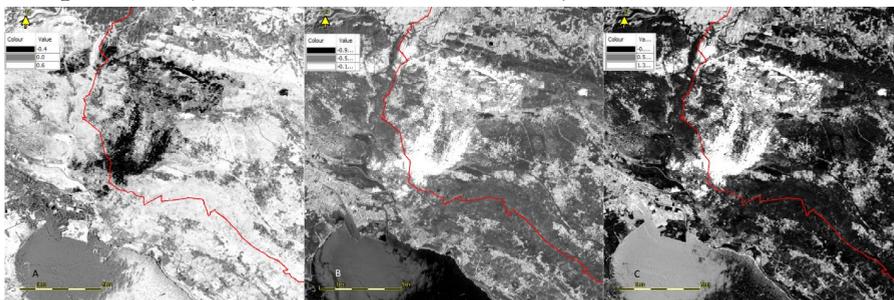


Fonte: elaborazione degli autori

Alle due immagini Sentinel 2 di figura 2 sono stati poi applicati i tre indici del bruciato, presentati nel precedente paragrafo ovvero: NBR, NBR+, BAIS2. Per motivi di spazio, sulla figura 3 si possono vedere i soli risultati per l'anno 2022 (subito dopo lo spegnimento dell'incendio) mentre, come si vedrà, i layer relativi all'anno 2019 e 2023 sono stati utilizzati per la valutazione della severità dell'incendio e del livello di rigenerazione della vegetazione. Il layer nel riquadro A è NBR, quello in B è relativo a NBR+, infine in C si può vedere il risultato dell'applicazione di BAIS2. I valori degli indici in tutti e tre i layer sono visualizzati con tonalità di grigi (valori crescenti da -1 – nero a +1 – bianco). Come si può osservare, in tutti e tre i casi l'area devastata dall'incendio è ancora più pale-

se rispetto alla visualizzazione a falsi colori, per opera degli indici. Si può anche notare che in due casi su tre (NBR+ e BAIS2) le aree bruciate sono tendenti al bianco (ovvero, nel range elevato dell'intervallo dei valori). Per quanto riguarda NBR, un alto valore dell'indice è invece legato a vegetazione sana mentre il bruciato è contraddistinto da valori negativi. Questo è quindi il motivo dell'aspetto apparentemente discordante delle aree bruciate in figura (nonostante le legende concordi), la cui spiegazione va ricercata, per l'appunto, negli algoritmi applicati.

Fig. 3 – *Applicazione degli indici del bruciato alle immagini del satellite Sentinel 2 dell'agosto 2022 (A: NBR; B: NBR+; C: BAIS2)*



Fonte: elaborazione degli autori

La successiva e cruciale fase di valutazione della severità dell'incendio è stata preceduta da un ulteriore ritaglio dell'area mostrata nelle figure 2 e 3. Si è deciso di procedere in tal senso per escludere zone potenzialmente in grado di generare confusione, per ciò che riguarda la classificazione dei vari livelli del bruciato ovvero il mare e le terre non toccate dall'incendio della provincia di Trieste (sud-est) e della Slovenia (est).

Si è inoltre deciso di limitare le elaborazioni per le stime del bruciato al solo layer NBR, non considerando gli altri due realizzati e presentati in figura 3 (NBR+ e BAIS2). Il motivo di tale esclusione è stato:

- per quanto riguarda NBR+, l'assenza del mare (da noi escluso nel secondo ritaglio) e di copertura nuvolosa (non presente in tale area già nell'immagine di partenza), rendono di fatto inutile l'adozione della versione migliorata di NBR, che cerca di risolvere errori di valutazione della copertura del suolo legati alla potenziale confusione fra aree bruciate e specchi d'acqua/nuvole;
- per quanto riguarda l'esclusione di BAIS2, questa è stata moti-

vata dal fatto che si sono adottati i parametri di EFFIS per la valutazione dei livelli di bruciato e questi sono stati calibrati per NBR (indice maggiormente diffuso e sperimentato, le cui radici affondano nel 1991 – prima versione di Lopez Garcia e altri, ma la cui prima apparizione con tale nome risale al successivo 1999 – Key e altri). Inoltre, NBR è meno legato alle immagini di Sentinel 2 e quindi permette di offrire al lettore una metodologia più esportabile ad altri contesti territoriali, ripresi da sensori diversi.

