

Il ruolo delle Osservazioni della Terra dallo spazio nelle emergenze ambientali

di Emiliano Agrillo, Federico Filipponi, Roberto Inghilesi, Alessandro Mercatini, Alice Pezzarossa, Nazario Tartaglione

Le osservazioni della Terra dallo spazio sono diventate uno strumento indispensabile per il monitoraggio ambientale e per far fronte a crisi ed emergenze ambientali. Vengono mostrati alcuni esempi di applicazione di queste osservazioni durante emergenze ambientali affrontate dal Centro operativo per la Sorveglianza Ambientale di ISPRA, dovute a inquinamento marino o atmosferico, incendi e casi di forti mareggiate.

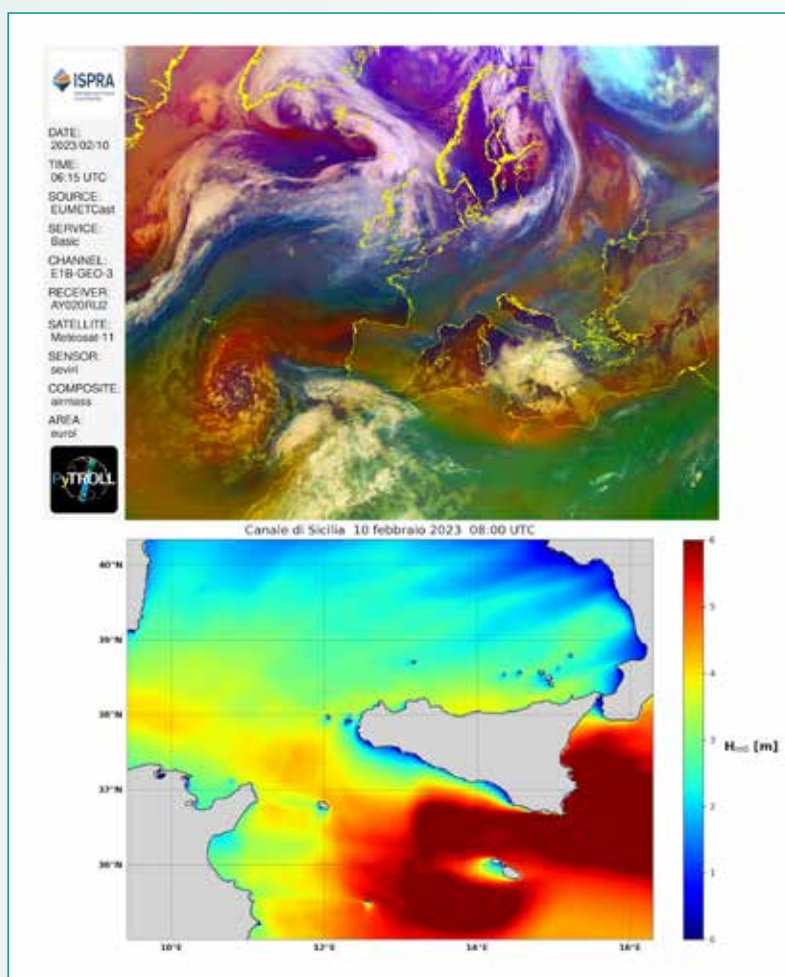


Fig. 1. Immagine Air Mass RGB delle 06:15 UTC del 10/02/2023 ottenuta dal sensore SEVIRI montato sul satellite METEOSAT-11 (pannello superiore) e previsione ondometrica per le ore 08:00 UTC ottenuta dal sistema idro-meteo-mare ISPRA.

Negli ultimi anni le tecnologie per l'Osservazione della Terra (OT), in particolare le elaborazioni di dati acquisiti da sensori montati su piattaforme satellitari, sono diventate uno strumento indispensabile per la gestione delle emergenze (Cumbane and Gidófalvi 2019).

Recentemente, diversi paesi europei hanno costruito o potenziato servizi di sorveglianza ambientale con il supporto di dati satellitari, con il fine di monitorare elementi di crisi ed effetti dannosi per diverse matrici ambientali. A titolo di esempio, da più di dieci anni in Germania è attivo l'*Earth Observation Center* (<https://www.dlr.de/eoc/en/>) e in Francia è operativo l'*Institute Pierre-Simon Laplace* (IPSL - <https://www.ipsl.fr/>), mentre a livello continentale sono disponibili i servizi prodotti da ESRIN (*ESA Centre for Earth* - https://www.esa.int/About_Us/ESRIN) e da *Copernicus Emergency Management Service* (EMS - <https://emergency.copernicus.eu/>).

Nello specifico contesto di situazioni di crisi ed emergenze di tipo ambientale in ambito nazionale, il Centro operativo per la Sorveglianza Ambientale (CSA), dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), sviluppa prodotti di

