



40 ANNI DI TELERILEVAMENTO IN ITALIA:

dalle prime immagini satellitari alle nuove
frontiere della GeoAI - Dati, Prodotti, Servizi EO

Bologna - 17 e 18 giugno 2026

4



**40 ANNI DI TELERILEVAMENTO IN ITALIA:
dalle prime immagini satellitari alle nuove
frontiere della GeoAI - Dati, Prodotti, Servizi EO**

Bologna - 17 e 18 giugno 2026

2026 ENEA

Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile

A cura di

Elena Candigliota

*Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al cambiamento Climatico
dei Sistemi Produttivi e Territoriali - Divisione Impatti Antropici e del cambiamento
climatico sul Territorio - Laboratorio Tecnologie per la Salvaguardia del Patrimonio
Architettonico e Culturale*

Cover Design e progetto grafico: Alessia Russolillo

*In copertina, come base per l'elaborazione grafica: Picture of Earth from
the Orion spacecraft's window on April 2, 2026, after completing the translunar
injection burn | Image Credit: NASA/Reid Wiseman*

*Si ringrazia la FONDAZIONE DEL MONTE - Bologna per la concessione
dell'uso gratuito dell'Oratorio di San Filippo Neri*

ISBN 978-88-8286-542-9



40 ANNI DI TELERILEVAMENTO IN ITALIA:

**dalle prime immagini satellitari alle nuove
frontiere della GeoAI - Dati, Prodotti, Servizi EO**

Bologna - 17 e 18 giugno 2026

*A cura di
Elena Candigliota*

*Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento
Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali - Divisione Impatti Antropici
e del Cambiamento Climatico sul Territorio - Laboratorio Tecnologie per la
Salvaguardia del Patrimonio Architettonico e Culturale*

CON IL PATROCINIO DI _____



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE,
CHIMICA, AMBIENTALE
E DEI MATERIALI



SPONSOR _____

SOMO2
A Neosperience Company

ATLHAS

N|V|5

planetek
italia

Premessa

Negli ultimi 40 anni i dati satellitari hanno contribuito alla conoscenza sempre più dettagliata della superficie terrestre con applicazioni verticali che abbracciano differenti campi di conoscenza scientifica: geologia, prospezione mineraria, ingegneria, agricoltura, uso del suolo, risorse idriche. I dati sono diventati sempre più attendibili e validi per le diverse applicazioni (Tipologie e Processing, Servizi EO, Prodotti).

In questo contesto il Workshop Tematico 2026, organizzato da ENEA e AIT (Associazione Italiana di Telerilevamento), vuole presentare tale evoluzione nel tempo coinvolgendo differenti discipline e user finali, quali accademici, tecnici governativi, professionisti e aziende.

COMITATO SCIENTIFICO:

Gabriele Bitelli (UNIBO)

Enrico Borgogno Mondino (AIT)

Elena Candigliota (ENEA)

Gherardo Chirici (UNIFI)

Maria Antonietta Dessena (ENAS)

Emanuele Mandanici (UNIBO)

Maria Teresa Melis (UNICA)

Fabio Giulio Tonolo (POLITO)

COMITATO ORGANIZZATORE:

Gabriele Bitelli (UNIBO)

Enrico Borgogno Mondino (AIT)

Elena Candigliota (ENEA)

Referente REL-EVENTI:

Cristina Sanna (ENEA)

Sommario

- pag. 10 **Investigating climate-phenology relationships among the most common Italian forest species using Sentinel-2-derived vegetation phenology and productivity products**
Elia Vangi, Giovanni D'Amico, Vincenzo Saponaro, Mattia Niccoli, Gioele Tiberi, Saverio Francini, Costanza Borghi, Alessio Collalti, Francesco Parisi, Gherardo Chirici
- pag. 12 **Confronto tra dataset climatici aperti per applicazioni in agricoltura: disallineamenti geometrici, semantici e bias geografici**
Alessandro Vitale, Francesco Lamonaca, Enrico Corrado, Borgogno Mondino
- pag. 14 **Il lago di Garda come caso di studio per il telerilevamento per la qualità delle acque**
Claudia Giardino, Mariano Bresciani, Alice Fabbretto, Raffaella M. Frank, Nicola Ghirardi, Anne J. Greife, Lodovica Panizza, Andrea Pellegrino, Salvatore Mangano, Monica Pinardi
- pag. 17 **Development and Preliminary Validation of a Miniaturized NIR Spectroscopic CubeSat Payload prototype for Environmental Monitoring Applications in the SMAL-SAT project**
Dario Modenini, Emanuele Mandanici, Sonia Melandri, Alessandro Lotti, Daniele Pecorella, Fufei Sun, Paul Pinillos, Antonio Iaconianni
- pag. 19 **Preliminary analysis of the Chogo Lungma debris covered glacier using EnMAP data**
Marco Casu, Claudia Collu, Davide Fugazza, Ilaria Nobile, Francesco Dessi, Maria Teresa Melis
- pag. 23 **Risultati preliminari sulla classificazione con approccio ad oggetti della città di Bologna per la determinazione delle Local Climate Zones**
Gabriele Lo Grasso, Sveva Annamaria Ellenia Giovannetti, Emanuele Mandanici, Gabriele Bitelli
- pag. 25 **Il ruolo dei dati satellitari multi-sensore di Land Surface Temperature a supporto delle strategie di greening. Il caso di Ouagadougou, Burkina Faso**
Elena Corona, Fabio Giulio Tonolo, Elena Belcore, Roberto Fontana
- pag. 28 **Pixel Mixture Issue in Vineyard Mapping from Satellite. A Possible Solution Based on Sentinel-2 Imagery and Local Least Squares**
De Petris S., Sarvia F., Parizia F., Ghilardi F., Farbo A., Borgogno-Mondino E.

pag. 29

Dal dato satellitare al servizio operativo: ImageryPack come modello per l'accesso continuo e integrato ai dati di Osservazione della Terra

Daniela Valentino, Francesca Albanese

pag. 32

Robust Satellite Techniques (RST) for real-time monitoring of natural, environmental and man-made hazards

Valerio Tramutoli

pag. 35

L'Evoluzione della Costellazione COSMO-SkyMed

Maria Virelli, Deodato Tapete, Silvia Natalucci

pag. 38

Karst wild fires impact mapping using SENTINEL 2 and NASA ECOSTRESS data in QGIS

Raffaella Cefalo, Blaž Barborič, Martin Puhar, Fikrey Tesfay Tewelde

pag. 41

Quantifying and Mapping Climate-Dependent Uncertainty in FAO-56 Reference Evapotranspiration: Implications for Agricultural Water Management

Edoardo Ronco, Samuele De Petris, Enrico Borgogno Mondino

pag. 42

The New Italian National Forest Inventory: Integrating Design-Based Inference and Remote Sensing for Forest Monitoring and Mapping

Giovanni D'Amico, Elia Vangi, Costanza Borghi, Davide Travaglini, Saverio Francini, Caterina Pisani, Lorenzo Fattorini, Sara Franceschi, Marzia Marcheselli, Walter Mattioli, Giancarlo Papitto, Piermaria Corona, Gherardo Chirici

pag. 44

Ricostruzione della mappa di temperatura superficiale a scala più fine in ambito urbano mediante Machine Learning

Marco Ventura, Emanuele Mandanici, Gabriele Bitelli

pag. 46

Microwave remote sensing applications to natural surfaces: history and latest developments of the research

Simonetta Paloscia, Emanuele Santi, Simone Pettinato, Paolo Pampaloni



pag. 48

La space economy italiana nell'era di IRIDE - dati, servizi e valore pubblico

Marco Di Fonzo

pag. 50

Machine Learning Applications for High-Resolution Mapping of Soil Moisture from AMSR2 and Sentinel-1.

Emanuele Santi, Simonetta Paloscia, Simone Pettinato, Fabrizio Baroni, Giacomo Fontanelli, Leonardo Santurri

pag. 53

A GIS Platform based on Satellite Data and High-Performance Computing to Support Hydrogeological Risk Management in the Po Basin

Mohammed Hammouti, Marco Zazzeri, Simone Sterlacchini, Thaina Correa Da Mota, Tommaso Simonelli, Marco Mazzanti, Massimo Pancaldi, Margherita Agostini, Simone Bizzi, Martina Cecchetto, Matteo Berti, Francesco Brardinoni, Alessandro Corsini, Melissa Tondo, Vincenzo Critelli, Marco Mulas, Laura Candela, and Luigi D'Amato

pag. 54

Applicazioni del telerilevamento per il monitoraggio di ecosistemi acquatici: il caso studio del Lago di Varese

Alessandro Q. Scotti, Paolo Villa, Mariano Bresciani, Monica Pinardi, Claudia Giardino

pag. 56

AI-Based Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series for Natural Surface Monitoring and Water Mapping

Francesco Mauro, Luigi Russo, Alessandro Sebastianelli, Paolo Gamba, Silvia Liberata Ullo, presenter

pag. 58

From Visual Interpretation to Multi-Source Data: The Evolution of Land Cover Classification Techniques with a Case Study in Sardinia

Hugo Iker Gael Gómez Díez, Claudia Collu, Dario Simonetti, Francesco Dessi, Paolo Botti, Pasquale Lasio, Maria Teresa Melis

pag. 61

Dati digitali certificati spazio-temporalmente tramite autenticazione GNSS Galileo: Il Sistema ATLAS

Michele Donatacci, Gabriele Amendola, Luca Amendola, Jaume Cunill, Livio Rossi

pag. 63

La diversità come motore di innovazione: il paradigma Space and Blue

Maria Libera Battagliere

pag. 65

Space Economy: Diversità e ruolo delle donne

Annamaria Nassisi

pag. 68

Women in space: il divario nei ruoli hands-on e nelle start-up!

Vittoria Di Palma

pag. 71

Ingegnera Aerospaziale...questa sconosciuta!

Ing. Barbara Orsola

pag. 74

Forecasting Services Platform for Algae Blooms in Sardinian reservoirs and its implementation

M. A. Dessena, A. Fadda, A. Viridis, A. Tzimas, E. Romas, C. Giardino, M. Bresciani

pag. 78

Estimation of actual evapotranspiration by remote sensing; methodological developments and prospects

Marta Chiesi, Luca Fibbi, Bernardo Rapi, Maurizio Pieri, Fabio Maselli

pag. 81

Enhancing a satellite-derived isoradiometric method for shoreline monitoring and coastal squeeze assessment

Pedro A. Garzo, Antonino Maltese, Attilio Sulli, Alejandra Merlotto, Germán R. Bértola

pag. 84

Assessing the catastrophic reactivation of a large Northern Apennine landslide with space borne radar interferometry

Silvia Franceschini, Benedikt Bayer, Alessandro Simoni

pag. 87

Generation of a Global Reference fire perimeter from PlanetScope Images to validate the regional and global burned area dataset

Forough Rajabi, Bhogendra Mishra, Rana Hassanpour Pestehbeiglou, Martin Brandt, Siyu Liu, M. Lucrecia Pettinari, E. Chuvieco, Daniela Stroppiana, Clément Albergel

Investigating climate-phenology relationships among the most common Italian forest species using Sentinel-2-derived vegetation phenology and productivity products

Elia Vangi^{1,2*}, Giovanni D'Amico¹, Vincenzo Saponaro^{2,3}, Mattia Niccoli¹, Gioele Tiberi⁴, Saverio Francini⁵, Costanza Borghi¹, Alessio Collalti², Francesco Parisi^{6,7}, Gherardo Chirici^{1,8}

¹ geoLAB - Laboratory of Forest Geomatics, Dept. of Agriculture, Food, Environment and Forestry, Università degli Studi di Firenze, Via San Bonaventura 13, 50145 Firenze, Italy;

² Forest Modelling Laboratory, Institute for Agriculture and Forestry Systems in the Mediterranean, National Research Council of Italy (CNR-ISAFOM), Via Madonna Alta 128, 06128, Perugia, Italy;

³ Faculty of Agricultural, Environmental and Food Sciences, Free University of Bozen-Bolzano, Piazza Università/Universitätsplatz, Bolzano 39100, Italy;

⁴ Department of Architecture (DIDA), University of Florence, Via della Mattonaia 8, 50121 Florence, Italy

⁵ Department of Science and Technology of Agriculture and Environment (DISTAL), University of Bologna, 40126 Bologna, Italy;

⁶ Department of Biosciences and Territory, University of Molise, Contrada Fonte Lappone, 86090 Pesche (Is), Italy;

⁷ NBFC, National Biodiversity Future Center, Palermo 90133, Italy.

⁸ Fondazione Per Il Futuro Delle Citta, Florence, Italy

*corresponding author: [Elia Vangi: elia.vangi@unifi.it](mailto:elia.vangi@unifi.it)

Keywords

National Forest Inventory, phenology, remote sensing, SHAP, Copernicus, Machine learning



Climate change is profoundly altering forest phenology and productivity across Europe, with particularly strong impacts in Mediterranean regions characterized by high climatic and environmental heterogeneity. Understanding the relationships between climatic variables, topographic factors, and phenological dynamics is essential for predicting ecosystem responses to global change and improving estimates of forest contributions to the carbon cycle. In this context, the present study investigates climate-phenology-productivity relationships among the most widespread Italian forest species using high-resolution Sentinel-2-derived vegetation products combined with machine learning and explainable artificial intelligence (XAI) approaches.

The study is based on the High Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HRVPP) products developed within the Copernicus Land Monitoring Service.