I due layer NBR ritagliati (pre-2019 e post-2022) sono stati quindi sottratti l'uno all'altro, nel seguente modo:

$$- \text{dNBR} = \text{NBR}_{2019} - \text{NBR}_{2022}$$

Ove: dNBR è il layer differenza, con valori compresi nell'intervallo -0,6484 e 1,3504; NBR<sub>2019</sub> è l'indice del bruciato per il 2019; NBR<sub>2022</sub> è l'indice del bruciato per il 2022.

Si considerino ora i valori soglia per dNBR proposti da EFFIS (tab. 1).

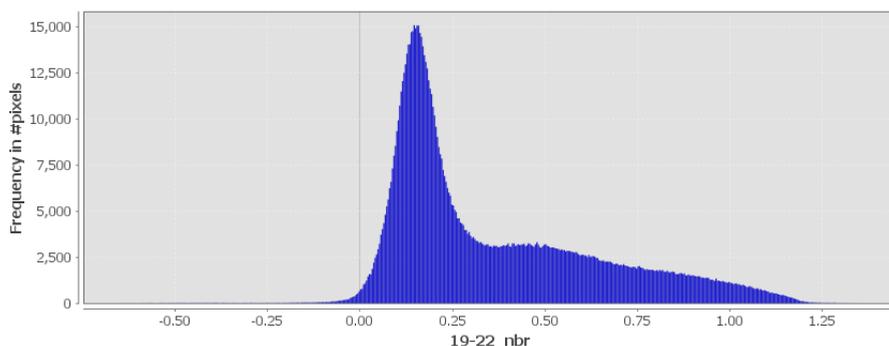
Tab. 1 – Valori soglia per dNBR, proposti da EFFIS

Valori soglia EFFIS	Livello bruciato
dNBR < 0,1	Non bruciato/very low burn
0,10 ≤ dNBR ≤ 255	Low burn
0,256 ≤ dNBR ≤ 0,419	Moderate
0,42 ≤ dNBR ≤ 0,66	High burn
dNBR > 0,66	Very high burn

Fonte: Llorens e altri, 2021

Per classificare il layer differenza dNBR i valori soglia di tabella 1 sono stati adattati alle caratteristiche del territorio in relazione alla potenziale biomassa bruciabile (terreni con presenza di affioramenti pietrosi), valutando la distribuzione del suo istogramma di frequenza<sup>10</sup> (fig. 4).

<sup>10</sup> Nella fattispecie, l'istogramma di frequenza ha permesso la verifica che le classi siano riconducibili al metodo cosiddetto "natural break classification" (ESRI technical support: <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/natural-breaks-classification>; ArcGIS Pro Resources: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/help/data/imagery/modify-class-breaks-with-a-histogram.htm>; Jenks, 1967).

Fig. 4 – *Istogramma di frequenza del layer dNBR, differenza fra NBR<sub>2019</sub> e NBR<sub>2022</sub>*