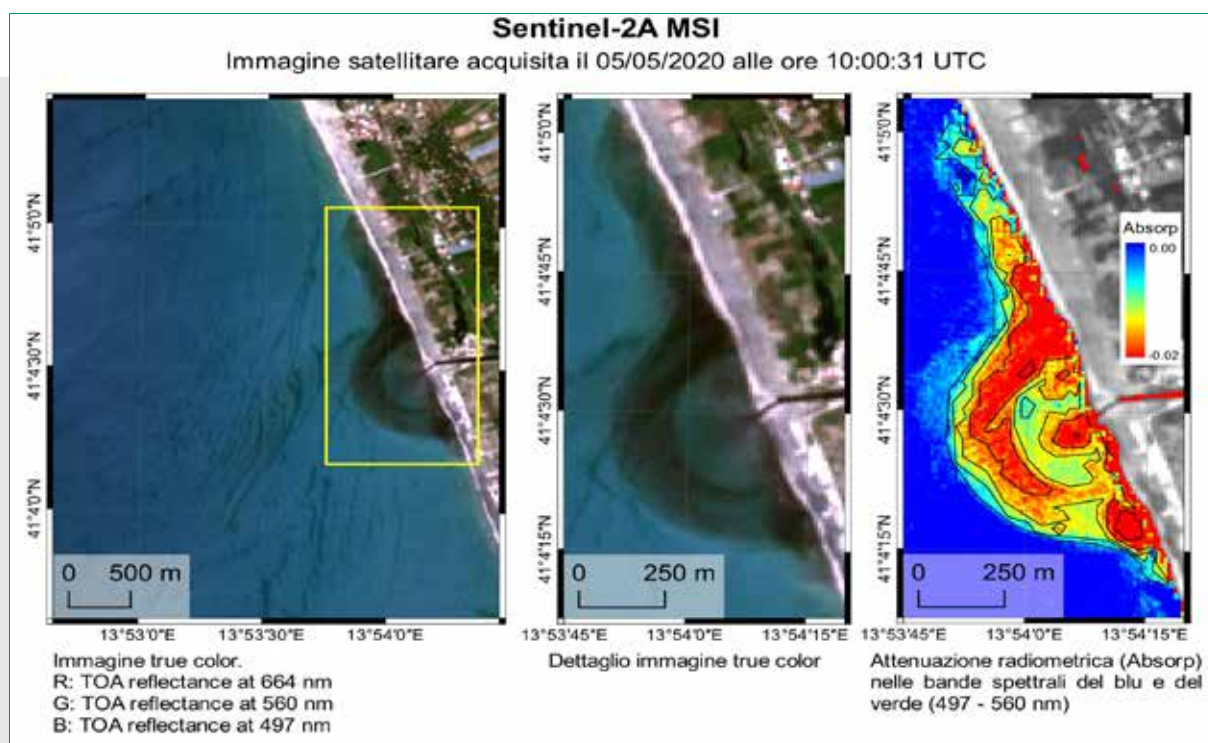


Fig. 2. Immagine true color è il risultato dell'immagine acquisita dal sensore MSI installato sul satellite Sentinel-2. Nel pannello centrale si mostra uno zoom dell'immagine true color, mentre il pannello di destra mostra l'attenuazione delle bande spettrali del blu e del verde a causa della presenza di una sostanza potenzialmente inquinante visibili in prossimità della foce del Canale Aniene (provincia di Caserta).

sorveglianza a partire da dati di OT. Il CSA è parte integrante del Centro Nazionale per le Crisi e le Emergenze ambientali e il danno (CN-CRE). Il CN-CRE, insieme alle altre strutture dell'ISPRA e alle agenzie del Servizio Nazionale Protezione Ambiente (SNPA), fornisce il supporto tecnico scientifico al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e partecipa al Sistema Nazionale di Protezione Civile (SNPC). I principali prodotti sviluppati nel CSA sono ottenuti dall'elaborazione dei dati OT da *synthetic aperture radar* (SAR – *Copernicus Sentinel-1*) e da radiometri a differente risoluzione spaziale come VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite - NASA*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - NASA*), MSI (*MultiSpectral Instrument Copernicus Sentinel-2*), OLI (*Operational Land Imager - NASA*), OLCI (*Ocean*

and Land Colour Instrument, Copernicus- Sentinel-3), SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager EUMETSAT - MSG2*) montati su satelliti gestiti da diverse organizzazioni, tra cui ESA (*European Space Agency*), EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) e NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Questi dati satellitari sono integrati con sistemi informativi e banche dati ambientali e processati con sistemi di elaborazione di tipo machine learning. Tra le altre attività di monitoraggio, descritte in dettaglio nel seguito, da oltre un decennio il CSA è attivo nella previsione dello stato del mare, sia utilizzando dati satellitari che modelli meteo-marini a scala regionale e costiera su tutti i mari italiani. Queste informazioni vengono comunicate al pubblico attraverso un bollettino (<https://www.isprambiente.gov.it/attivita/Crisi-Emergenze-ambientali-e-Danno/centro-operativo-per-la-sorveglianza-ambientale/bollettino-meteo-marino-giornaliero>) e un apposito sito con le previsioni (https://www.isprambiente.gov.it/pre_mare/coastal_system/maps/first.html).

Una parte integrante dell'analisi del Centro è basata su metodi di geo-interpretazione delle immagini, finalizzati all'individuazione di elementi di riconoscimento o descrizione delle crisi ambientali, poiché uno dei compiti principali dell'ISPRA è la tutela dell'ambiente. In questo ambito, il Centro ha sviluppato procedure in grado di caratterizzare: eventi di dispersione di inquinanti in acque costiere associate a canali o estuari, eventi di dispersione in atmosfera, riversamento in mare di olii combustibili (*oil spill*), monitoraggio dell'evoluzione di

vasti incendi, individuandone i fronti attivi. In aggiunta, al fine di monitorare gli ecosistemi forestali che sono ritenuti tra i sistemi ambientali più vulnerabili (Lindner et al., 2010), il CSA ha predisposto specifiche metodiche per l'analisi post-evento, come l'elaborazione delle stime sulle coperture naturali delle aree percorse dall'incendio, sia a livello di unità amministrative (Nazionali, Regionali, Comunali) che di aree protette regionali e nazionali.

Osservazioni della terra nella gestione delle emergenze ambientali: La stazione di ricezione satellitare real-time.