These products provide vegetation phenology metrics at 10 m spatial resolution and 5-day temporal frequency using the Plant Phenology Index (PPI), which is strongly correlated with Leaf Area Index (LAI). The HRVPP dataset allows the extraction of several phenological parameters, including the Start of Season (SOSD), End of Season (EOSD), Length of Season (LOS), and Total Seasonal Productivity (TPROD).

These remote sensing products were integrated with field information from the Italian National Forest Inventory (NFI) and climate variables derived from the ERA5 downscaled reanalysis for the 2017–2023 period.

A total of 2453 forest plots belonging to 10 dominant tree species distributed across Mediterranean, temperate, and mountain environments were analyzed.

For each plot, phenological parameters, 176 climatic metrics, and topographic variables (elevation, slope, aspect, latitude, and distance from the sea) were ex-

tracted. To evaluate the relative importance of environmental and climatic drivers, Random Forest models coupled with the VSURF variable selection procedure were applied. Model interpretation was further enhanced using SHAP (SHapley Additive Explanations), which quantifies each predictor's contribution to the modeled phenological response.

The results demonstrate that a complex interaction among temperature, water availability, radiation, and local topographic conditions controls forest phenology. Climatic variables emerged as the dominant predictors for most phenological metrics, particularly winter and spring temperature variables, precipitation, solar radiation, and vapor pressure deficit (VPD).

Elevation and slope also played a crucial role, especially for mountain species such as *Larix decidua*, *Picea abies*, and *Fagus sylvatica*, highlighting the influence of local microclimatic gradients on phenological dynamics.

The Start of Season (SOSD) was primarily regulated by winter chilling accumulation and spring thermal forcing. Warmer winter and spring conditions advanced the onset of the growing season by approximately 1–10 days across species. Minimum temperatures during January and February emerged as particularly influential, confirming the importance of chilling processes in budburst regulation. When additional climatic factors, such as radiation and moisture availability, were considered, the growing season could be extended by 20–30 days for several species. Mediterranean oak species exhibited more complex and plastic responses, suggesting the coexistence of multiple interacting climatic controls. In contrast, End of Season (EOSD) and Length of Season (LOS) were more strongly regulated by water availability, atmospheric moisture demand, and radiation-related variables than by temperature alone. Summer drought conditions, high vapor pressure deficit, and unfavorable site exposure could advance EOSD by up to 40 days in Mediterranean species such as *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*, and *Pinus halepensis*.

Mediterranean species often displayed compensatory shifts between earlier spring onset and earlier senescence, maintaining relatively stable season lengths

despite climatic stress. Conversely, mountain species showed stronger coupling between delayed spring onset and shorter growing seasons, reflecting stronger thermal limitations. The relationship between phenology and productivity proved to be highly nonlinear and frequently decoupled. Earlier spring onset or longer growing seasons did not always correspond to increased productivity.

Total Seasonal Productivity (TPROD) was mainly controlled by energy and water availability rather than phenological timing itself. In Mediterranean species, productivity strongly depended on precipitation distribution, solar radiation, and seasonal warming dynamics, often exhibiting threshold responses beyond which climatic conditions became limiting. Mountain species, on the other hand, showed productivity patterns largely constrained by elevation and temperature regimes.

The study highlights the substantial potential of integrating high-resolution remote sensing products with machine learning and XAI methods to investigate forest phenology across broad environmental gradients. Compared with traditional coarse-resolution datasets, the HRVPP products provide improved capability for species-level phenological analyses and ecosystem monitoring. At the same time, the research emphasizes the complexity of autumn phenology and productivity dynamics, which are influenced not only by climate but also by physiological processes, legacy effects, disturbance history, and local environmental conditions.

Overall, the findings suggest that future warming will likely continue to advance spring phenology across Italian forests, while responses in autumn phenology, season length, and productivity will remain highly species- and site-specific, particularly in water-limited Mediterranean ecosystems. These results have important implications for predicting forest responses to climate change, improving dynamic vegetation models, and supporting carbon accounting and ecosystem monitoring strategies at national and continental scales.

Confronto tra dataset climatici aperti per applicazioni in agricoltura: disallineamenti geometrici, semantici e bias geografici

Alessandro Vitale², Francesco Lamonaca^{2,3}, Enrico Corrado Borgogno Mondino⁴

¹Dipartimento di Ingegneria Civile, Università della Calabria, Rende (CS) - alessandro.vitale@unical.it

²Dipartimento DIMES, Università della Calabria, Rende (CS)

³CNR-NANOTEC, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rende (CS) - f.lamonaca@dimes.unical.it

⁴Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino, Grugliasco (TO), Italia, - enrico.borgogno@unito.it

Keywords

Telerilevamento; Agricoltura di precisione; Metrologia Geospaziale; Dataset Climatici raster; ERA5-Land; TerraClimate; Analisi dell'Incertezza



1. INTRODUZIONE ED OBIETTIVI

I dataset climatici raster sono oggi una fonte di informazioni molto utilizzata in agricoltura. Tali dati forniscono una copertura globale, realizzata con passo regolare, di stime relative alle principali grandezze meteo-climatiche (temperatura, precipitazione, evapotraspirazione, vento, etc.) in grado di superare alcuni limiti operativi propri delle misure da reti di stazioni meteorologiche. Le principali differenze tra le due fonti di dati sono le seguenti: (i) le prime sono stime (ottenute con processi inferenziali o di calcolo) mentre le seconde sono misure dirette; (ii) le prime realizzano una copertura globale e regolare mentre le seconde afferiscono a reti irregolarmente distribuite sul territorio e, generalmente, poco dense; (iii) le prime forniscono stime di comportamenti medi relativi ad aree (spesso di qualche km²), mentre le seconde forniscono misure puntuali, nativamente prive di una valenza di rappresentanza areale [1-3].

I dataset climatici raster disponibili apertamente all'utenza vengono rilasciati da soggetti diversi evidenziando significative differenze di risoluzione geometrica, di origine del reticolo di campionamento (sfasamento delle celle), di sistema di coordinate, delle procedure modellistiche alla base delle stime, di definizione fisica delle variabili. Tali differenze possono generare disallineamenti geometrici e semantici, con effetti non trascurabili sul valore di quelle grandezze più sensibili alla scala cartografica quali: (i) precipitazione, (ii) evapotraspirazione potenziale e (iii) temperature minime e massime [4]. In questo lavoro si propone una possibile

metodologia utile a valutare la compatibilità metrologica tra due dei dataset climatici maggiormente utilizzati, nello specifico ERA5-Land e TerraClimate. La procedura è stata implementata su tre siti pilota corrispondenti a tre distretti agricoli europei supposti "simili" per morfologia territoriale e destinazione d'uso del suolo (agricoltura) e supposti stabili nel tempo. Addizionalmente, si è voluto identificarli lungo un gradiente latitudinale inteso a cogliere eventuali bias legati alla componente geografica. L'analisi valuta le differenze tra i dataset mediante due descrittori statistici complementari: media ponderata sull'area e deviazione standard su base spaziale. L'obiettivo è individuare l'eventuale presenza di bias sistematici, quantificare la componente accidentale delle differenze e caratterizzare, possibilmente, la variabilità dei descrittori nelle aree di studio a carattere agricolo precedentemente individuate.

2. APPROCCIO METODOLOGICO

Il confronto è stato condotto nei distretti agricoli di Dronten (Paesi Bassi, Lat = 52.56°N), della Pianura Agricola Bavarese (Germania, Lat = 48.48°N) e della Sibartide (Italia, Lat = 40.28°N). Le aree di studio sono state identificate implementando una procedura specifica, in ambiente Google Earth Engine (GEE), basata su processi di buffering adattivo agente secondo i criteri di: (i) omogeneità climatica secondo Köppen-Geiger, (ii) prevalenza di superfici agricole da ESA WorldCover, (iii) ridotta acclività (come mappabile dal DEM SRTM) e successivo mascheramento delle aree urbanizzate.

Il buffering adattivo ha consentito di ottenere, per ciascun distretto, un'estensione agricola effettiva prossima



Fig. 1. Schema a blocchi della metodologia per l'identificazione delle aree di studio agricole e per il confronto statistico tra ERA5-Land e TerraClimate.

a 2500 km². La stabilità delle stime al variare del passo di discretizzazione spaziale è stata valutata con griglie geodetiche a passo (1/480)^o, (1/240)^o e (1/120)^o. La configurazione di riferimento è (1/240)^o, scelta perché costituisce un sottomultiplo comune della griglia ERA5-Land - (1/10)^o - e della griglia nativa TerraClimate - (1/24)^o. I dataset ERA5-Land e TerraClimate sono stati confrontati, per i tre siti pilota, con riferimento a serie temporali ventennali (2000-2020). Le grandezze meteo-climatiche investigate sono state: (i) temperatura minima, massima e media (T_{min}, T_{max}, T_{mean}), (ii) precipitazione (PPT) ed (iii) evapotraspirazione potenziale (PET). Poiché nei due dataset la PET è espressa con convenzioni e unità di misura non omogenee, essa è stata standardizzata riportando tutto su base cumulata mensile (mm/mese), così da rendere confrontabile la grandezza. I confronti sono stati condotti: (i) tra griglie native dei due dataset; (ii) tra la griglia ERA5-Land nativa e quella di TerraClimate riportata, per sottocampionamento per aggregazione areale, alla griglia ERA5-Land.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Le aree di studio ottenute mediante la tecnica automatica di buffering adattivo mostrano stime e differenze

tra i due dataset indipendenti dal passo di discretizzazione spaziale. Il confronto ha evidenziato differenze dipendenti dal tipo di variabile testata e dal contesto geografico. In particolare, la PET ha mostrato una differenza sistematica più marcata tra i due dataset: le stime di TerraClimate risultano sistematicamente inferiori a quelle ERA5-Land con differenze crescenti dal Nord verso il Centro-Sud Europa.

Le variabili di temperatura mostrano invece correlazioni temporali elevate tra i due dataset, ma sono affette da bias sistematici di segno opposto: TerraClimate è caratterizzato da valori mediamente più elevati per T_{min} e più bassi per T_{max} rispetto a ERA5-Land. La precipitazione mostra invece bias medi contenuti, ma una componente casuale più rilevante, soprattutto nel dominio mediterraneo. Le deviazioni standard spaziali indicano una minore eterogeneità interna ai siti pilota per il dataset TerraClimate soprattutto per PET e PPT.

4 CONCLUSIONI

Lo studio propone una metodologia per il confronto di dataset climatici raster aperti in aree di studio morfologicamente e climaticamente omogenee. La tecnica di buffering adattivo per l'individuazione delle aree di studio riduce l'influenza di fattori non climatici sul confronto tra i dataset, quali l'uso del suolo, la morfologia e il grado di urbanizzazione, mentre la griglia angolare 1/240^o consente una discretizzazione regolare in grado di allineare i due dataset portati a confronto (sottomultiplo comune della risoluzione geometrica nativa dei dataset). I risultati indicano che la scelta del dataset climatico condiziona significativamente il valore delle grandezze considerate e richiede una valutazione preliminare dei bias sistematici, degli scarti residui e della variabilità spaziale interna. L'integrazione informativa tra media areale e variabilità spaziale fornisce quindi un quadro più completo dell'incertezza geografica, utile per un impiego maggiormente consapevole dei dati climatici nei processi decisionali agricoli.

Riferimenti bibliografici

- [1] Araghi, A., Daccache, A.: Remote sensing and TerraClimate datasets for wheat yield prediction using machine learning. *Smart Agricultural Technology* 11, 100909 (2025).
- [2] Mankin, K.R., Mehan, S., Green, T.R., Barnard, D.M.: Review of gridded climate products and their use in hydrological analyses reveals overlaps, gaps, and the need for a more objective approach to selecting model forcing datasets. *Hydrology and Earth System Sciences* 29(1), 85-108 (2025).
- [3] Soulis, K., Dosiadis, E., Nikitakis, E., Charalambopoulos, I., Kairis, O., Katsogiannou, A., Kalivas, D.: Assessing AgERA5 and MERRA-2 Global Climate Datasets for Small-Scale Agricultural Applications. *Atmosphere* 16(3), 263 (2025).
- [4] Oukaddour, K., Fakir, Y., Le Page, M.: Assessment of five global gridded precipitation estimates over a southern Mediterranean basin (Tensift, Morocco). *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 16(1), 2468850 (2025).