Fonte: elaborazione degli autori

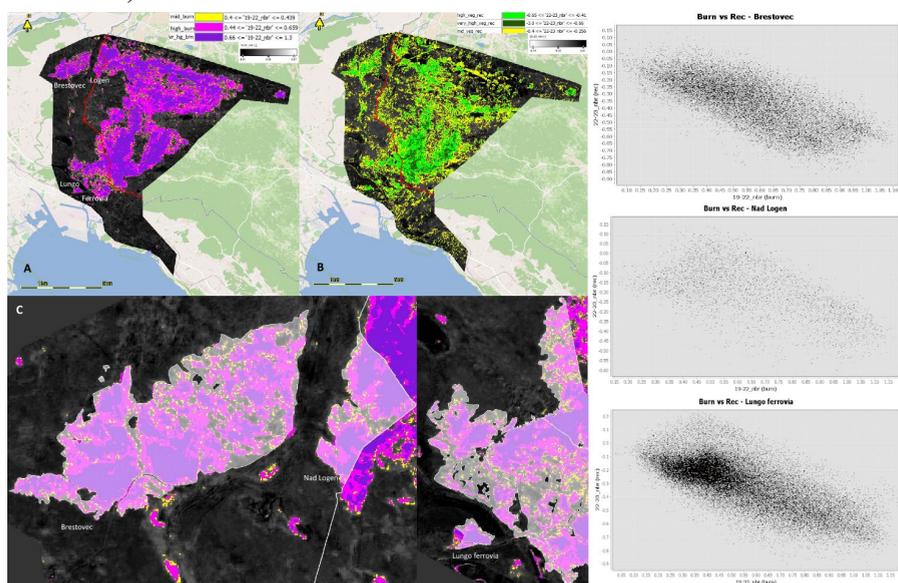
La figura 5 (riquadro A) mostra il risultato della classificazione di dNBR con il metodo su esposto. In colore si sono presentate le sole classi `mid_burn` ( $0,4 \leq \text{dNBR} \leq 0,439$ ), `high_burn` ( $0,44 \leq \text{dNBR} \leq 0,659$ ), `very_high_burn` ( $0,66 \leq \text{dNBR} \leq 1,3$ ), che rappresentano i danni maggiori al territorio provocati dall'evento mentre il resto del ritaglio è raffigurato in scala di grigi (si vedano in alto a destra le due legende, discreta e continua, con i rispettivi valori di riferimento). Il ritaglio è stato sovrapposto alla base cartografica di OpenStreetMap, per una più immediata percezione della localizzazione del territorio incendiato mentre la linea confinaria è ben visibile in rosso. Come si può inoltre notare, sulla figura sono stati scritti i toponimi di tre località (Brestovec, Logen, Lungo Ferrovia), in modo da permetterne la localizzazione osservando il sottostante riquadro C. Tale riquadro mostra tre ingrandimenti delle aree dei toponimi, con sovrapposti i layer vettoriali (in bianco al 50% di trasparenza) relativi al perimetro totale dell'area bruciata, forniti da ARDI FVG. Si tratta di:

- Brestovec, Comune di Duino Aurisina, data inizio incendio: 27 luglio 2022, durata: 2 giorni, 6 ore e 29 minuti, luogo inizio: strade, stato vegetazione: secca, tipo cause: dolose;
- Nad Logen, Comune di Doberdò del Lago, data inizio incendio: 19 luglio 2022, durata: 3 giorni, 4 ore e 59 minuti, luogo inizio: bosco, stato vegetazione: secca, tipo cause: ignote;
- Lungo Ferrovia, Comune di Duino Aurisina, data inizio incendio: 19 luglio 2022, durata: 7 giorni, 23 ore e 9 minuti, luogo inizio: ferrovie,

stato vegetazione: secca, tipo cause: colpose.

Come si può vedere dal riquadro C, le aree mappate su ARDI e quelle ricavate dall'elaborazione dei dati satellitari (mid, high e very high burn) sono quasi ovunque coincidenti, addirittura per quanto riguarda le zone interne ai poligoni ma non ricomprese in essi. Ciò che risulta altresì evidente, è la presenza, nella mappatura mediante il telerilevamento, della valutazione della severità dell'incendio, non desumibile dai poligoni vettoriali della banca dati regionale.