Nell'ambito delle funzioni attribuite al CSA è operativa in ISPRA dal 2021 un sistema di ricezione satellitare dello stream *High Volume Service-2 EU-METCast*. *EUMETCast* è un sistema di disseminazione che comprende un grande volume di dati satellitari di interesse meteorologico, atmosferico e marino provenienti non

solo dall'agenzia europea EU-METSAT ma anche dalla rete europea dei *Sentinel-Copernicus*, dai dati elaborati dai *Satellite Application Facilities* (SAF), dalla NASA e dalla NOAA. Tra i dati ricevuti in continuo sono i prodotti del SEVIRI del METEOSAT MS 2G (e in prossimo futuro METEOSAT 3G) dati AVHRR METOP, MODIS Terra ed Aqua, TROPOMI *Sentinel-5P*, *Poseidon-4*, *Sentinel-6* ed OLCI *Sentinel-3*. Il servizio è importante per garantire il monitoraggio in tempo reale dello stato dell'atmosfera e del mare in Europa e nel Mediterraneo. Il sistema è il complemento fondamentale del Sistema Idro-Meteo-Mare (SIMM) per la previsione numerica meteoromarina dell'ISPRA. Viene riportato ad esempio il caso recente delle previsioni dello sviluppo di un ciclone mediterraneo sulla Sicilia orientale per il 10 febbraio 2023. Sono rappresentate le previsioni a 24 ore dello stato del mare in termini di altezza significativa sulla Sicilia e le osservazioni da satellite con il prodotto *Air Mass RGB* sull'Europa che dimostra la presenza del ciclone nel Mediterraneo Centrale. Il prodotto *Air Mass RGB* usa i due canali di assorbimento del vapore acqueo e quello dell'ozono nella parte dello spettro infrarosso ed è in grado di distinguere le masse d'aria fredda di origine polare (viola-blu) da quelle più calde di origine tropicale (verde).

Gestione delle emergenze ambientali in ambito marino: Sversamento di inquinanti alla foce del canale Agnena (Provincia di Caserta)

Tra il 4 ed il 7 maggio del 2020 è stata segnalata la presenza di un'estesa macchia scura nell'area costiera del Litorale Domizio nel Mar Tirreno meridionale alla foce del canale Agnena,

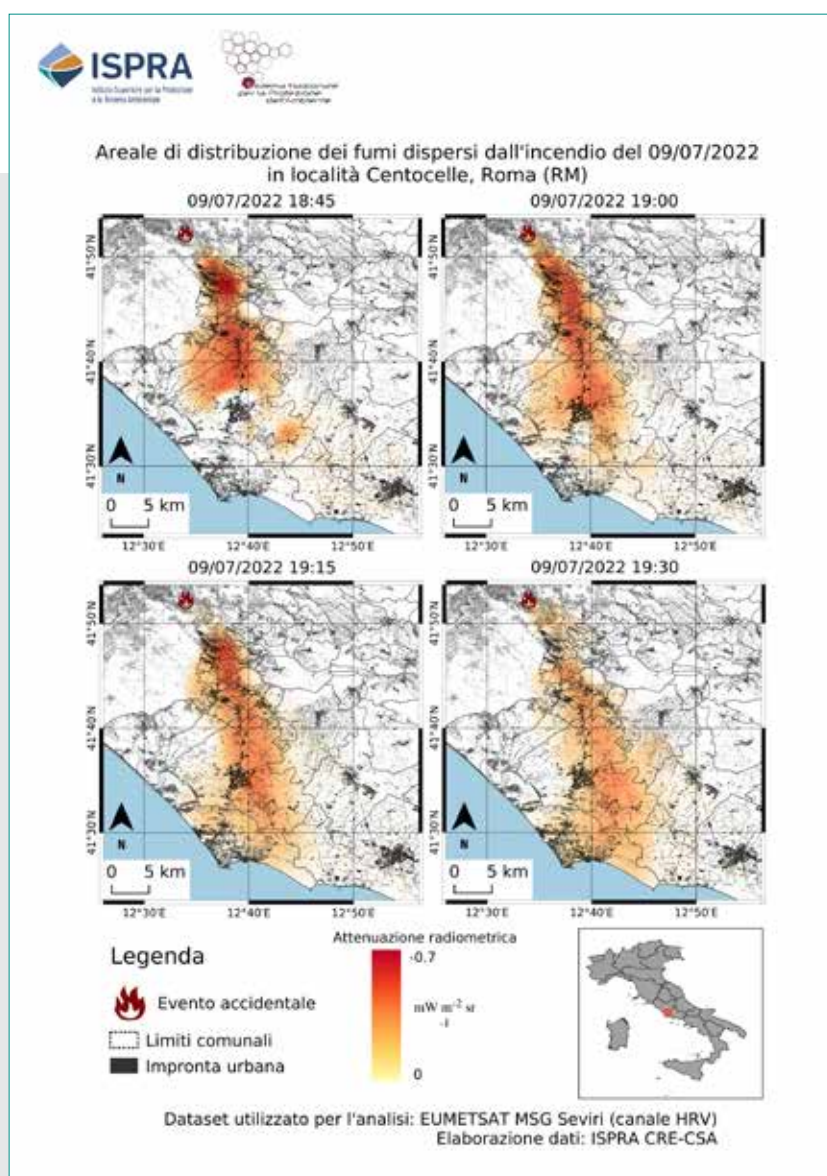


Fig. 3. Distribuzione areale degli inquinanti provenienti dal rogo di Centocelle (Roma), tra le 18.45 e le 19.30 del 09/07/2022, osservata dalle anomalie radiometriche. Le immagini sono l'elaborazione del segnale proveniente dal sensore SEVIRI del satellite EUMETSAT MSG. Il valore di riferimento utilizzato per il calcolo dell'anomalia è stato individuato sulla base di dati satellitari acquisiti sullo stesso punto in un giorno privo di copertura nuvolosa e analoghe condizioni stagionali (5 luglio 2022).

causata da uno sversamento di inquinanti proveniente dal canale. Il CSA ha provveduto all'analisi dei dati OT disponibili nell'area marina costiera considerata, in corrispondenza della foce del canale Agnena in provincia di Caserta.