Il lago di Garda come caso di studio per il telerilevamento per la qualità delle acque

Claudia Giardino¹, Mariano Bresciani¹, Alice Fabbretto¹, Raffaella M. Frank¹, Nicola Ghirardi^{1,2}, Anne J. Greife^{1,3}, Lodovica Panizza¹, Andrea Pellegrino^{1,4}, Salvatore Mangano¹, Monica Pinardi¹

¹ CNR-IREA, giardino.c@irea.cnr.it, bresciani.m@irea.cnr.it, fabbretto.a@irea.cnr.it, frank.r@irea.cnr.it, ghirardi.n@irea.cnr.it, greife.j@irea.cnr.it, panizza.l@irea.cnr.it, pellegrino.a@irea.cnr.it, mangano.s@irea.cnr.it, pinardi.m@irea.cnr.it

² CNR-IBE

³ Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali, Università degli Studi di Milano

⁴ Dipartimento di Ingegneria, Università Sapienza di Roma

Keywords

Qualità delle acque, algoritmi bio-ottici, sensori ottici, calibrazione/validazione



Il lago di Garda è il più grande lago italiano; è un bacino profondo, con importanti comunità di macrofite distribuite nelle acque più basse della zona meridionale. Il lago è prevalentemente oligotrofico, sebbene mostri alcune tendenze verso condizioni mesotrofiche. Da oltre due decenni il lago rappresenta un sito chiave per il telerilevamento della qualità dell'acqua: dallo sviluppo e sperimentazione di algoritmi per la stima dei parametri biofisici, alla realizzazione di studi ecologici e ambientali. In questo lavoro vengono presentate le più recenti attività di ricerca riguardanti il Garda, destinate sia allo sviluppo di due future missioni satellitari, sia alle esigenze degli utenti di gestione delle acque. In particolare, si illustrano le prestazioni dei metodi di stima della fluorescenza della clorofilla fitoplanctonica indotta dal sole per il potenziale utilizzo della missione FLuorescence EXplorer (FLEX) per applicazioni idriche [1]. FLEX, l'ottava missione Earth Explorer, nonostante sia focalizzata sulla stima di Sun Induced Fluorescence (SIF) al fine di monitorare lo stato di salute e stress della vegetazione terrestre, può avere applicazioni interessanti anche in ambienti acquatici. La SIF [2] è infatti ampiamente utilizzata come proxy della concentrazione di clorofilla-a (Chl-a), nonché come indicatore della biomassa fitoplanctonica e dello stato di produttività primaria negli ambienti acquatici. Nell'ambito di FLEX sono state condotte alcune campagne di misura in ambienti acquatici e in questo studio si presentano i risultati preliminari ottenuti dai dati raccolti nei bacini meridionali del Garda. In concomitanza con l'acquisizione di misure in situ (misure radiometriche, atmosferiche, limnologiche e di composizione e biomassa del fondale), sono state

acquisite immagini aeree ad alta risoluzione (HyPlant) e immagini satellitari (PRISMA e OLCI). Una parte significativa di lavoro è stata dedicata al controllo qualità dei dati acquisiti, includendo analisi sul rapporto segnale-rumore, rimozione delle bande rumorose, rimozione del fenomeno di sunglint [3,4,5]. Successivamente sono state generate mappe di Chl-a e sono stati valutati alcuni algoritmi di stima della SIF a partire dai dati iperspettrali aerei, per simulare le future elaborazioni di dati FLEX (Fig.1). In sintesi, i risultati dimostrano il valore aggiunto dell'uso congiunto di SIF e Chl-a: la fluorescenza consente infatti di ottenere informazioni supplementari sullo stato fisiologico e sulla dinamica del fitoplancton. Nel complesso, questi risultati contribuiscono al supporto della missione FLEX, alla validazione dei futuri prodotti SIF e alla valutazione del loro potenziale per il monitoraggio delle acque interne. Nel contesto relativo alle future missioni, si presentano anche le stime della tipologia di fondale dei substrati nelle acque poco profonde, comprese la mappatura di specie bentoniche invasive da immagini simulate del futuro sensore Copernicus CHIME [6].

Vengono inoltre analizzate le serie temporali di Chl-a e del disco di secchi, derivati da Sentinel-2 e OLCI, sia per comprendere la risposta del lago ai cambiamenti climatici sia per supportare le esigenze di monitoraggio dell'autorità regionale (Fig.2). Quest'ultimo aspetto è reso possibile anche grazie a uno strumento di visualizzazione online, integrato con osservazioni in situ e modelli ecologici.

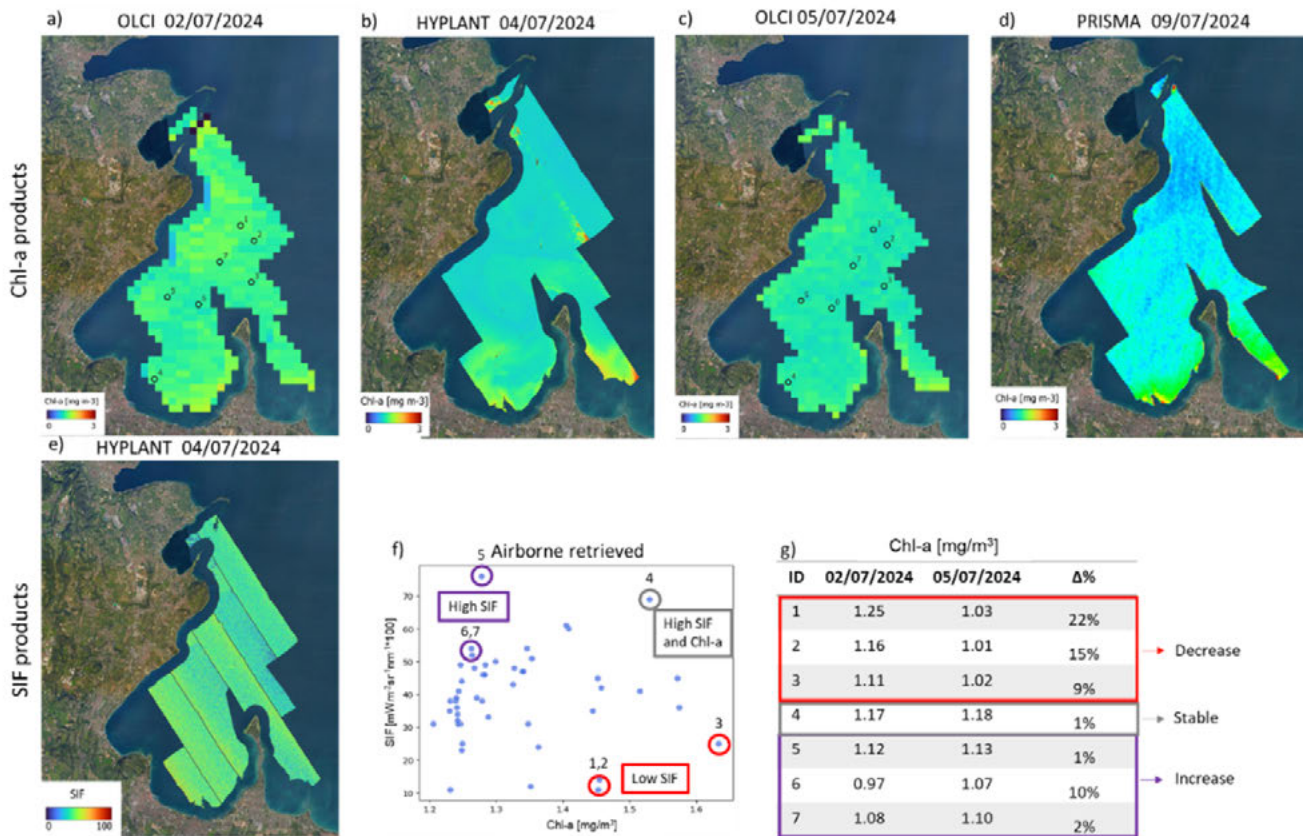


Fig. 1. (a) to (d): Chl-a maps from spaceborne and airborne data acquired close to the field campaign; (e) SIF map generated from the HYPLANT system; (f) SIF and Chl-a values retrieved from airborne data respectively with HyPlant-SFM and BOMBER algorithms at random points; (g) Changes in Chl-a values from the 2nd to 5th at selected sampling stations.

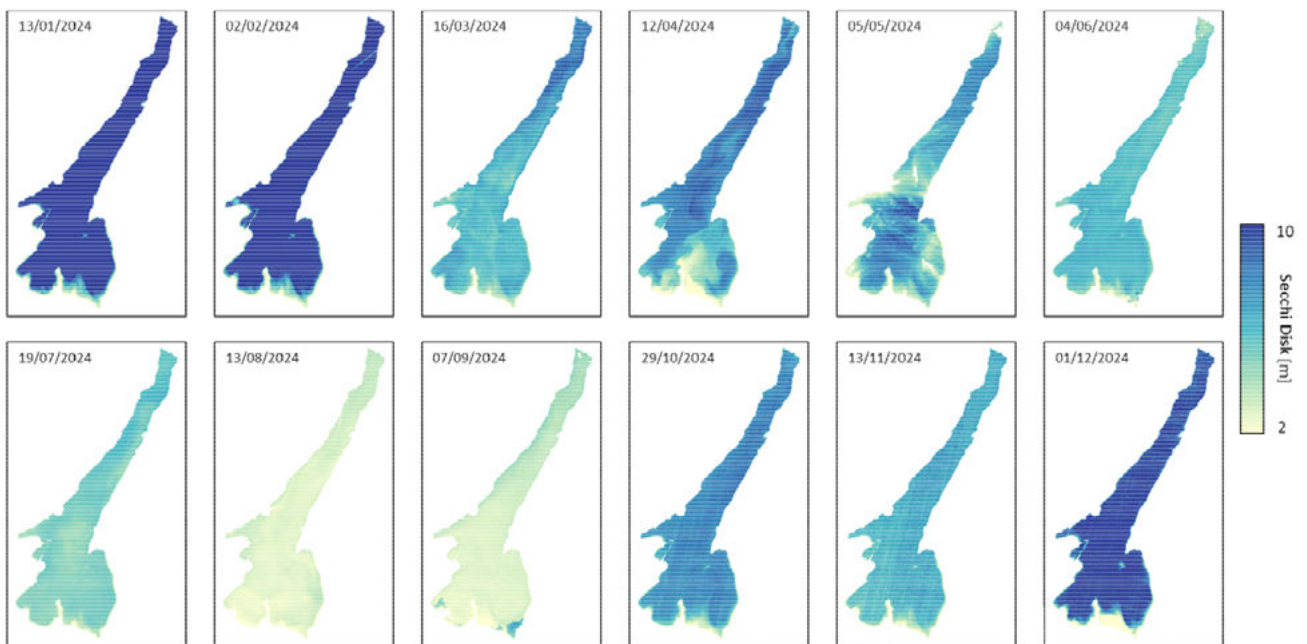


Fig. 2. Esempio di prodotti di trasparenza da dati OLCI per l'anno 2024.

L'analisi dei dati di campo, raccolti da HYPERNETS e da uno spettro-radiometro FLOX, viene presentata a supporto delle attività di calibrazione/validazione svolte per implementare gli studi presentati. Attraverso questa

presentazione intendiamo sottolineare il ruolo che siti studiati da tempo, come il lago di Garda, possono svolgere nel promuovere approcci integrati di telerilevamento per le acque interne.

Riferimenti bibliografici

- [1] Taccola, M., Da Mota Silva, S., Pereira do Carmo, J., Petitjean, G., Bock, R., Fratacci, O., Trastour, J., Baroni, M., Naldoni, S., Nuzzi, D., & Bittner, H: *FLEX instrument: status, performances and lessons learnt*. In K. Minoglou, N. Karafolas, & B. Cugny (Eds.), *International Conference on Space Optics - ICSO 2022* (p. 18). SPIE (2023).
 - [2] Gupana, R. S., Odermatt, D., Rahaghi, A. I., Minaudo, C., Werther, M., Giardino, C., & Damm, A.: *Remote Sensing of Sun-Induced Fluorescence in a Deep Lake: Disentangling Quenching Mechanisms Improves Relationship With Chlorophyll-a Concentration Estimates*. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16(12), 7733-7744 (2023).
 - [3] Fiete, R., & Tantalò, T. (2001). *Comparison of SNR image quality metrics for remote sensing systems*. *Optical Engineering*, 40(4), 574 (2025).
 - [4] Gao, B.-C.: *An operational method for estimating signal to noise ratios from data acquired with imaging spectrometers*. *Remote Sensing of Environment*, 43(1), 23-33 (1993).
 - [5] Gao, B.-C., & Li, R.-R.: *Correction of Sunglint Effects in High Spatial Resolution Hyperspectral Imagery Using SWIR or NIR Bands and Taking Account of Spectral Variation of Refractive Index of Water*. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 02(03), 1-15 (2021). *Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 4410-4426.
 - [6] Nieke, J., Despoisse, L., Gabriele, A., Weber, H.; Strese, H., Ghasemi, N., Gascon, F., Alonso, K., Boccia, V., Tsonevska, B., et al: *The Copernicus Hyperspectral Imaging Mission for the Environment (CHIME): An Overview of Its Mission, System and Planning Status*. In *Proceedings of the Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XXVII, Amsterdam, The Netherlands, 3-7 September 2023*.
-

Development and Preliminary Validation of a Miniaturized NIR Spectroscopic CubeSat Payload prototype for Environmental Monitoring Applications in the SMAL-SAT project

Dario Modenini¹, Emanuele Mandanici², Sonia Melandri³, Alessandro Lotti¹, Daniele Pecorella¹, Fufei Sun³, Paul Pinillos³, Antonio Iaconianni²

¹ Università di Bologna – Dipartimento di Ingegneria Industriale, dario.modenini@unibo.it

² Università di Bologna – Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, emanuele.mandanici@unibo.it

³ Università di Bologna – Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician", sonia.melandri@unibo.it

Keywords

Hyperspectral remote sensing; UAV; CubeSat; Environmental monitoring; NIR spectroscopy; Georeferencing; Earth Observation.



Compact hyperspectral and multispectral sensing systems are increasingly relevant for environmental monitoring, particularly in the context of UAV-based Earth Observation and future CubeSat missions. Their adoption is driven by the need to reduce cost, mass, and volume while preserving meaningful spectral resolution for surface characterization [1]. In this framework, this work presents the development and preliminary validation of a miniaturized near-infrared (NIR) spectroscopic payload designed for airborne deployment and future spaceborne integration within the SMAL-SAT research project.