Fig. 5 – Figura composita relativa alla classificazione del bruciato e del recupero vegetativo, con ingrandimenti di alcune aree rilevate dalle Autorità competenti e tre scatterplot relativi alla correlazione fra livelli di bruciato e livelli di recupero vegetativo (si veda il testo)



Fonte: elaborazione degli autori

Come scritto nel paragrafo relativo alla metodologia, la differenza fra indici del bruciato di date differenti è stata utilizzata con successo per la valutazione della ripresa della vegetazione (Rossetti e altri, 2022). A tal fine, è stata presa in considerazione un'immagine Sentinel 2 relativa a inizio luglio 2023, si è costruito con essa NBR e i valori dei pixel di tale layer sono stati sottratti a quelli relativi al layer NBR dell'anno precedente (agosto 2022). I valori fortemente negativi del layer risultato indicano

stavolta le aree ove la vegetazione ha ripreso con maggiore forza mentre i valori prossimi allo zero contraddistinguono quelle rimaste invariate nell'anno trascorso. Ancora una volta si sono classificati i valori dei pixel mantenendo come base i parametri di EFFIS e operandovi dei lievi correttivi legati al territorio e all'istogramma di frequenza dell'immagine. Il risultato, lo si può vedere nel riquadro B di figura 4. Come si può controllare dalla legenda che discretizza i valori dei pixel, in verde scuro si sono evidenziate le aree con una maggior ripresa vegetativa (*very\_high\_veg\_rec*:  $-3 \leq dNBR_{22-23} \leq -0,66$ ), in verde chiaro quelle con una buona ripresa (*high\_veg\_rec*:  $-0,65 \leq dNBR_{22-23} \leq -0,41$ ), in giallo quelle con una moderata ripresa (*mid\_veg\_rec*:  $-0,4 \leq dNBR_{22-23} \leq -0,256$ ). Il resto del layer è stato lasciato in toni di grigio (si veda la legenda dei valori continui, sotto quella discreta). Come nel riquadro A, la base cartografica di OpenStreetMap serve per un riferimento territoriale ed in rosso è stata evidenziata la linea di confine fra Italia e Slovenia.

Il layer della ripresa vegetativa è stato poi utilizzato, insieme a quello della severità dell'incendio, per verificare un'eventuale correlazione fra i due, ovvero per capire con quale andamento le diverse zone colpite dall'evento siano state in grado di rigenerarsi. La tabella 2 mostra la consistenza in Km<sup>2</sup> (calcolata dal layer ritaglio) del totale bruciato nelle tre classi di figura 4 (*mid*, *high*, *very\_high burn*); la consistenza delle aree interessate dal recupero vegetativo (*low*, *mid*, *high*, *very\_high veg rec*) e alcune intersezioni significative fra le due zone. Si notino in tabella le caselle evidenziate in giallo, che mostrano valori significativamente elevati, relativi alle intersezioni fra alti livelli di bruciato ed alti livelli di recupero vegetativo.

Tab. 2 – *Consistenza del bruciato e del recupero vegetativo (in Km<sup>2</sup>) ed alcune intersezioni fra le due aree (si veda il testo)*

	Tot Km <sup>2</sup>	mid_burn (Km <sup>2</sup> )	high_burn (Km <sup>2</sup> )	very_high_burn (Km <sup>2</sup> )
Tot Km <sup>2</sup>		3,158	15,941	17,946
low_veg_rec (Km <sup>2</sup> )	48,85			
mid_veg_rec (Km <sup>2</sup> )	20,314		4,72	4,192
high_veg_rec (Km <sup>2</sup> )	11,914		2,457	7,727
very_high_veg_rec (Km <sup>2</sup> )	2,812		0,107	2,667

Fonte: elaborazione degli autori

Infine, attraverso la metodologia dello scatterplot, si è verificata la correlazione fra livelli di bruciato e livelli di recupero vegetativo. Si noti a tal riguardo i tre grafici di figura 4, dall'alto verso il basso, relativi ai tre perimetri del bruciato della banca dati ufficiale ARDI FVG ovvero le aree Brestovec, Nad Logen e Lungo ferrovia, le stesse che nel riquadro C della stessa figura erano state sovrapposte alla nostra elaborazione tematica dei dati telerilevati. Va osservato che la buona correlazione fra i due fenomeni è negativa (l'ipotetica retta di regressione avrebbe una pendenza negativa) e questo è dovuto al fatto che i livelli del bruciato sono legati ad un incremento positivo dei valori di dNBR mentre il contrario vale per i livelli del recupero vegetativo.