In particolare, è stata effettuata una ricognizione dei cataloghi di dati satellitari OT distribuiti in modalità 'open-access' dal programma europeo *Copernicus*, da NASA e da USGS, per verificare la disponibilità di immagini satellitari acquisite da satelliti con orbita polare ad alta risoluzione spaziale sull'area interessata dall'evento. La ricerca nel catalogo *Copernicus* ha permesso di ottenere una serie di immagini acquisite dal sensore MSI, montato sulle piattaforme satellitari *Sentinel-2A* e *Sentinel-2B*. Dal catalogo dati USGS *Earth Resources Observation and Science* (EROS) è stata acquisita un'immagine acquisita con sensore ottico multispettrale OLI montato sulla piattaforma satellitare della NASA *Landsat-8*.

Le immagini ottenute dello sversamento sono disponibili a partire dal 4 maggio 2020. Da queste è stato possibile individuare delle anomalie radiometriche nelle bande spettrali alla lunghezza d'onda del visibile, in particolare del blu e del verde (482-562 nm).

La grandezza fisica considerata nell'elaborazione dei dati di ciascuna banda spettrale è chiamata *water-leaving radiance reflectance*, ρ_w , e rappresenta la misura del rapporto tra la radiazione elettromagnetica riflessa dalla colonna d'acqua e quella irradiata dal sole, escludendo l'assorbimento atmosferico.

Questo dato si può ottenere da dati L1 MSI, per esempio, con l'uso di processori standard

specifici per l'ambiente marino per la correzione atmosferica distribuiti da ESA (Sen2Cor, SNAP). Dalle mappe di ρ_w è stato possibile identificare le anomalie radiometriche, in particolare le riduzioni di ρ_w , utili a determinare l'areale di distribuzione del *plume* in ambiente acquatico, originato dallo sversamento di materiale inquinante in prossimità della foce del canale Agnena, e monitorarne la sua evoluzione nel tempo. Dopo aver processato le immagini con un algoritmo di correzione atmosferica per target radiometrico acquatico denominato C2RCC (Brockmann et al. 2016), l'identificazione delle anomalie radiometriche nelle immagini è stata effettuata

utilizzando una metodologia basata sull'impiego di un campo di riferimento. Si stima quindi il valore di assorbimento $\Delta\rho_w$ dal calcolo della differenza radiometrica tra il valore ρ_w nei pixel dell'immagine e un valore ρ_{wRef} di riferimento secondo la formula $\Delta\rho_w = \rho_w - \rho_{wRef}$. Il valore di riferimento è stato selezionato sulla base del criterio di vicinanza geografica, identificato a partire dal valore dai pixel nell'intorno spaziale dell'area interessata dalla dispersione del *plume*. L'anomalia radiometrica dovuta al passaggio del *plume* scuro corrisponde a valori negativi di $\Delta\rho_w$, calcolati dalla differenza con il valore ρ_{wRef} di riferimento, determinando quindi un'attenuazione

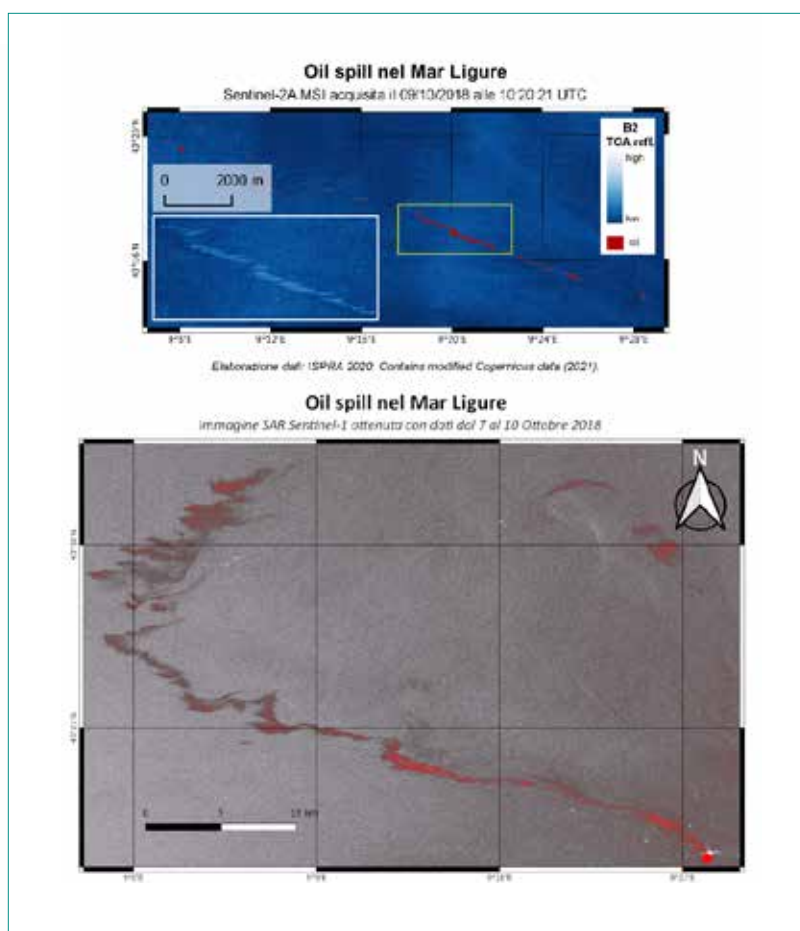


Fig. 4. Rilevazione di sversamento di carburante avvenuta il 7/10/2018 a largo della Corsica mediante l'applicazione di prodotti satellitari dal sensore MSI di Sentinel-2 (pannello superiore) e dal sensore SAR di Sentinel-1, con l'indicazione (punto rosso, in basso a destra) del luogo dell'incidente (pannello inferiore).

radiometrica. Allo scopo di garantire maggiore robustezza nella stima quantitativa, il calcolo di $\Delta\rho_w$ è stato effettuato a partire da due bande spettrali. Un esempio del risultato dell'elaborazione è riportato nella Figura 2 che mostra, per il giorno 05/05/2020, l'immagine *true color* e l'attenuazione radiometrica (anomalia) ricavata dall'analisi dei dati del *Sentinel-2A* MSI. È visibile il *plume* che

abbraccia la foce del canale Agnena e si distribuisce lungo la costa. La forma simmetrica del *plume* intorno alla foce, stante le condizioni meteo-marine, è associata ad uno sversamento prolungato continuamente nel tempo in assenza di correnti locali e di vento, come osservato presso le stazioni della rete mareografica nazionale di ISPRA nei giorni dell'evento.