The proposed system combines a compact NIR spectrometer with a co-aligned RGB imaging subsystem and a Raspberry Pi 5 for command and control, mounted on a UAV platform. The spectrometer is the Ocean Optics NIRQUEST+2.5-25, selected for its compact form factor and suitability for field deployment. In parallel, an RGB camera subsystem provides contextual imaging for spatial localization of spectroscopic measurements.

The system is designed to address a key limitation of compact spectrometers, namely the lack of intrinsic spatial context associated with narrow field-of-view spectral measurements [2]. To overcome this, synchronized RGB imaging is employed to support footprint identification and improve the geospatial interpretability of spectral data. The complete payload has been

integrated on a UAV platform and constrained to a total mass below 2.7 kg, ensuring operational compatibility with airborne deployment while preserving scalability toward CubeSat-class missions [3].

A preliminary flight campaign was conducted in March and April 2026 under outdoor environmental conditions. During these tests, synchronized spectral and RGB data were acquired over terrestrial targets, demonstrating stable operation of the integrated payload.

A Python-based processing pipeline was developed to handle spectral extraction, reflectance computation, and signal conditioning. In particular, moving-average filtering was applied to reduce high-frequency noise and improve the interpretability of reflectance curves [4]. Initial results confirm the feasibility of integrating compact NIR spectroscopy with RGB-assisted georeferencing in a lightweight architecture.

The system successfully acquired usable spectral data while maintaining mechanical stability and optical alignment under flight conditions.

This work contributes to the development of low-cost, modular remote sensing systems by demonstrating a UAV-to-CubeSat architecture for environmental monitoring applications. The integration of spectroscopic and imaging subsystems provides a scalable pathway toward improved spatial-spectral correlation in compact payloads. Future work will focus on improving ge-

oreferencing accuracy through GPS/IMU integration, expanding the dataset across multiple environmental conditions, and advancing toward full CubeSat-compatible payload implementation.

Funding: This work was supported by PG/2023/308391 – SMAL-SAT, CUP J47G22000720003, funded by the PR-FESR Emilia-Romagna 2021–2027, Priority 1, Action 1.1.2, under D.G.R. No. 2097/2022 “Bando per progetti di ricerca industriale strategica rivolti agli ambiti prioritari della Strategia di Specializzazione Intelligente 2023–2024”.

References

- [1] Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., Sousa, J.J.: Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sensing* 9(11), 1110 (2017). <https://doi.org/10.3390/rs9111110>
 - [2] Natesan, S., Armenakis, C., Benari, G., Lee, R.: Use of UAV-Borne Spectrometer for Land Cover Classification. *Drones* 2(2), 16 (2018). <https://doi.org/10.3390/drones2020016>
 - [3] Jallad, A.-H., Marpu, P., Abdul Aziz, Z., Al Marar, A., Awad, M.: MeznSat—A 3U CubeSat for Monitoring Greenhouse Gases Using Short Wave Infra-Red Spectrometry: Mission Concept and Analysis. *Aerospace* 6(11), 118 (2019). <https://doi.org/10.3390/aerospace6110118>
 - [4] Burns, D.A., Ciurczak, E.W. (eds.): *Handbook of Near-Infrared Analysis*. 3rd edn. CRC Press, Boca Raton (2008).
-

Preliminary analysis of the Chogo Lungma debris covered glacier using EnMAP data

Marco Casu^{1,2}, Claudia Collu¹, Davide Fugazza³, Ilaria Nobile¹, Francesco Dessi¹, Maria Teresa Melis¹

¹ Università degli Studi di Cagliari. marco.casu4@unica.it, mariatmelis@unica.it

² Università la Sapienza di Roma. marco.casu@uniroma1.it

³ Università degli Studi di Milano. davide.fugazza@unimi.it

Keywords Debris-covered glaciers, Hyperspectral remote sensing, Minimum Wavelength Mapping, Cryosphere.



Debris-covered glaciers are complex landforms composed of ice mantled by supraglacial debris. Climate change accelerates glacial melting rates, affecting water availability and increasing the frequency of hazards in downstream ecosystems [Hugonnet 2021]. The composition of the debris layer plays a crucial role in modulating melt rates by directly influencing a glacier's thermal regime [Juen 2013]. However, compositional information is often unavailable or spatially sparse across most debris-covered glacier surfaces, primarily due to logistical challenges in field-based sampling in these remote and harsh environments. The mineralogical characterisation of supraglacial debris therefore represents a significant gap in our understanding of sediment provenance, lithological variability, and glacier-scale geomorphological processes. This work is developed within the framework of the Spantik Lab Mountain Laboratory for Climate Research, coordinated by EVK2 CNR, which promotes integrated research in glaciology, climate science, and remote sensing in the Karakoram region, with objectives spanning cryosphere monitoring, climate change process understanding, hydrological modelling, and stakeholder-oriented adaptation strategies.

The present study contributes to these objectives by applying hyperspectral remote sensing to characterise the supraglacial debris of the Chogo Lungma glacier, one of the major debris-covered valley glaciers in the Karakoram range, northern Pakistan. Chogo Lungma covers approximately 284.5 km², with a main debris-covered tongue extending 44.4 km from the accumulation zone to the terminus at 2815 m (EVK2 Pakistan Glacier Inventory, 2022). Six southern tributaries are currently connected to the main tongue along the left margin

(left and right margins are defined with respect to the direction of ice flow), while northern tributaries along the right margin are largely disconnected, resulting in a pronounced asymmetry in debris distribution and the persistence of a clean ice tongue along the right margin. EnMAP hyperspectral imagery was used as the primary data source, supported by a Sentinel-2 true colour composite as spatial reference (**Figure 1**). **Fig. 2.**

Broad range Minimum Wavelength Map (2100–2400 nm) of the Chogo Lungma glacier debris cover.

Hue represents the wavelength position of the deepest absorption feature within the mapped range, while colour intensity reflects its relative depth, as indicated in the legend. The spectral plot presents representative EnMAP-derived continuum-removed spectra corresponding to the three spectrally distinct debris groups identified across the glacier surface: chlorite/biotite/epidote bearing debris (red spectrum), carbonate bearing debris (orange spectrum), and muscovite/illite bearing debris (green spectrum).

Spectral preprocessing included ice and snow masking via band ratios and Savitzky-Golay filtering applied independently to the SWIR and VNIR spectral regions to suppress noise while preserving absorption feature morphology. Minimum Wavelength Mapping (MWM) [Bakker 2011, Bakker 2024] was applied over three spectral ranges as the primary investigation tool: a broad range (2100–2400 nm) for dominant mineral group zonation, and two narrower ranges (2190–2220 nm and 2310–2360 nm) to resolve finer compositional differences within Al-OH and carbonate/Fe-Mg-OH assemblages respectively, interpreted following established spectral frameworks [Kokaly 2017, Laukamp 2021]. A Decision Tree (DT)

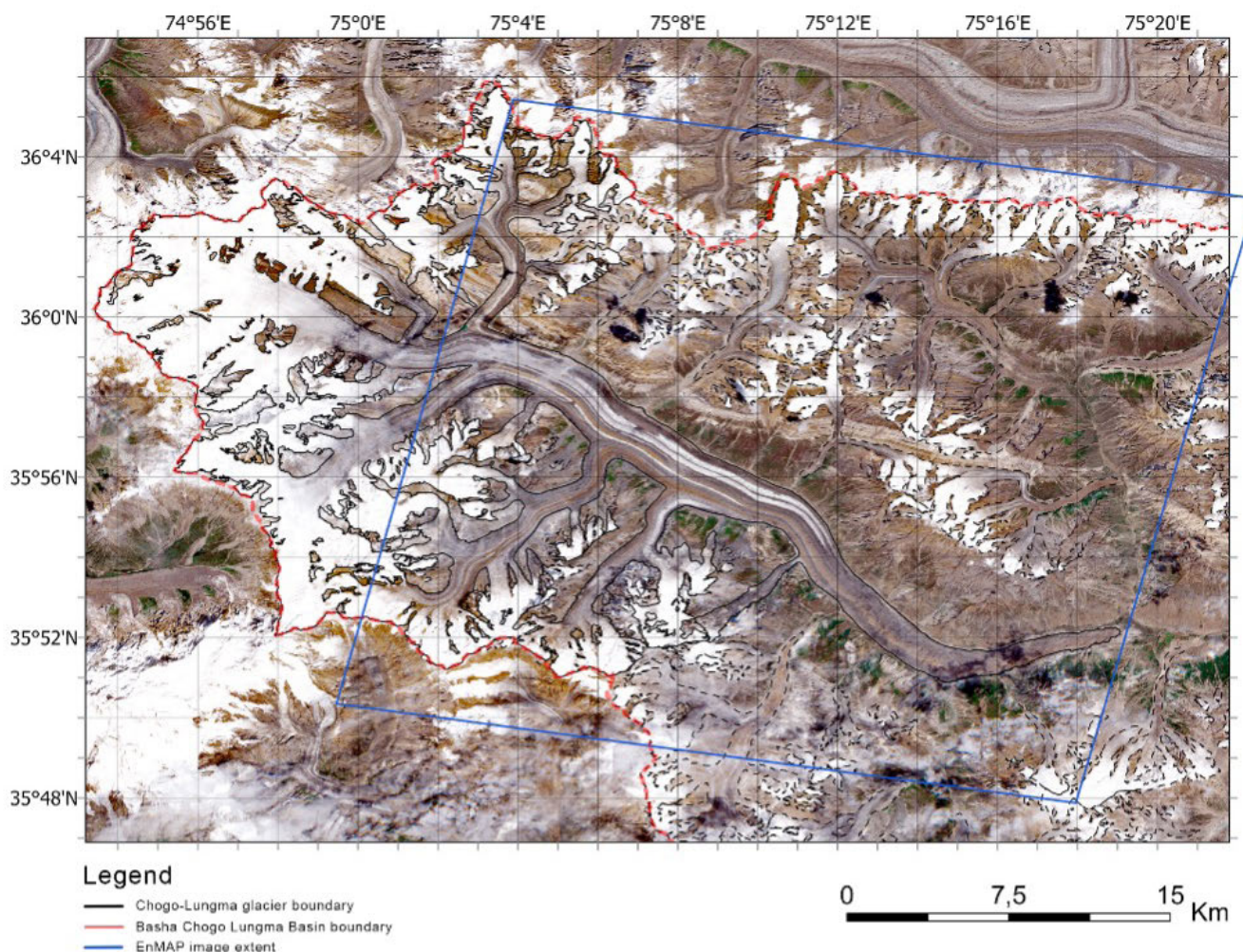


Fig. 1. Sentinel-2 True color composite of the Chogo Lungma debris covered glacier. The red line shows the boundary of the watershed, the solid black line indicates the extent of the Chogo Lungma Glacier, the dashed lines represent the extent of the other glaciers according to the 2022 EVK2 inventory. The blue line shows the extent of the EnMAP image used in this study.

classification was subsequently applied using per-pixel MWM-derived minimum wavelength position and absorption depth as inputs, mapping four mineral classes: Al-OH bearing phyllosilicates (muscovite/illite), dolomite, calcite, and Fe-Mg-OH bearing minerals (epidote, chlorite, biotite). Calcite and Fe-Mg-OH minerals were discriminated using the band ratio $R(2273)/R(2257)$, which detects a secondary absorption feature near 2250 nm characteristic of Al(Fe,Mg)-OH bearing phases and absent in calcite. The broad range MWM map (**Figure 2**) reveals a spectrally complex surface with three distinct colour groups reflecting the lithological diversity of the flanking slopes (**Figure 2**). Green hues (~2200 nm) are associated with south-western rock outcrops, with debris reaching the main tongue via left margin tributaries as a medial flow in the upper glacier and a wider lateral flow further downglacier.

Orange hues (~2300–2330 nm) characterise the right margin slopes; the Moraine Glacier, the only connected right margin tributary, transports orange and green debris as two parallel flows along the right margin.

Red and magenta hues (~2330–2400 nm, true minimum ~2345 nm) dominate the left margin slopes and pervasively cover the main tongue surface, running parallel to the green flows and together constituting the entirety of the debris cover in the lower ablation zone.

The DT classification resolves the spectral overlap between calcite and Fe-Mg-OH minerals, producing spatially coherent class distributions consistent with the geological setting.

The DT constrained absorption depth maps (**Figure 3**) reveal the spatial variability of relative mineral abundance within each class. Together, these products trace debris provenance and flow paths across the glacier surface, revealing the contrasting mineralogical composition of debris in different sectors and providing insights into the glacier's dynamic evolution. This study demonstrates the potential of EnMAP hyperspectral imagery for supraglacial debris characterisation in complex high-mountain settings, contributing to filling a critical gap in cryosphere research.