*Conclusioni.* – Nel presente lavoro è stato preso in considerazione l'incendio avvenuto nell'estate 2022 fra Monfalcone e Gorizia, a cavallo del confine italo-sloveno. Utilizzando il telerilevamento, applicato ad immagini satellitari del sensore passivo MSI (satellite Sentinel 2), si è costruita una mappatura delle aree bruciate, che è stata posta a confronto con quella ufficiale, rilevata sul campo dalle Autorità competenti. Di seguito vengono presentati i principali risultati raggiunti, uniti ad alcune osservazioni metodologiche.

- La mappatura del bruciato, ottenuta attraverso l'indice NBR è stata discretizzata, utilizzando come base i parametri ufficiali di EFFIS, adattati al contesto territoriale ed alla distribuzione dell'istogramma di frequenza del layer raster risultato finale delle elaborazioni. Ciò ha prodotto una zonizzazione delle aree desunte dalle immagini satellitari, realizzata in base all'intensità del danno subito dalla vegetazione. Tale mappatura (aree cosiddette “*mid\_burn*” - mediamente devastate, “*high\_burn*” - altamente devastate e “*very\_high\_burn*” - totalmente devastate) è stata valutata in ambiente GIS mediante un confronto con quella, in formato vettoriale, ricavata dal database ARDI FVG (per la parte italiana dell'area globalmente interessata dall'incendio). Il confronto ha fatto registrare un'ottima coincidenza fra le aree ricavate mediante il Telerilevamento e quelle mediante rilevazione sul posto.

- Si osserva quindi che non solo il telerilevamento ha permesso di identificare globalmente le aree bruciate ma anche di valutare in esse i danni subiti, al fine dell'ottenimento di una prima valutazione, semi au-

tomatica, della severità dell'incendio nell'area interessata.

- È stata fatta anche una stima territoriale della capacità di recupero della vegetazione, ad un anno di distanza dall'evento. Tale stima è stata correlata, con buoni risultati, con l'intensità dell'incendio stesso, evidenziando che proprio le aree maggiormente colpite dall'evento hanno avuto una decisa ripresa vegetativa, nel breve periodo.

- Tutte le zone identificate mediante il Telerilevamento, sia per quanto riguarda i livelli del bruciato che quelli di recupero vegetativo, sono state quantificate in Km<sup>2</sup> e, mediante opportune query in ambiente GIS, è stato possibile verificare numericamente le intersezioni fra gli insiemi territoriali mappati (ad esempio, si vedano in tabella 2 le consistenze di aree con determinati livelli di danno e determinati livelli di recupero vegetativo).

I risultati raggiunti sono in pieno accordo con l'attuale tendenza legislativa in materia antincendio, che prevede una decisa apertura al Telerilevamento come metodologia d'aiuto alle tecniche tradizionali di mappatura del bruciato, tramite rilevamento sul posto. Il Telerilevamento, applicato alle immagini satellitari messe a disposizione dal progetto europeo Copernicus, permette un sensibile risparmio sugli alti costi dello scarso personale addetto ai rilevamenti. Inoltre, se parametrizzato in modo oggettivo da enti ufficiali, operanti a livello europeo (EFFIS), lo stesso può divenire un metodo scevro da potenziali condizionamenti da parte degli operatori ed in tal modo essere adottato dalla Giurisprudenza, per dirimere dispute giudiziarie, pene e risarcimenti.