Gestione delle emergenze ambientali in ambito terrestre: l'incendio alla periferia di Roma del 9 luglio 2022

Il CSA, il giorno 9 luglio 2022, si è attivato per seguire la dispersione in atmosfera di una nube (*plume* atmosferico) generata dall'incendio avvenuto in località Centocelle, un quartiere periferico di Roma. Per monitorare l'evento sono state utilizzati i dati SEVIRI del *Meteosat Second Generation* (MSG2-10) *rapid scan* con frequenza a cinque minuti, con una tecnica di analisi basata sull'individuazione di anomalie radiometriche riconducibili a nubi di materiale in sospensione di origine artificiale. Dai dati acquisiti dal sensore ottico multispettrale SEVIRI (maggiori informazioni sullo strumento SEVIRI sono descritte in Schmetz et al. 2002), ricevuti ed elaborati dalla stazione di ricezione di ISPRA, è stato possibile individuare le anomalie radiometriche nelle bande spettrali alla lunghezza d'onda del visibile e infrarosso vicino (0.635, 0.81, 1.64 e canale HRV).

L'identificazione delle anomalie radiometriche dalle immagini SEVIRI è stata effettuata utilizzando una metodologia basata sul confronto tra le immagini dell'evento e un'immagine di riferimento acquisita prima che l'evento si verificasse (Kluser et al. 2008). I valori negativi riscontrati sono corrispondenti alla presenza del *plume* atmosferico. Dall'analisi delle attenuazioni radiometriche riscontrate dal processamento delle immagini è stato possibile individuare l'estensione e lo spostamento della nube prodotta dall'incendio di depositi di autovetture in fase di demolizione. In Figura 3, viene mostrata l'evoluzione temporale del *plume* atmosferico a partire dalle 18:45 fino alle

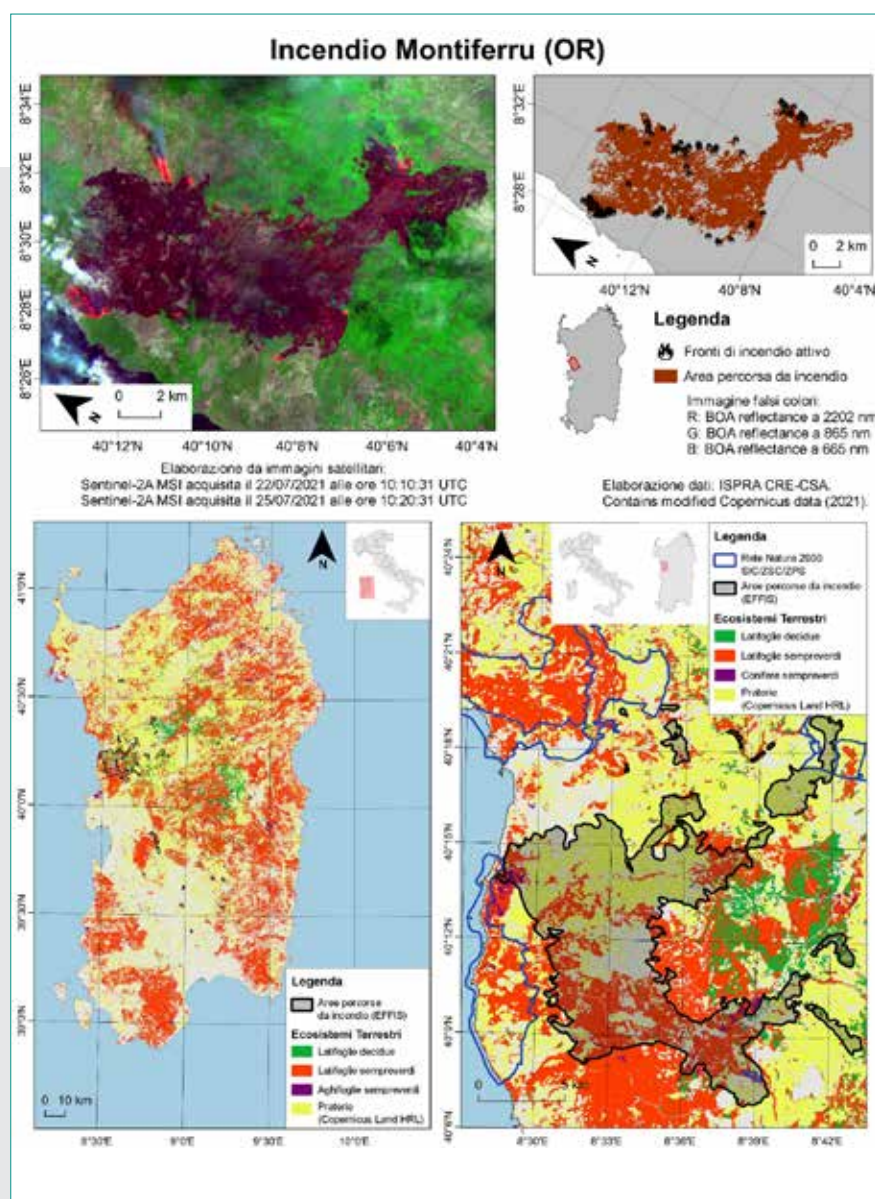


Fig. 5. Rilevazione dell'incendio di Montiferru del 25 luglio 2021 come visto dal sensore MSI di Sentinel-2 (pannello in alto a sinistra) e l'elaborazione per ottenere i fronti di incendio (pannello in alto a destra), superficie percorsa da incendio (aree in grigio) e distribuzione degli ecosistemi terrestri (aree colorate) nel caso dell'incendio di Montiferru occorso tra il 23 e 30 luglio del 2021 in Sardegna (pannelli in basso).