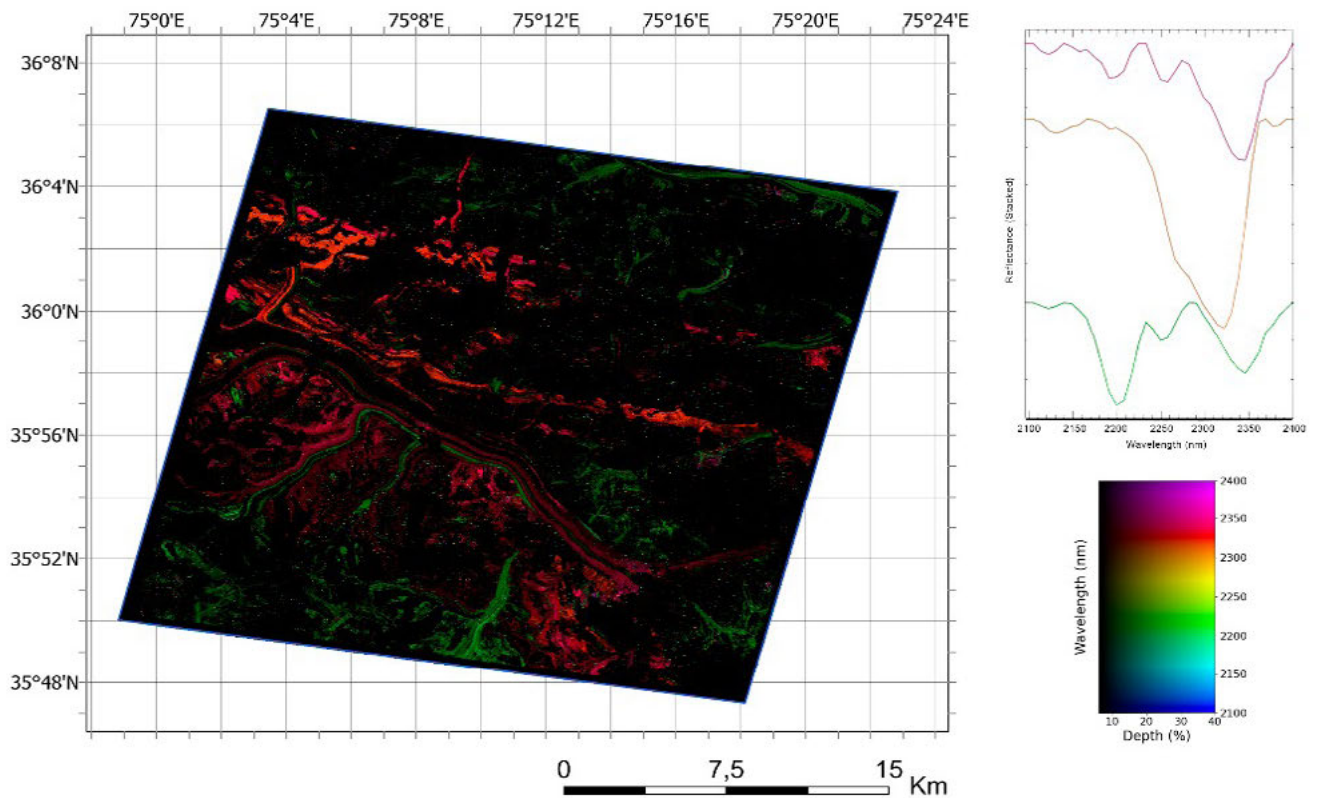


Fig. 2. Broad range Minimum Wavelength Map (2100–2400 nm) of the Chogo Lungma glacier debris cover. Hue represents the wavelength position of the deepest absorption feature within the mapped range, while colour intensity reflects its relative depth, as indicated in the legend. The spectral plot presents representative EnMAP-derived continuum-removed spectra corresponding to the three spectrally distinct debris groups identified across the glacier surface: chlorite/biotite/epidote bearing debris (red spectrum), carbonate bearing debris (orange spectrum), and muscovite/illite bearing debris (green spectrum).

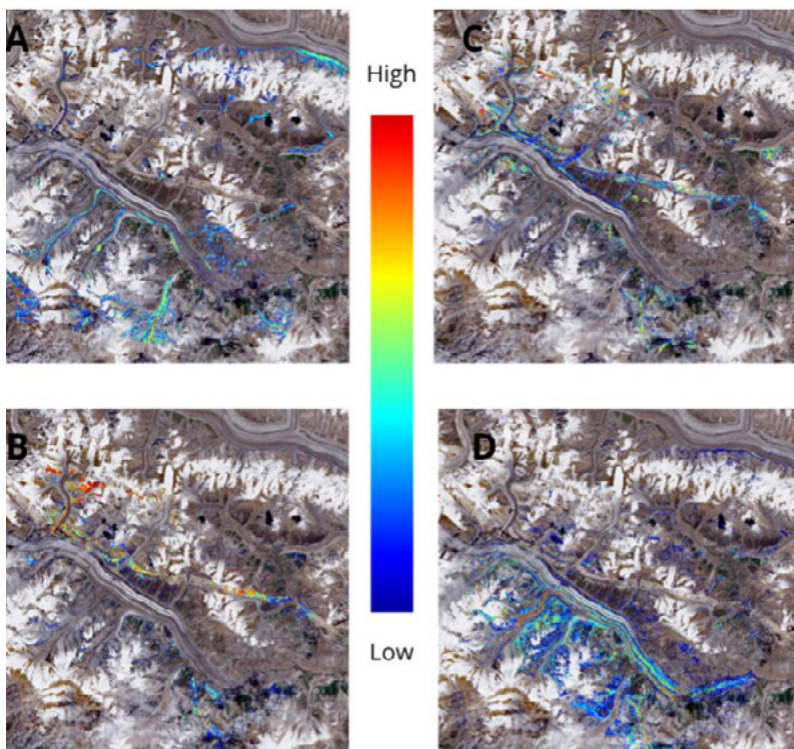


Fig.3. DT-constrained per-class absorption depth maps for the four mineral classes identified across the Chogo Lungma debris cover: (A) Muscovite/illite, (B) Dolomite, (C) Calcite, and (D) Epidote/Chlorite/Biotite. The colour ramp represents the absorption depth of the primary diagnostic feature within each class extent, from low (blue) to high (red), used as a proxy for relative mineral abundance.

References

- [1] Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E., Menounos, B., Nuth, C., Girod, L., Farinotti, D., Huss, M., Dussailant, I., Brun, F., Kääb, A., 2021. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature* 592, 726–731. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>Autore, F., Autore, S.: Titolo. In: Cognome, N., Cognome, N. (a cura di) CONFERENCE 2016, LNCS, vol. 9999, pp. 1-13. Springer, Heidelberg (2016).
 - [2] Juen, M., Mayer, C., Lambrecht, A., Wirbel, A., Kueppers, U., 2013. Thermal properties of a supraglacial debris layer with respect to lithology and grain size. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 95, 197–209. <https://doi.org/10.1111/geoa.12011>Autore, F.: Titolo del contributo. In: 9th International Proceedings on Proceedings, pp. 1-2. Editore, luogo (2010).
 - [3] Bakker, W., van Ruitenbeek, F.J.A., van der Werff, H.M.A., 2011. Hyperspectral image mapping by automatic color coding of absorption features:abstract.
 - [4] Bakker, W., van Ruitenbeek, F.J.A., van der Werff, H., Hecker, C., Dijkstra, A., van der Meer, F., 2024. Hyperspectral Python: HypPy. *Algorithms* 17. <https://doi.org/10.3390/a17080337>
 - [5] Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., Klein, A.J., 2017. USGS Spectral Library Version 7. Available at: <https://doi.org/10.3133/ds1035>
 - [6] Laukamp, C., Rodger, A., LeGras, M., Lampinen, H., Lau, I.C., Pejčić, B., Stromberg, J., Francis, N., Ramanaidou, E., 2021. Mineral Physicochemistry Underlying Feature-Based Extraction of Mineral Abundance and Composition from Shortwave, Mid and Thermal Infrared Reflectance Spectra. *Minerals* 11, 347. <https://doi.org/10.3390/min11040347>
-

Risultati preliminari sulla classificazione con approccio ad oggetti della città di Bologna per la determinazione delle Local Climate Zones

Gabriele Lo Grasso¹, Sveva Annamaria Ellenia Giovannetti¹, Emanuele Mandanici¹, Gabriele Bitelli¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, (gabriele.lograsso2, sveva.giovannetti2, emanuele.mandanici, gabriele.bitelli)@unibo.it

Keywords

Local Climate Zones, Object-based Image Analysis, Machine Learning.



Negli ultimi anni, l'intensificazione del fenomeno delle Urban Heat Islands (UHIs) e degli effetti del cambiamento climatico nelle aree urbane ha reso sempre più importante la caratterizzazione della struttura fisica delle città [1]. In questo contesto, il sistema delle Local Climate Zones (LCZs) rappresenta uno standard internazionale per la classificazione delle città sulla base delle loro proprietà morfologiche, radiative e di copertura del suolo [2]. La disponibilità di dati satellitari ad alta risoluzione e l'evoluzione delle tecniche di image analysis consentono oggi di sviluppare approcci automatici e multi-scala per la mappatura delle LCZs in ambienti urbani complessi [3,4].

Due immagini multispettrali sono state utilizzate per le analisi, specificatamente una Sentinel-2 (L2A) e una WorldView-3 (OR2A), a cui sono stati aggiunti una lista di Urban Canopy Parameters (UCPs) ricavati in maniera differente per le due scene.

Nel caso dell'immagine WV-3, è stato realizzato un Digital Surface Model (DSM) della città di Bologna, mediante approccio Structure from Motion (SfM). La differenza tra DSM e Digital Terrain Model [5], unitamente all'utilizzo della Carta Tecnica Comunale (1:2000) della Municipalità di Bologna [6], ha permesso di ricavare l'altezza degli edifici con elevato livello di dettaglio.

La classificazione LCZ è stata sviluppata attraverso un framework gerarchico di Object-Based Image Analysis

(OBIA) in eCognition, in maniera tale da integrare progressivamente informazioni spettrali, spaziali e contestuali attraverso differenti livelli di segmentazione. Inizialmente, è stata generata una segmentazione fine (mediante algoritmo MultiResolution Segmentation "MRS"), definendo un "Level-0", con l'obiettivo di aggregare pixel simili e caratterizzare la micro-struttura dell'area di studio. Successivamente, è stata effettuata una prima classificazione mediante procedure rule-based, al fine di identificare le principali componenti di copertura del suolo, tra cui vegetazione, superfici impermeabili, edifici, alberi e corpi idrici. In seguito, è stata applicata una seconda MRS per aggregare gli oggetti appartenenti al "Level-0", ottenendo un nuovo livello ("Level-1") i cui oggetti possiedono dimensioni compatibili con quelle delle LCZs. La classificazione finale è stata quindi eseguita con riferimento al "Level-1" mediante un modello di machine learning (Random Forest) addestrato utilizzando caratteristiche di tipo spettrale, geometrico e contestuale, includendo riflettanza, compattezza, area e attributi tematici ereditati dalle classi associate al "Level-0".

L'accuratezza della classificazione è stata valutata tramite la costruzione della matrice di confusione, valutando l'accuratezza globale, coefficiente Kappa, accuratezze utente e del produttore, e F1-score.

Riferimenti bibliografici

- [1] Oke, T.R.: *Boundary Layer Climates*. Routledge, London (1987).
 - [2] Stewart, I.D., Oke, T.R.: *Local Climate Zones for urban temperature studies*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12), 1879-1900 (2012).
 - [3] Weng, Q.: *Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends*. *Remote Sensing of Environment* 117, 34-49 (2012).
 - [4] Bechtel, B., Demuzere, M., Stewart, I.D. et al.: *LCZ Generator: A framework for the global mapping of local climate zones*. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(1), 19 (2019).
 - [5] Geoportale Regione Emilia-Romagna, <https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/catalogo/dati-cartografici/altimetria/layer-2>, ultimo accesso 2026/05/04.
 - [6] OpenDataEmiliaRomagna, <https://dati.emilia-romagna.it/dataset/carta-tecnica-comunale-edifici-volumetrici>, ultimo accesso 2026/05/04.
-

Il ruolo dei dati satellitari multi-sensore di Land Surface Temperature a supporto delle strategie di greening. Il caso di Ouagadougou, Burkina Faso

Elena Corona¹, Fabio Giulio Tonolo², Elena Belcore³, Roberto Fontana⁴

¹ Politecnico di Torino, DIST, elena.corona@polito.it

² Politecnico di Torino, DAD, fabio.giuliotonolo@polito.it

³ Politecnico di Torino, DIATI, elena.belcore@polito.it

⁴ Politecnico di Torino, DISMA, roberto.fontana@polito.it

Keywords

ECOSTRESS; Landsat; Land Surface Temperature; aggregazione spaziale.



1. INTRODUZIONE

Le regioni calde semiaride sempre più esposte a temperature potenzialmente pericolose per la salute pubblica [1,2]. Comprendere la distribuzione spaziale del calore in relazione al Land Use Land Cover (LULC) è fondamentale per definire strategie di adattamento efficaci ed eque. La temperatura telerilevata della superficie terrestre (LST) rappresenta uno strumento chiave per analizzare i pattern termici. Tuttavia, nelle zone calde semiaride, la disponibilità e la qualità dei dati termici sono spesso limitate, a causa della limitata risoluzione temporale e delle condizioni atmosferiche (nuvole, polvere) [3]. Questo lavoro integra dati termici multi-sensore aggregati spazialmente, informazioni relative al LULC e modellazione statistica, con l'obiettivo di supportare strategie di greening finalizzate alla riduzione della temperatura. La metodologia è stata applicata a Ouagadougou (Burkina Faso).

2. MATERIALI E METODOLOGIA

L'analisi della LST si basa sull'integrazione di dati termici satellitari acquisiti dai sensori Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS) sui satelliti Landsat [4] e dal sensore sperimentale ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) [5], installato sulla Stazione Spaziale Internazionale.

L'integrazione ha permesso di compensare la scarsità di dati disponibili e di incorporare la dimensione temporale, consentendo l'analisi della variabilità della LST in fun-

zione della data e dell'orario di acquisizione.

Tuttavia, le differenze di risoluzione spaziale, temporale e orario di passaggio tra i due sensori pongono sfide significative per il loro uso integrato. Per questo motivo, i dataset non sono stati validati confrontando le misurazioni a livello di pixel, ma utilizzati a scala aggregata per analizzare i pattern spaziali e temporali della LST.