Il contributo innovativo del lavoro è duplice: da un punto di vista applicato è stata realizzata una mappatura del bruciato, ulteriormente zonizzata in base alla severità del danno subito dai terreni percorsi dal fuoco; da un punto di vista metodologico, l'adattamento dei parametri EFFIS alle peculiarità del territorio (convalidato dall'analisi dell'istogramma di frequenza del *layer raster* elaborato dai dati telerilevati), viene proposto come un metodo reiterabile in altri contesti.

Ulteriori approfondimenti verranno fatti dagli Autori per una verifica dell'efficacia del Telerilevamento attivo, sia per la mappatura del bruciato ma anche (e soprattutto), per una valutazione qualitativa del recupero vegetativo. Si pensa che tale valutazione possa essere resa possibile dalle note capacità dei segnali radar (L band) di penetrare le chiome degli alberi/arbusti e, in tal modo, di interagire con la struttura legnosa della pianta.

## BIBLIOGRAFIA

- ADDABBO P. E ALTRI, "Contribution of Sentinel-2 data for applications in vegetation monitoring", *ACTA IMEKO*, 2016, 5, 2, pp. 44-54.
- ADDISON P., OOMMEN T., "Utilizing satellite radar remote sensing for burn severity estimation", *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 2018, 73, pp. 292-299.
- ALARCON-AGUIRRE G. E ALTRI, "Burn Severity Assessment Using Sentinel-1 SAR in the Southeast Peruvian Amazon, a Case Study of Madre de Dios", *Fire* 2022, 5, 94, pp. 1-18.
- ALCARAS E. E ALTRI, "Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New Index for Sentinel-2 Imagery", *Remote Sens.* 2022, 14, 1727, pp. 1-19.
- BOSCHETTI L. E ALTRI, "MODIS-Landsat fusion for large area 30m burned area mapping", *Remote Sens. Environ*, 161, 2015, pp. 27-42.
- BRIVIO P.A., LECHI G., ZILIOLO E., *Principi e metodi di Telerilevamento*, Novara, Città Studi Edizioni, 2006.
- CAI (Gorizia), *Il Carso isontino tra Gorizia e Monfalcone*, Trieste, Lint, 1984.
- CASTELLO M., BACARO G., "Il Carso, un paesaggio vulnerabile agli incendi", *Speciale incendi boschivi/Segnali dal clima in FVG*, ARPA FVG, 2023.
- CECCATO P. E ALTRI, "Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain", *Remote Sens. Environ.*, 2001, 77, pp. 22-33.
- CEOS, *A Layman's Interpretation Guide to L-band and C-band Synthetic Aperture Radar data*, Version 2.0, Washington DC, Committee on Earth Observation Satellites, 2018.
- CHUVIECO E., CONGALTON R.G., "Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data", *Geocarto Int.*, 1988, 4, pp. 41-53.
- CHUVIECO, E., PILAR MARTIN M., PALACIOS A., "Assessment of Different Spectral Indices in the Red-Near-Infrared Spectral Domain for Burned Land Discrimination", *Remote Sensing of Environment*, 2002, 112, pp. 2381-2396.
- CHUVIECO E. E ALTRI, "Use of a radiative transfer model to simulate the post-fire spectral response to burn severity", *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 2006, 111, s.p. (<https://doi.org/10.1029/2005JG000143>).
- CHUVIECO E. E ALTRI, "Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation", *Remote Sensing of Environment*, 2019, 225, pp. 45-64.