19:30 con mappe aggiornate ogni 15 minuti.

Gestione delle emergenze ambientali in ambito marino: individuazione sversamento di olio combustibile nel Mare Ligure

Il 7 ottobre 2018 è avvenuta una collisione tra la motonave Ulisse e la nave portacontainer Cls Virginia al largo della Corsica. L'incidente ha provocato la fuoriuscita di centinaia di metri cubi di 'fuel oil' (olio carburante) dalla portacontainer, che ha prodotto una chiazza che si è estesa in mare per circa venti chilometri. Il Centro ha utilizzato per la caratterizzazione dello sversamento in mare di olii combustibili (*oil spill*) sia analisi basate su dati spettrali provenienti dal MSI *Sentinel-2* che dal radar SAR *Sentinel-1*. Le sostanze oleose galleggianti mostrano una risposta radiometrica e meccanica differente da quella tipica della superficie d'acqua, soprattutto alle lunghezze d'onda del visibile e vicino infrarosso, che può consen-

tire l'individuazione dell'area di dispersione e in certe circostanze la stima dello spessore delle sostanze oleose galleggianti. In Figura 4 vengono mostrati i risultati ottenuti dalla rilevazione di una macchia di carburante fuoriuscito dai serbatoi di una delle motonavi speronata nel Mar Ligure.

Gestione delle emergenze ambientali in ambito terrestre: monitoraggio incendi boschivi, il caso di Montiferru (provincia di Oristano)

A seguito dell'innescio di numerosi incendi nel mese di luglio 2021, il CSA ha generato prodotti di sorveglianza ambientale a supporto delle attività di contrasto agli incendi operate dal Dipartimento di Protezione Civile e Regione Sardegna. Gli elaborati cartografici sono stati generati a partire da dati ottici multispettrali ad elevata risoluzione spaziale acquisiti dal sensore MSI *Sentinel-2*, dal sensore *Enhanced Thematic Mapper Plus Landsat-7* e da sensore OLI *Landsat-8*. I dataset sono stati

ottenuti dai cataloghi *Copernicus Sentinel Hub* ed EROS quando disponibili, tipicamente nella finestra temporale di 3-6 ore dopo l'orario di acquisizione dello strumento.

Il Centro ha fornito al SNPC elaborati cartografici relativi alla localizzazione dei fronti di fuoco attivi e alla perimetrazione delle aree percorse da fuoco, in diverse fasi di evoluzione degli eventi incendiari, allo scopo di fornire informazioni per il monitoraggio dell'avanzamento dei fronti di fiamma e supportare il coordinamento delle operazioni di spegnimento con l'utilizzo anche dei mezzi aerei.

Le aree caratterizzate da fronti di fuoco attivo dell'incendio sono state individuate attraverso l'utilizzo delle bande spettrali nell'intervallo radiometrico dell'infrarosso a onde corte, che registra valori di radianza elevati in caso di emissività dovuta alla presenza fiamme. Le aree percorse da incendio sono state identificate attraverso la comparazione dei valori di diversi

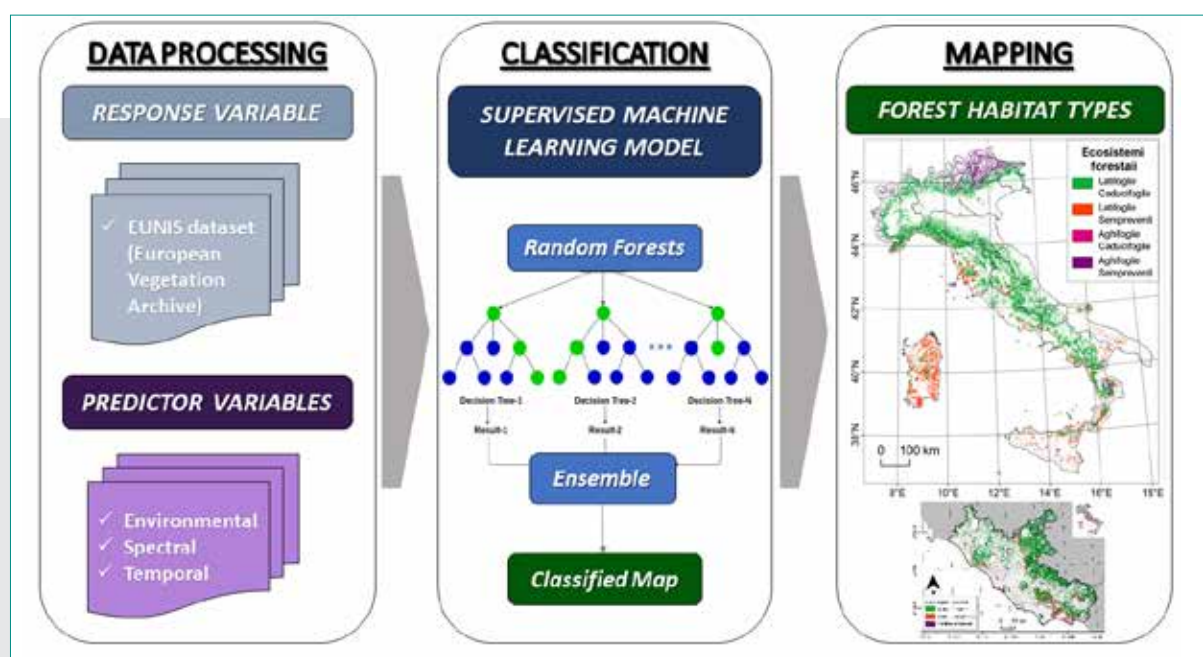


FIG. 6. Struttura di elaborazione per la mappatura degli ecosistemi forestali Ecosystem Classification Model - ECM-F4. Scelta delle variabili (pannello di sinistra), algoritmo di classificazione (pannello centrale) e risultato a scala nazionale ed a scala locale: la regione Lazio (pannello di destra).