La LST media è stata calcolata su due scale spaziali: i settori amministrativi, più adatti per supportare azioni e strategie efficaci ed eque, e griglia di 500x500 m, usata per analizzare la variabilità della LST a scala maggiore e omogenea. In questo modo è stato possibile confrontare i risultati a diverse scale e ridurre gli effetti delle diverse risoluzioni, garantendo la coerenza tra i dati.

Il Land Cover è stato estratto con una classificazione supervisionata di un'immagine multispettrale ad alta risoluzione PlanetScope (risoluzione 3.7m), mentre il Land Use proviene da informazioni ufficiali e dati fotointerpretati da immagini ad altissima risoluzione disponibili su Google Earth Pro.

Le classi di LULC sono state aggregate alle stesse unità spaziali utilizzate per la LST, per garantire coerenza nell'analisi della loro influenza sulla LST media. La relazione tra LST e copertura del suolo è stata analizzata con un modello di regressione lineare multipla, includendo una variabile categorica "Day" [Equazione 1] per isolare la variabilità meteorologica giornaliera.

Dove LST_i rappresenta la LST media nel settore o nella cella della griglia i ($^{\circ}\text{C}$), Day_d indica data di acquisizione, Barren, TreeCanopy, e Roads rappresentano la percentuale di copertura del suolo nel settore o nella cella della

$$LST_i = \beta_0 + \sum_{d=1}^{n-1} \beta_d Day_d + \beta_1 Barren_i + \beta_2 TreeCanopy_i + \beta_3 Roads_i + \varepsilon_i,$$

Equazione 1

griglia i ($0-1$), ε_i è il termine di errore residuo. Sono state testate versioni estese del modello per verificare la stabilità delle relazioni tra LST e *Land Cover* introducendo termini di interazioni con i diversi giorni di acquisizione e una nuova variabile relativa al momento di acquisizione (mattina/pomeriggio).

3. RISULTATI

Sono state acquisite 14 immagini Landsat e 10 ECO-STRESS nei mesi mediamente più caldi (aprile - maggio) del periodo 2021–2025. I pixel non affidabili sono stati esclusi sulla base degli indicatori di qualità (QC). I valori medi della LST calcolati alle due scale spaziali risultano altamente coerenti (**Figura 1**), con differenze inferiori a 1

°C in ciascun giorno analizzato, indicando che le strutture termiche spaziali della città sono stabili tra le diverse unità di analisi. L'aggregazione per griglia evidenzia le variazioni a scala maggiore, con una deviazione standard più elevata (≈ 2 °C rispetto a ≈ 1.7 °C).

Il modello di regressione semplificato [**Equazione 1**], calcolato sia per settori sia per griglia 500x500 m, ha rivelato una relazione forte e coerente tra LST media e variabili relative alla copertura del suolo, confermando la solidità dei risultati. Entrambi i modelli sono statisticamente significativi ($p < 0,001$) e mostrano un elevato valore esplicativo (adj. $R^2 = 0.75-0.86$). Su entrambe le scale, il suolo nudo aumenta la LST (+0.03 °C per setto-

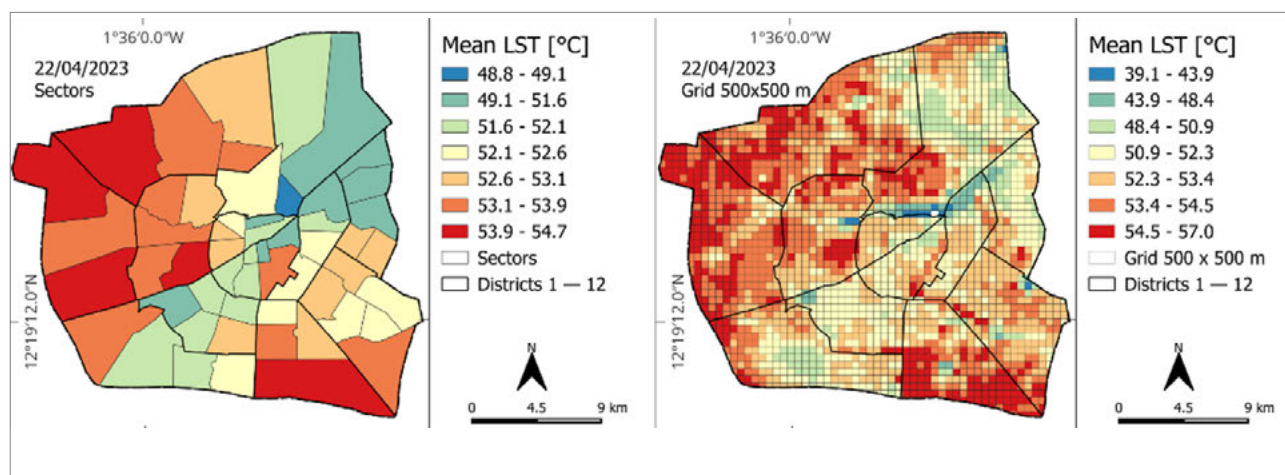


Fig.1. Land Surface Temperature media per settori (sinistra) e per griglia 500x500 m (destra).

re, +0.02 °C per griglia), mentre la copertura arborea la riduce (-0.06 °C, -0.05 °C rispettivamente); entrambi gli effetti sono statisticamente significativi. Le strade con larghezza superiore a 18 m mostrano effetti più deboli e meno consistenti. Il modello semplifica l'interpretazione, evidenziando la relazione generale. Si assume che gli effetti delle variabili di copertura del suolo siano costanti tra i giorni, con conseguenti pendenze parallele e intercette diverse, che riflettono la variabilità meteorologica giornaliera (**Figura 2**).

Il modello esteso, che include i termini di interazione tra la variabile categoriale "Day" e le variabili di Land Cover, conferma la stabilità delle relazioni, spiegando circa l'1% in più di varianza rispetto al modello di base, senza alterare la struttura complessiva delle relazioni.

L'introduzione di una distinzione tra le acquisizioni mat-

tutine e pomeridiane mostra valori di LST mediamente più elevati nelle immagini pomeridiane, mantenendo sostanzialmente invariate le relazioni con LULC.

4. CONCLUSIONI

I risultati confermano la robustezza dell'approccio multi-sensore adottato per l'analisi della LST, evidenziando relazioni stabili e coerenti con la copertura del suolo anche in presenza di variabilità temporale.

L'integrazione di dati termici multi-sensore consente di analizzare un numero di acquisizioni statisticamente significativo. Inoltre, in combinazione con l'analisi LULC e la modellazione statistica, permette non solo di descrivere i pattern termici, ma anche di supportare l'individuazione di aree prioritarie per interventi di greening basati su evidenze.

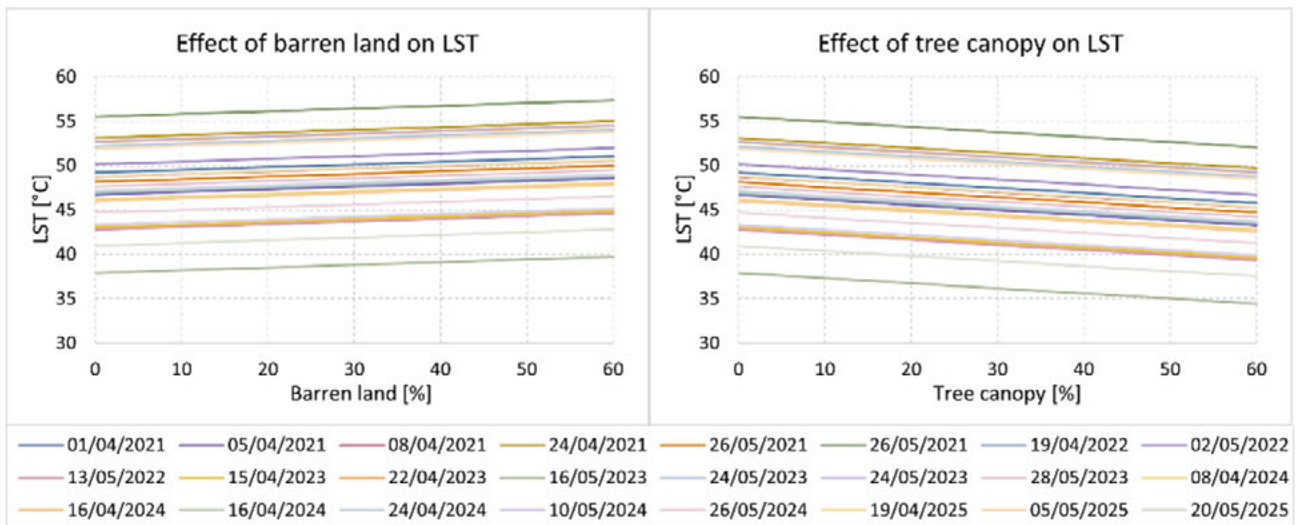


Fig.2 Relazione tra LST e suolo nudo (sinistra) e copertura arborea (destra).

Riferimenti bibliografici

- [1] Ebi, K.L.; Capon, A.; Berry, P. et al. Hot Weather and Heat Extremes: Health Risks. *Lancet* 2021, 398, 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3).
- [2] Avashia, V.; Garg, A.; Dholakia, H. Understanding Temperature Related Health Risk in Context of Urban Land Use Changes. *Landsc. Urban Plan.* 2021, 212, 104107. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104107>.
- [3] Arabi Aliabad, F., Ghaderpour, E., Mazidi, A., & Houshmandzade, F. Gap-filling of land surface temperature in arid regions by combining Landsat 8 and 9 imageries. *Environ. Res. Communic.* 2024, 6(10), 105037. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad898e>.
- [4] U.S. Geological Survey. Landsat 8–9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide. Sioux Falls, SD, USA, 2023. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1619_Landsat8-9-Collection2-Level2-Science-Product-Guide-v6.pdf
- [5] Hulley, G.; Freepartner, R. ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) Mission. Level 2 Product User Guide. https://lpdaac.usgs.gov/documents/1574/ECOL2_User_Guide_V2.pdf

Pixel Mixture Issue in Vineyard Mapping from Satellite. A Possible Solution Based on Sentinel-2 Imagery and Local Least Squares

De Petris S.^{1*}, Sarvia F.¹, Parizia F.¹, Ghilardi F.¹, Farbo A.¹, Borgogno-Mondino E.¹

¹ Department of agriculture, forestry and food sciences, University of Turin, L.go Braccini 2, Grugliasco (TO), 10095. e-mail: samuele.depétris@unito.it, filippo.sarvia@unito.it, farncesco.parizia@unito.it, federica.ghilardi@unito.it, alessandro.farbo@unito.it, enrico.borgogno@unito.it

Keywords NDVI; Vineyards; Spectral Unmixing; Sentinel-2; UAV.



Precision viticulture aims to enhance quality standards of wine production by improving vineyard management. In this framework, satellite optical remote sensing has already proved to be effective for mapping vegetation behaviour in space and time. These maps, properly processed, are useful to optimize agronomic practices improving wine production/quality and mitigating environmental impacts. Nevertheless, vineyards represent a challenge in this context because grapevine canopies are discontinuous, and the observed reflectance signal is affected by background. In fact, satellite imagery ordinarily provides spectral measures with medium-low geometric resolution (≥ 100 m²). Therefore, spectral mixture between grapevine canopies, grass and soils is expected within a satellite-derived reflectance pixel and not considering this problem can deeply affect deductions based

on this data. In this work, Sentinel-2 (S2) NDVI maps (10 m resolution) were computed and compared to the ones obtained from DJI P4 multispectral UAV over a vineyard sizing 1.5 ha and located in Piemonte region (NW Italy). The proportion of row and inter-row ($a(x,y)$ and $1-a(x,y)$) within S2 pixel was computed and mapped classifying DJI photogrammetry point cloud. Involving $a(x,y)$ and S2 NDVI values, reversing spectral unmixing system was defined solving for two average endmembers NDVI values (row and inter-row) using a moving window (21x21 pixels) least squares approach. Results were compared at S2 pixel-level to the average ones computed from DJI, showing a MAE of 0.15 and 0.10 of row and inter-row NDVI respectively.

Dal dato satellitare al servizio operativo: ImageryPack come modello per l'accesso continuo e integrato ai dati di Osservazione della Terra

Daniela Valentino¹, Francesca Albanese¹

¹ Planetek Italia, valentino@planetek.it - albanese@planetek.it

Keywords

Osservazione della Terra, dati satellitari, crediti, informazione geospaziale, monitoraggio, interoperabile.



imageryPack
Una chiave unica,
un mondo di possibilità.

ABSTRACT

Le città e i territori affrontano oggi sfide sempre più complesse: consumo di suolo, cambiamenti climatici, resilienza delle infrastrutture, qualità ambientale, pianificazione urbana e gestione del rischio. In questo scenario, i dati satellitari rappresenta-

no uno strumento concreto per trasformare il territorio in conoscenza misurabile e supportare decisioni più rapide, consapevoli e basate su evidenze.

Contestualmente l'Osservazione della Terra ha conosciuto una crescita esponenziale in termini di disponibilità di dati, varietà di sensori e capacità di acquisizione. L'evoluzione dell'Osservazione della Terra ha reso dispo-

nibile una quantità crescente di dati satellitari, aprendo nuove opportunità per il monitoraggio del territorio, dell'ambiente e delle infrastrutture. Oggi il valore non risiede più soltanto nell'accesso al dato, ma nella capacità di renderlo facilmente fruibile, interoperabile e integrabile nei processi operativi.