- COLSON D., PETROPOULOS G. P., FERENTINOS K. P., “Exploring the Potential of Sentinels-1 & 2 of the Copernicus Mission in Support of Rapid and Cost-effective Wildfire Assessment”, *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 2018, 73, pp. 262-276.
- DE SIMONE W. E ALTRI, “The potentiality of Sentinel-2 to assess the effect of fire events on Mediterranean mountain vegetation”, *Plant Sociology*, 2020, 57, 1, pp. 11-22.
- ESA STANDARD DOC., *Sentinel-2 User Handbook*, 1, 2, 2015.
- ESA/1, *Data Quality Report - L1C MSI*, OMPC.CS.DQR.01.10-2023, 10/11/2023.
- ESA/2, *Data Quality Report - MSI L2A*, OMPC.CS.DQR.002.10-2023, 10/11/2023.
- FAVRETTO A., MAURO G., ZAFRAN J., “Fire Mapping using satellite imagery: a trans/border case study”, in *Borders 3, Proceedengs, Tarvisio-Villach-Kranjska Gora, May 3rd-5th, 2004*, Trieste, EUT, 2005, pp. 65-76.
- FAVRETTO A., MAURO G., ZAFRAN J., “Mappatura di zone degradate da incendi attraverso immagini da satellite. Il caso di un incendio a cavallo del confine italo-sloveno (estate 2003)”, in *Atti della VIII Conferenza ASITA, 14-17 dicembre 2004*, Milano, ASITA, 2004, pp. 1067-1072.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA V. E ALTRI, “Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery”, *Remote Sensing of Environment*, 2018, 206, pp. 205-217.
- FERNÁNDEZ-MANSO A. E ALTRI, “SENTINEL-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, 50, pp. 170-175.
- FILIPPONI F., BAIS2: “Burned Area Index for Sentinel-2”, *Proceedings*, 2018, 2, 7, 364 ([www.mdpi.com/journal/proceedings](http://www.mdpi.com/journal/proceedings)).
- FORTI F., *Invito alla conoscenza del Carso triestino*, Trieste, Edizioni Lint, 1982.
- GOMARASCA M., *Elementi di Geomatica*, Gallarate, AIT, 2004.
- HOSSEINI M., LIM S., “Burned area detection using Sentinel-1 SAR data: A case study of Kangaroo Island, South Australia”, *Applied Geography*, 2023, 151, s.p.
- JENKS G. F., “The Data Model Concept in Statistical Mapping”, *International Yearbook of Cartography*, 1967, 7, pp. 186-190.
- JRC - JOINT RESEARCH CENTRE, *Forest Fires In Europe, Middle East and North Africa, European Union*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2020.

- KEELEY J. E., "Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage", *International Journal of Wildland Fire*, 2009, 18, 1, pp. 116-126.
- KELLY L., BROTONS L., "Using fire to promote biodiversity", *Science*, 2017, 355, pp. 1264-1265.
- KEY C. H., BENSON N. C., *Landscape Assessment (LA). Sampling and Analysis Methods*, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, 2006 ([http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP\\_216/labs/rmrs\\_gtr164\\_1\\_3\\_land\\_assess.pdf](http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216/labs/rmrs_gtr164_1_3_land_assess.pdf)).
- KEY C., BENSON N., *The Normalized Burned Ratio, a Landsat TM radiometric index of burn severity incorporating multi-temporal differencing*, U.S., Geological Survey, 1999.
- LANGE M. E ALTRI, "Validating MODIS and Sentinel-2 NDVI Products at a Temperate Deciduous Forest Site Using Two Independent Ground-Based Sensors", *Sensors*, 2017, 17, 8, 1855, pp. 1-18.
- LE TOAN T. E ALTRI, "Relating Forest Biomass to SAR Data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1992, 30, 2, pp. 403-411.
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W., *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3<sup>rd</sup> edition, New York, Wiley & Sons, 1994.
- LLORENS R. E ALTRI, "A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula", *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2021, 95, 102243, pp. 1-9.
- LOPEZ GARCIA M.J., CASELLES V., "Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data", *Geocarto International*, 1991, 1, pp. 31-37.
- MEZZENA R., *Alberi e arbusti del Carso*, Trieste, edizioni Villaggio del Fanciullo, 1982.
- NARDINI A., PETRUZZELLIS F., "Il futuro dei boschi nel Carso: quali alberi possono ridurre il rischio d'incendi?", *Speciale incendi boschivi/Segnali dal clima in FVG*, ARPA FVG, 2023.
- NAVARRO G. E ALTRI, "Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, 58, pp. 97-106.
- OLIVA P., MARTIN P., CHUVIECO E., "Burned area mapping with MERIS post-fire image", *Int. J. Remote Sens*, 2011, 32, pp. 4175-4201.
- PEREIRA J.M.C. E ALTRI, "Spectral characterisation and discrimination of