indici spettrali, calcolati come differenza tra l'acquisizione satellitare in corso evento (o post-evento) e l'acquisizione satellitare prima dell'evento. I valori di differenza tra gli indici spettrali, selezionati sulla base della risposta radiometrica caratteristica delle aree percorse da incendio sono stati combinati attraverso l'impiego di un *Agreement Index* (Smiraglia et al. 2020). La selezione effettuata da operatori esperti degli indici spettrali più adatti per ciascuna acquisizione satellitare, con bande spettrali affette in maniera minore dalla presenza di aerosol atmosferico, ha consentito in alcuni casi l'individuazione della superficie percorsa da incendio in aree caratterizzate dalla presenza di *plume* atmosferico generato dalla combustione della vegetazione. Inoltre, le informazioni relative alle aree percorse da incendio sono state integrate con

informazioni tematiche relative alla presenza di aree protette e le coperture vegetali derivate da specifici prodotti di mappatura. Come riportato in Figura 5, sono mostrati gli elaborati cartografici relativi a fronti di fiamma attivi e aree percorse da fuoco, dell'incendio avvenuto nell'area di Montiferru (provincia di Nuoro) nel periodo 23-30 luglio 2021, generati a partire dall'analisi di acquisizioni satellitari *Sentinel-2* MSI. Come analisi post-evento sono state analizzate le coperture vegetali bruciate dall'incendio sulla base della classificazione degli habitat con il metodo descritto nel paragrafo successivo.

Supporto alle crisi ambientali: superficie boschiva percorsa da incendi in Italia

Fornire esplicite informazioni spaziali riguardanti i diversi tipi di ecosistemi permette di

supportare una buona gestione delle foreste e di prendere delle decisioni bilanciate in termini di sostenibilità. Le foreste forniscono legname per attività industriale, luoghi per attività turistico-ricreative, permettono il sequestro dell'anidride carbonica, sono funzionali alla tutela della biodiversità, e riducono il rischio dovuto a valanghe o frane. Diventa così indispensabile la conservazione del patrimonio boschivo nazionale.

Il CSA ha sviluppato un sistema per la stima delle superfici di ecosistemi forestali presenti nelle aree percorse da incendi. Al fine di poter valutare gli effetti sugli ecosistemi forestali degli incendi boschivi in Italia è stato in primo luogo necessario mappare la superficie degli ecosistemi boschivi e forestali. Il Centro, a tale scopo, ha sviluppato un modello *ad hoc* di classificazione basato su metodi di machine learning. In questo modello le classi forestali da classificare sono ottenute da un geo-database di presenze di ecosistemi forestali e il set di variabili di predizione sono variabili ambientali relative alle caratteristiche geomorfologiche, climatiche e spettrali (es. indici di vigoria vegetale). Queste ultime sono state ottenute da dati ottici multispettrali ad elevata risoluzione spaziale acquisiti dal sensore MSI *Sentinel-2*. L'insieme dei dati predittori è stato usato per calibrare un modello con algoritmo *Random Forest* (Breiman2001) ed individuare così la relazione con la variabile di risposta che definisce le varie classi di ecosistemi forestali (Agrillo et al. 2021). Il modello permette di classificare le foreste italiane in 4 tipologie, latifoglie decidue (T1), latifoglie sempreverdi (T2), aghifoglie semprever-

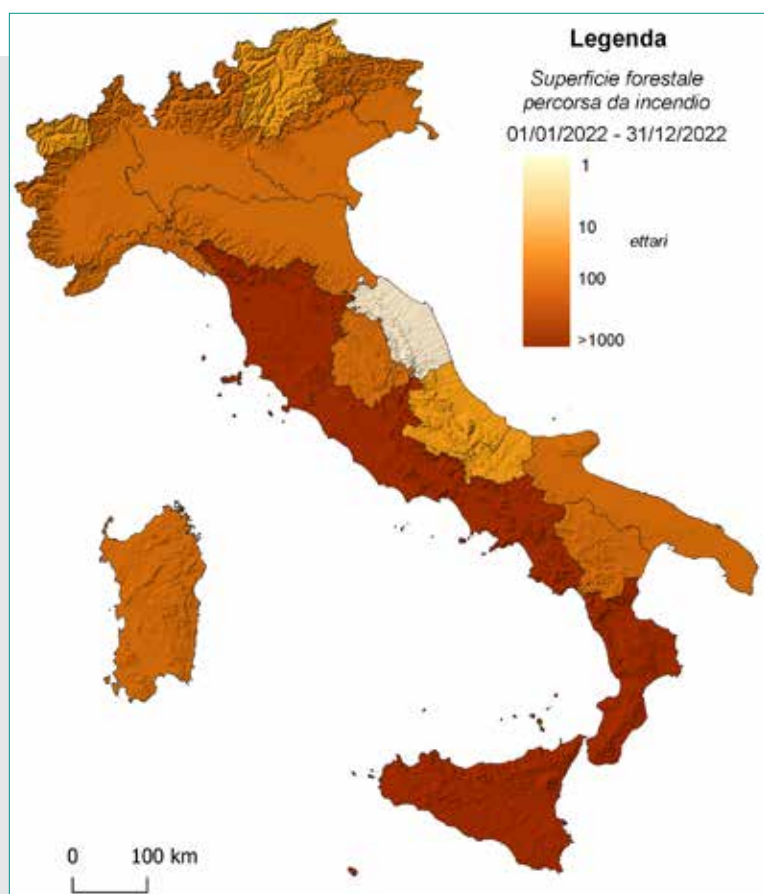


Fig. 7. Distribuzione spaziale degli incendi nel 2022 su base regionale.