In questo scenario si inseriscono i servizi EO di nuova generazione, orientati a modelli di accesso continuativo, integrazione multi-provider e piena compatibilità con i flussi di lavoro esistenti. ImageryPack si colloca in questa evoluzione come un modello innovativo di accesso a dati satellitari e prodotti geospaziali basato su crediti, pensato per semplificare il procurement e favorire un utilizzo operativo, flessibile e scalabile dell'informazione geospaziale. Il modello a crediti permette di disporre di un "budget operativo" riutilizzabile nel tempo, riducendo la necessità di attivare processi di acquisizione indipendenti per ciascun fabbisogno informativo. Un elemento chiave è rappresentato dall'integrazione nei principali ambienti GIS, che consente di incorporare le funzionalità di ricerca, selezione e attivazione dei dati direttamente all'interno dei workflow analitici.

In questo modo, il dato satellitare non viene più trattato come elemento esterno, ma diventa parte integrante del processo di analisi, riducendo i passaggi intermedi e favorendo la continuità operativa.

Dal punto di vista metodologico, il servizio abilita la richiesta combinata di serie temporali, dati multi-sensore e prodotti derivati, supportando approcci avanzati di analisi basati su data fusion e time-series analysis.

Questo consente di passare da una logica di utilizzo episodico del dato a una logica di monitoraggio continuo, in linea con le esigenze emergenti nei domini ambientali e territoriali. L'accesso al servizio avviene attraverso una piattaforma digitale progettata per semplificare l'accesso e la gestione dell'intero ecosistema di dati satellitari e prodotti geospaziali. Attraverso un tool di ricerca multi-provider (**Fig. 1**), l'utente può esplorare in autonomia cataloghi commerciali, confrontare disponibilità, caratteristiche tecniche, coperture temporali e risoluzioni spaziali, individuando in modo rapido la soluzione più idonea rispetto alle esigenze progettuali.

La piattaforma consente inoltre di gestire il proprio monte crediti, attivare ordini di dati di archivio o di nuo-

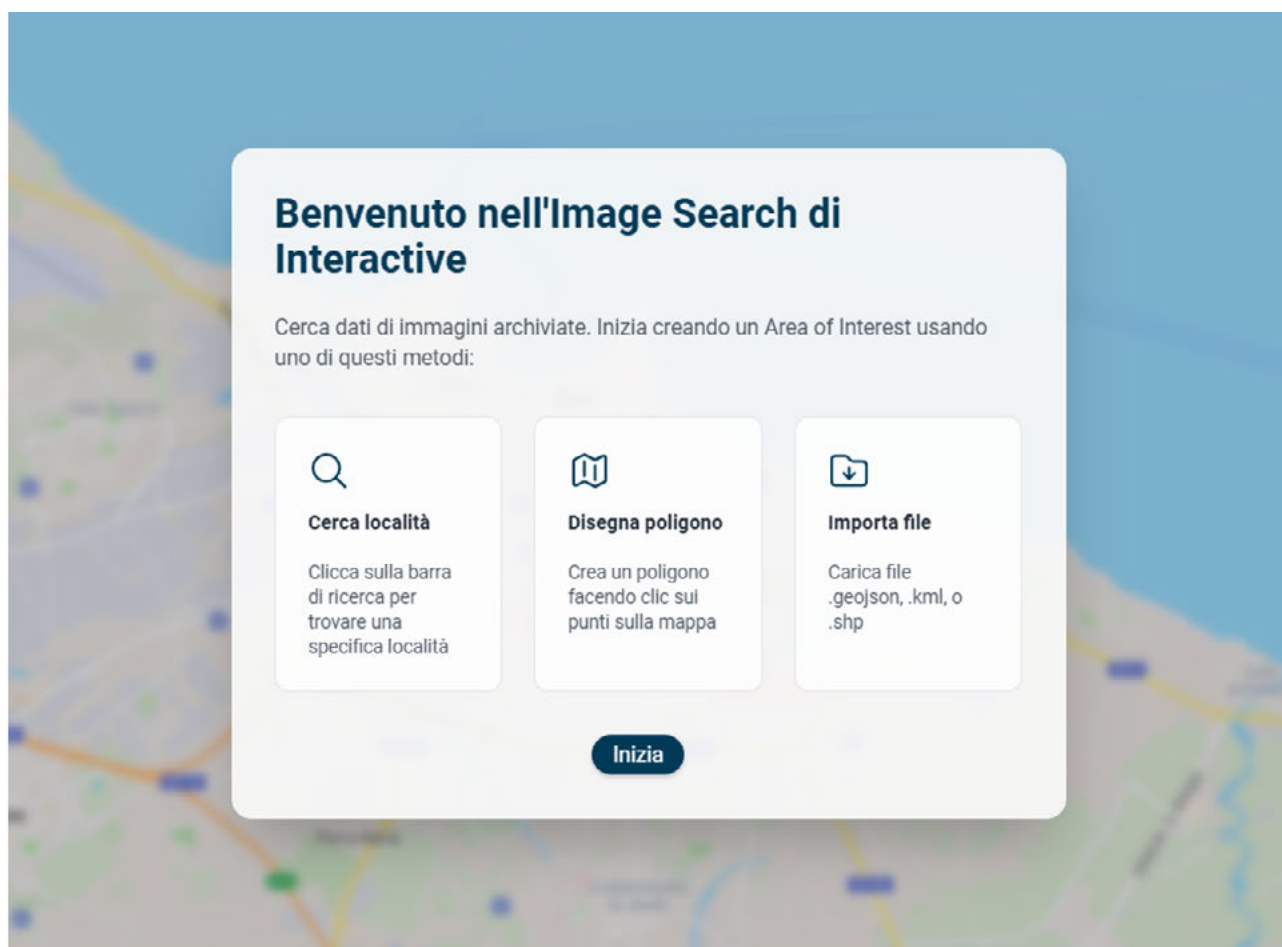


Fig.1. Tool di ricerca multi-provider

va acquisizione e accedere a servizi complementari, trasformando il tradizionale processo di procurement in un'esperienza più immediata, trasparente e orientata all'operatività. A supporto dell'utente, opera il team Imagery Strategist di Planetek Italia, che accompagna ogni fase del processo: dalla definizione dei requisiti tecnici alla selezione del dato più adatto, fino all'affiancamento

operativo nell'utilizzo della piattaforma, degli strumenti di ricerca e dei servizi geospaziali disponibili. Un approccio che combina autonomia operativa dell'end user e competenze specialistiche, rendendo l'accesso all'informazione satellitare più efficace, rapido e pienamente integrato nei processi decisionali.



Robust Satellite Techniques (RST) for real-time monitoring of natural, environmental and man-made hazards

Valerio Tramutoli^{1,2}

¹Department of Engineering, University of Basilicata, Potenza, Italy

²Space Technologies and Application Centre, Potenza, Italy - valerio.tramutoli@unibas.it

Keywords Robust Satellite Techniques, RST, Change Detection.



Change detection methods based on satellite observations are usually fixed-threshold, single-image-oriented, and very difficult to extend across different geographical areas or to different satellite sensors. A Robust Satellite Technique (RST) for Earth surface and atmosphere monitoring, at the same time reliable and exportable (on different satellite sensors and geographic areas) was proposed several years ago [1,2]. Since then, most of the announced RST applications have demonstrated their reliability as

well as their exportability on different satellite sensors and geographic areas. In order to monitor short (SSC) and M-LSC (medium-long) scale changes (in the space and/or time domain), the only RST requirement is the availability of a sufficiently long time-series of satellite images for the characterisation of the signal behaviour in normal (i.e. unperturbed) conditions. The general approach is described in Fig.1.

The variable $V(x,y,t)$ and the reference field $V_{REF}(x,y)$ are chosen depending on the specific application.

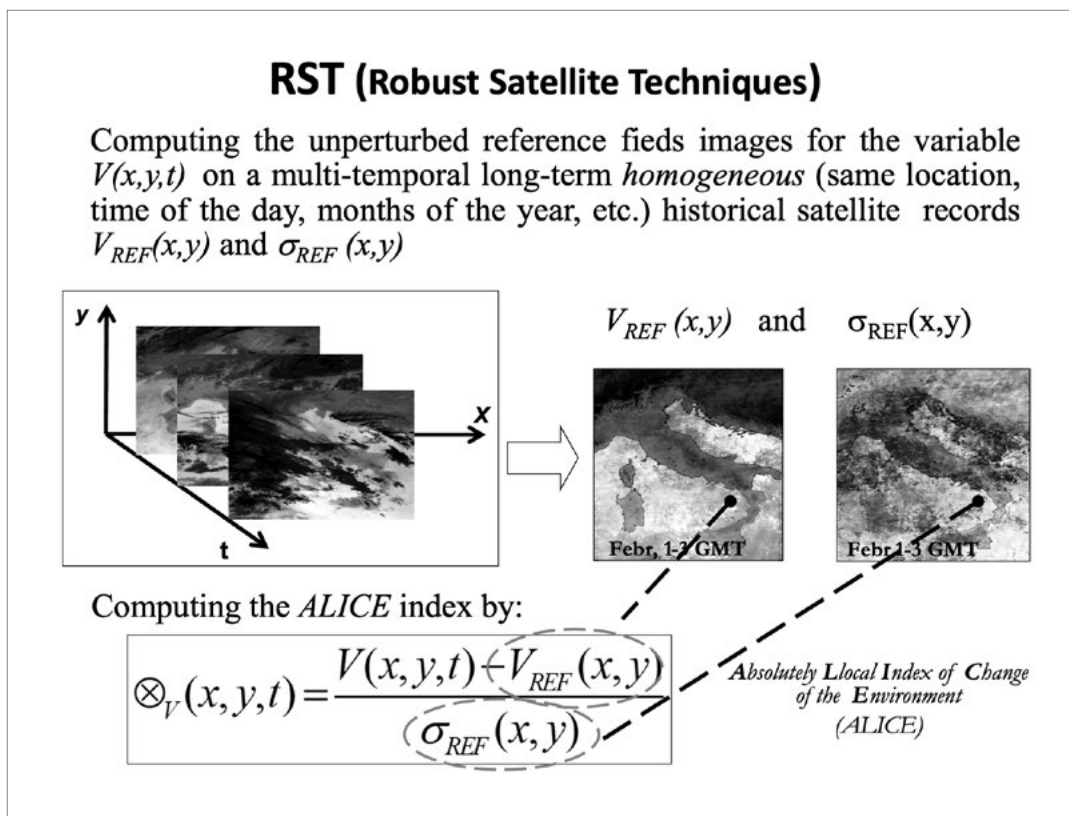


Fig.1. The scheme of a Robust Satellite Technique (RST)

Usually, $VREF(x,y)$ is the temporal average of $V(x,y,t)$ computed for the same location (x,y) on a collection of satellite images collected at the same time of the day in the same month in previous years. For some applications, it can be the minimum $MINV(x, y)$ or the maximum $MAXV(x,y)$ value of $V(x,y)$ in the time-series.

The $\sigma_{REF}(x, y)$ is always the standard deviation of the same time series. Combinations of ALICE indices referred to different $V(x,y,t)$ variables can also be used to identify locations (x,y) affected by particular anomalous conditions at time t .

Significant improvements, in comparison with preceding techniques, have been achieved wherever the RST

approach has been implemented. The most important applications developed until now refer to volcanic eruptions thermal (e.g. [3-5]) and ash cloud (e.g. [6-8]) monitoring, forest fire early detection (e.g. [9-10]), seismic hazard forecast (e.g. [11-15]), soil wetness and flood risk monitoring (e.g. [16-17]) and mapping (e.g. [18-19]), coastal (e.g. [20]) and fresh (e.g. [21]) water monitoring, oil spill detection (e.g. [22]), cloud detection (e.g. [23]), Saharan dust monitoring (e.g. [24]), radio interference (e.g. [25]), climate change (e.g. [26]), landslides mapping (e.g. [26]), industrial and security issues (e.g. [27]).