- burnt areas”, in CHUVIECO E. (Ed), *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, Berlin, Springer-Verlag, 1999, pp. 123-138.
- PLENIOU M., KOUTSIAS N., “Sensitivity of spectral reflectance values to different burn and vegetation ratios: a multi-scale approach applied in a fire affected area”, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*, 2013, 79, pp. 199-210.
- PYNE, S.J., *World Fire. The Culture of Fire on Earth*, Seattle and London, University of Washington Press, 1995.
- RAFGV, *Incendi boschivi in Friuli Venezia Giulia*, report 2020.
- ROSSETTI I. E ALTRI, “Short-Term Effects and Vegetation Response after a Megafire in a Mediterranean Area”, *Land*, 2022, 11, 2328, pp. 1-23.
- ROTETA E. E ALTRI, “Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: generation of a small fire database for northern hemisphere tropical”, *Afr. Remote Sens. Environ.*, 2019, 222, pp. 1-17.
- SILVA J.M.N. E ALTRI, “Assessing the feasibility of a global model for multi-temporal burned area mapping using SPOT-vegetation data”, *Int. J. Remote Sens.*, 2004, 25, pp. 4889-4913.
- TANASE M.A. E ALTRI, “Polarimetric properties of burned forest areas at C- and L-band”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2013, pp. 1-12.
- TANASE M.A., KENNEDY R., APONTE C., “Radar Burn Ratio for fire severity estimation at canopy level: An example for temperate forests”, *Remote Sensing of Environment*, 2015, 170, pp. 14-31.
- TRIGG S., FLASSE S., “An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah”, *Int. J. Remote Sens*, 2001, 22, pp. 2641-2647.
- TRIGG S., FLASSE S., “Characterizing the spectral-temporal response of burned savannah using in situ spectroradiometry and infrared thermometry”, *Int. J. Remote Sens.*, 2000, 21, pp. 3161-3168.
- ZHANG T. E ALTRI, “Potential Bands of Sentinel-2A Satellite for Classification Problems in Precision Agriculture”, *International Journal of Automation and Computing*, 2019, 16, 1, pp. 16-26.

*Remote sensing methods for burnout mapping and burn severity evaluation. The case of Trieste and Gorizia karst area in the summer of 2022.* – Human beings are the principal agents of forest fires. In Friuli Venezia Giulia more than 90% of fires are of arson origin although the fire development and im-

pact depend on land cover and weather conditions. During the second half of 2022, a serious fire broke out in Doberdò del Lago and blazed for a good ten days in a transnational karst area among Trieste, Gorizia and Sezana. During the fire, over 4000 hectares of forest went up in smoke. This paper shows the use of Remote Sensing methodology in a GIS environment to measure the effects of the fire, i.e. to map the burnt area. The 2022 event has been assessed by elaborating some pre and post fire ESA Sentinel 2 imagery (Copernicus project). The authors mapped the burnt areas and compared the result with the official mapping, surveyed in the field by the public authorities. They also made a spatial evaluation of the vegetation recovery capacity, one year after the event (2023).

*Keywords.* – Burn mapping, Remote sensing, Vegetation recovery mapping, Trieste karst fire

*Università di Trieste, Dipartimento di Studi umanistici*  
*afavretto@units.it*

*Università di Trieste, Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche*  
*francesca.krasna@deams.units.it*