di (T3) e aghifoglie decidue (T34). Il prodotto di classificazione ottenuto è stato definito *Ecosystem Classification Model* - ECM-F4. La Figura 6 mostra, in forma sintetica, le fasi di elaborazione che permettono la realizzazione del prodotto di classificazione degli ecosistemi forestali sul territorio italiano. Il secondo elemento del sistema è la distribuzione spaziotemporale delle superfici incendiate basata sui prodotti del catalogo europeo in ambito *Copernicus-Emergency* denominato *European Forest Fires Information System* (EFFIS, San-Miguel-Ayán 2012), sviluppato grazie alle risorse dell'Unione Europea che si sta impegnando da tempo per proteggere le

foreste continentali e renderle più resilienti contro i rischi dettati dagli incendi. Il CSA ha sviluppato una procedura per definire la stima delle superfici boschive incendiate annualmente e stagionalmente per l'Italia. La sovrapposizione tra le informazioni sulle aree interessate da incendio distribuite da EFFIS e le informazioni fornite dal prodotto ECM-F4 per le stesse aree, permette di ottenere le informazioni sulle superfici degli ecosistemi forestali che sono stati interessati dagli incendi a livello nazionale, regionale, comunale e nelle aree protette. Queste informazioni vengono elaborate e collezionate all'interno di un database relativo alle aree percorse da incendio

Burnt Areas Database (BAD). I dati vengono collezionati giornalmente e messi a sistema con altri dataset spazializzati, permettendo il monitoraggio delle aree percorse da incendio in tempo quasi reale (in termini di superficie bruciata) e delle relative componenti naturali (ecosistemi) a diverse scale amministrative (comunali, provinciali, regionali e nazionali). Un esempio di questa applicazione sono le statistiche prodotte per l'anno 2022, anno in cui in Italia hanno bruciato più di 68000 ettari di superficie, di cui oltre il 20% appartenente alle coperture forestali. La Figura 7 mostra la superficie percorsa da incendio nel 2022 su base regionale.

SITOGRAFIA

1. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/Crisi-Emergenze-ambientali-e-Danno/centro-operativo-per-la-sorveglianza-ambientale/bollettino-meteo-marino-giornaliero>
2. https://www.isprambiente.gov.it/pre_mare/coastal_system/maps/first.html
3. <https://www.dlr.de/eoc/en/>
4. <https://www.ipsl.fr/>
5. https://www.esa.int/About_Us/ESRIN
6. <https://emergency.copernicus.eu/>

BIBLIOGRAFIA

- Agrillo, E., Filippini, F., Pezzarossa, A., Casella, L., Smiraglia, D., Orasi, A., Attorre, F., Taramelli, A. (2021) Earth Observation and Biodiversity Big Data for Forest Habitat Types Classification and Mapping. *Remote Sens.* 13, 1231. <https://doi.org/10.3390/rs13071231>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Kerstin, S., Embacher, S., Ruescas, A. (2016) Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. *Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic*. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3, p.54.
- Cumbane, S.P., Gidófalvi, G. (2019) Review of Big Data and Processing Frameworks for Disaster Response Applications. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019, 8, 387. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090387>
- Klüser, L., Rosenfeld, D., Macke, A., and Holzer-Popp, T. (2008) Observations of

- shallow convective clouds generated by solar heating of dark smoke plumes, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 2833-2840, <https://doi.org/10.5194/acp-8-2833-2008>.
- Lindner M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M. (2010) Climate Change Impacts, Adaptive Capacity, and Vulnerability of European Forest Ecosystems. *For. Ecol. Manag.* 259, 698-709.
- San-Miguel-Ayán, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G., Amatulli, G. Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS) (2012). In *Approaches to Managing Disaster-Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts*, Tiefenbacher, J.P., Ed., IntechOpen: London, UK, 2012, Chapter 5, Available online: <https://ec.europa.eu/environment/forests/pdf/InTech.pdf>
- Schmetz, J., Pili, P., Tjemkes, S., Just, D., Kerkmann J., Rota, S., Ratier, A. (2002). An introduction to meteosat second generation (MSG), *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 977-992.
- Smiraglia, D., Filippini, F., Mandrone, S., Tornato, A., Taramelli, A. (2020) Agreement Index for Burned Area Mapping: Integration of Multiple Spectral Indices Using Sentinel-2 Satellite Images. *Remote Sens.* 12, 1862. <https://doi.org/10.3390/rs12111862>

PAROLE CHIAVE

SORVEGLIANZA AMBIENTALE; OSSERVAZIONE DELLA TERRA; OSSERVAZIONE DALLO SPAZIO; AMBIENTE; INCENDI

ABSTRACT

Some environmental critical situations such as air and water pollution, forest fires

and exceptional Mediterranean cyclones are presented to highlight the importance of Earth Observation (EO) techniques for environmental protection and monitoring. Methods based on EO and the use of machine learning techniques for land, marine and air quality observations are operationally implemented by the CSA (Centro operativo di Sorveglianza Ambientale) at ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) to provide support for environmental protection and in the event of environmental crisis or emergency.

AUTORE

EMILIANO AGRILLO
CSA, CN-CRE, ISPRA,
EMILIANO.AGRILLO@ISPRAMBIENTE.IT

FEDERICO FILIPPINI
CSA, CN-CRE, ISPRA,
FEDERICO.FILIPPINI@ISPRAMBIENTE.IT

ROBERTO INGHILESI
CSA, CN-CRE, ISPRA,
ROBERTO.INGHILESI@ISPRAMBIENTE.IT

ALESSANDRO MERCATINI
CSA, CN-CRE, ISPRA,
ALESSANDRO.MERCATINI@ISPRAMBIENTE.IT

ALICE PEZZAROSSA
CSA, CN-CRE, ISPRA, ALICE.PEZZAROSSA@ISPRAMBIENTE.IT

NAZARIO TARTAGLIONE CSA, CN-CRE, ISPRA,
NAZARIO.TARTAGLIONE@ISPRAMBIENTE.IT