References

- [1] Tramutoli, V.: Robust AVHRR techniques (RAT) for environmental monitoring: theory and applications. In G. Cecchi & E. Zilioli (Eds.), Proc. SPIE 3496, Earth Surface Remote Sensing II, pp. 101-113, <https://doi.org/10.1117/12.332714>, (1998).
- [2] Tramutoli, V.: Robust Satellite Techniques (RST) for Natural and Environmental Hazards Monitoring and Mitigation: Theory and Applications, in: International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, Leuven, 18-20 July 2007, pp. 1-6., doi:10.1109/MULTI-TEMP.2007.4293057, (2007)
- [3] Marchese, F., Filizzola, C., Genzano, N., Mazzeo, G., Pergola, N., Tramutoli, V.: Assessment and improvement of a robust satellite technique (RST) for thermal monitoring of volcanoes. *Rem. Sens. Env.*, 115 (6), 1556-1563 (2011).
- [4] Marchese, F., Ciampa, M., Filizzola, C., Lacava, T., Mazzeo, G., Pergola, N., Tramutoli, V.: On the Exportability of Robust Satellite Techniques (RST) for Active Volcano Monitoring. *Rem. Sens.*, 2 (6), 1575-1588 (2010).
- [5] Pergola, N., Tramutoli, V., Marchese, F.: Automated detection of thermal features of active volcanoes by means of Infrared AVHRR records, *Rem. Sens. Env.*, 93(3), 311-327 (2004).
- [6] Mota, R., Filizzola, C., Falconieri, A., Marchese, F., Pergola, N., Tramutoli, V., Gil, A., Pacheco, J.: Robust Satellite Techniques (RSTs) for SO₂ Detection with MSG-SEVIRI Data: A Case Study of the 2021 Tajogaite Eruption. *Remote Sensing*, 17, 3345, (2025).
- [7] Filizzola, C., Lacava, T., Marchese, F., Pergola, N., Scaffidi, I., Tramutoli, V.: Assessing RAT (Robust AVHRR Technique) performances for volcanic ash cloud detection and monitoring in near real-time: the 2002 eruption of Mt. Etna (Italy). *Rem. Sens. Env.*, 107, pp. 440-454 (2007).
- [8] Pergola, N., Tramutoli, V., Scaffidi, I., Lacava, T., Marchese, F.: Improving volcanic ash clouds detection by a Robust Satellite Technique, *Rem. Sens. Env.*, 90(1), 1-22 (2004).
- [9] Filizzola C., Corrado R., Marchese F., Mazzeo G., Paciello R., Pergola N., Tramutoli V.: RST-FIRES, an exportable algorithm for early-fire detection and monitoring: Description, implementation, and field validation in the case of the MSG-SEVIRI sensor, *Remote Sens. Environ.*, 192, pp. e2-e25, doi:10.1016/j.rse.2017.01.019, (2017).
- [10] Marchese, F., Mazzeo, G., Filizzola, C., Coviello, I., Falconieri, A., Lacava, T., Paciello, R., Pergola, N. and Tramutoli, V.: Issues and Possible Improvements in Winter Fires Detection by Satellite Radiances Analysis: Lesson Learned in Two Regions of Northern Italy, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 10(7), pp. 3297-3313, doi:10.1109/JSTARS.2017.2670059, (2017).
- [11] Genzano, N., Filizzola, C., Hattori, K., Pergola, N., Tramutoli, V.: Statistical correlation analysis between thermal infrared anomalies observed from MTSATs and large earthquakes occurred in Japan (2005-2015). In *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 126, pp. 1-19, DOI:10.1029/2020JB021008, (2021).
- [12] Filizzola, C., Corrado, A., Genzano, N., Lisi, M., Pergola, N., Colonna, R., Tramutoli, V.: RST Analysis of Anomalous TIR Sequences in Relation with Earthquakes Occurred in Turkey in the Period 2004-2015, *Remote Sensing* 14, (2), pp. 381. <https://doi.org/10.3390/rs14020381>, (2022).
- [13] Genzano, N., Filizzola, C., Lisi, M., Pergola, N., Tramutoli, V.: Toward the development of a multi-parametric system for a short-term assessment of the seismic hazard in Italy, <http://hdl.handle.net/11563/144842>, *Annals of Geophysics*, 63, (5), pp. 1-17, doi:10.4401/ag-8227(2020), (2020).
- [14] Eleftheriou A., Filizzola C., Genzano N., Lacava T., Lisi M., Paciello R., Pergola N., Vallianatos F., Tramutoli V.: Long-Term RST Analysis of Anomalous TIR Sequences in Relation with Earthquakes Occurred in Greece in the Period 2004-2013. *Pure Appl Geophys.*, 173, pp. 285-303, doi:10.1007/s00024-015-1116-8, (2016).
- [15] Tramutoli, V., Cuomo, V., Filizzola, C., Pergola, N., Pietrapertosa, C.: Assessing the potential of thermal infrared satellite surveys for monitoring seismically active areas. The case of Kocaeli (Izmit) earthquake, August 17th, 1999. *Rem. Sens. Env.*, 96, 409-426, (2005).
- [16] Lacava, T., Brocca, L., Calice, G., Melone, F., Moramarco, T., Pergola, N., Tramutoli, V.: Soil moisture variations monitoring by AMSU-based soil wetness indices: A long-term inter-comparison with ground measurements. *Rem. Sens. Env.*, 114 (10), pp. 2317-2325, (2010).
- [17] Lacava, T., Cuomo, V., Di Leo, E.V., Pergola, N., Romano, F., Tramutoli, V.: Improving soil wetness variations monitoring from passive microwave satellite data: the case of April 2000 Hungary flood. *Remote Sensing of Environment* 96, pp. 135- 148, (2005).
- [18] Satriano, V., Ciancia, E., Pergola, N., Tramutoli, V.: A First Extension of the Robust Satellite Technique RST-FLOOD to Sentinel-2 Data for the Mapping of Flooded Areas: The Case of the Emilia Romagna (Italy) 2023 Event. *Remote Sens.* 16(18), 3450; <https://doi.org/10.3390/rs16183450>, (2024).
- [19] Lacava, T., Filizzola, C., Pergola, N., Sannazzaro, F., Tramutoli, V.: (2010). Improving flood monitoring by RAT (Robust AVHRR Technique) approach: the case of April 2000 Hungary flood. *International Journal of Remote Sensing (ISSN:0143-1161)*. 31, pp. 2043- 2062, (2010)..
- [20] Ciancia, E., Lacava, T., Pergola, N., Vellucci, V., Antoine, D., Satriano, V., Tramutoli, V.: Quantifying the variability of phytoplankton blooms in

the NW Mediterranean Sea with the Robust Satellite Techniques (RST). *Rem. Sens.*, 13(24), 5151, doi:10.3390/rs13245151., (2021).

- [21] Ciancia, E.; Campanelli, A.; Lacava, T.; Palombo, A.; Pascucci, S.; Pergola, N.; Pignatti, S.; Satriano, V.; Tramutoli, V.: Modeling and Multi-Temporal Characterization of Total Suspended Matter by the Combined Use of Sentinel 2-MSI and Landsat 8-OLI Data: The Pertusillo Lake Case Study (Italy). *Remote Sens.*, 12, 2147. doi:10.3390/rs12132147, (2020).
- [22] Casciello, D., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V.: Robust Satellite Techniques for oil spill detection and monitoring. *Int. J. Rem. Sens.*, 32 (14), pp. 4107-4129, (2011).
- [23] Cuomo, V., Filizzola, C., Pergola, N., Pietrapertosa, C., Tramutoli, V.: A self-sufficient approach for GERB cloudy radiance detection" *Atm. Res.*, 72 (1-4), pp. 39-56, (2004).
- [24] Marchese, F., Sannazzaro, F., Falconieri, A., Filizzola, C., Pergola, N., Tramutoli, V.: An enhanced satellite-based algorithm for detecting and tracking dust outbreaks by means of SEVIRI data, *Remote Sens.*, 9(6), 1-24, doi:10.3390/rs9060537, (2017).
- [25] Lacava, T., Coviello, I., Faruolo, M., Mazzeo, G., Pergola, N., Tramutoli, V.: A Multitemporal Investigation of AMSR-E C-Band Radio-Frequency Interference. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51, pp. 2007 - 2015, (2013).
- [26] Filizzola, C., Carlucci, M. A., Genzano, N., Ciancia, E., Lisi, M., Pergola, N., Ripullone, F., Tramutoli, V.: Robust satellite-based identification and monitoring of forests having undergone climate-change-related stress. *Land*, 11(6) doi:10.3390/land11060825, (2022).
- [27] Satriano, V., Ciancia, E., Filizzola, C., Genzano, N., Lacava, T., Tramutoli, V.: Landslides Detection and Mapping with an Advanced Multi-Temporal Satellite Optical Technique. *Remote Sens.* 2023, 15, 683. <https://doi.org/10.3390/rs15030683>, (2023).
- [28] Faruolo, M., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V.: On the Potential of the RST-FLARE Algorithm for Gas Flaring Characterisation from Space, *Sensors*, 18(8), 2466, doi:10.3390/s18082466, (2018).
-

L'Evoluzione della Costellazione COSMO-SkyMed

Maria Virelli¹, Deodato Tapete¹, Silvia Natalucci¹

¹Agenzia Spaziale Italiana

Keywords COSMO-SkyMed, Osservazione della Terra.



1. INTRODUZIONE

A 19 anni dal lancio del primo satellite (avvenuto il 7 giugno 2007), la costellazione COSMO-SkyMed è passata da un sistema sperimentale a una delle infrastrutture di osservazione radar più avanzate al mondo, completando il passaggio alla Seconda Generazione (CSG). L'evoluzione di COSMO-SkyMed rappresenta uno dei percorsi di eccellenza tecnologica più significativi dell'industria aerospaziale italiana. In quasi due decenni, il sistema è passato da una "semplice" costellazione di quattro satelliti a un'infrastruttura dinamica e resiliente che ha ridefinito gli standard dell'osservazione radar globale. Il sistema è nato con una missione pionieristica: essere la prima costellazione radar al mondo progettata per uso duale (civile e militare).

L'Era della Prima Generazione (CSK - 2007-2010):

- Lanciata tra il 7 giugno 2007 e il 2010, ha introdotto la capacità di osservare la Terra attraverso le nuvole e di notte utilizzando la Banda X.
- Ha garantito per oltre quindici anni tempi di rivisitazione rapidissimi, essenziali per il monitoraggio dei rischi naturali e la sicurezza nazionale.

L'Era della Seconda Generazione (CSG - dal 2019 ad oggi):

- L'evoluzione ha puntato sulla continuità operativa e sul

salto tecnologico.

- Con il recente lancio del terzo satellite di seconda generazione (CSG-FM3) il 3 gennaio 2026, la costellazione ha potenziato ulteriormente la sua capacità di risposta.
- Entro il 2027, con il lancio del quarto satellite CSG, il sistema sarà composto integralmente da unità di nuova generazione

La timeline dettagliata nella figura seguente.

Nel 2022 e 2025 è stato messo in atto il processo di disposal di due dei satelliti della Prima generazione della costellazione COSMO-SkyMed.

La fase di disposal è una fase critica gestita dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e dal Ministero della Difesa per garantire la sostenibilità spaziale e prevenire la formazione di detriti in orbita. La fase di disposal comporta una fase di rientro in atmosfera: i satelliti COSMO-SkyMed operano in orbita bassa terrestre (LEO), a circa 620 km di altitudine. Al termine della loro vita operativa, vengono effettuate manovre di abbassamento dell'orbita (de-orbiting) a circa 550 km in modo da favorire un rientro nell'atmosfera terrestre nell'arco di 25 anni. Dopo l'abbassamento dell'orbita i satelliti sono "passivati", questo comporta lo svuotamento dei serbatoi di carburante residuo e la scarica delle batterie per eliminare ogni fonte di energia interna che potrebbe causare esplosioni e quindi frammentazioni accidentali nello spazio.

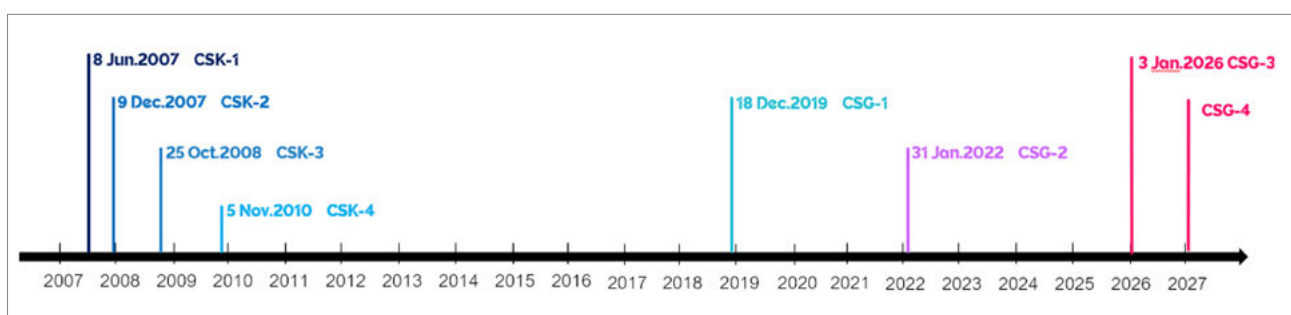


Fig.1. Time line dei lanci dei satelliti della costellazione COSMO-SkyMed

2. INNOVAZIONI TECNICHE DELLA SECONDA GENERAZIONE

Rispetto alla prima serie, i satelliti attuali presentano miglioramenti radicali in termini di flessibilità e precisione:

- **Acquisizione Simultanea Multi-Area:** I nuovi satelliti sono gli unici al mondo in grado di acquisire due immagini contemporaneamente in aree distanti centinaia di chilometri. Grazie a una nuova antenna radar a scansione elettronica, i satelliti CSG possono catturare due immagini contemporaneamente in zone geograficamente distanti, risolvendo i conflitti di priorità tra utenti diversi.
- **Risoluzione Ultra-Fine (UHR):** è stata introdotta la modalità Ultra-High Resolution (UHR), con immagini sub-metriche che permettono di vedere dettagli dell'ordine di pochi decimetri. Le immagini hanno ora una qualità superiore, con risoluzioni che scendono

sotto il metro (fino a 0,4 x 0,5 m nella modalità Spotlight-2A), permettendo analisi di dettaglio precedentemente impossibili.

- **Polarimetria Avanzata:** i satelliti CSG sono molto più "agili" meccanicamente ed elettronicamente, con sensori a polarizzazione quadrupla che permettono di distinguere meglio i materiali e le caratteristiche della superficie terrestre. Mentre la prima generazione lavorava principalmente in polarizzazione singola o alternata, la seconda introduce la Quad-Pol, che permette di identificare con estrema precisione i materiali e lo stato della vegetazione analizzando la firma radar completa del bersaglio.
- **Precisione Millimetrica:** l'integrazione di tecnologie come il Laser Retroreflector Array (sviluppato dall'INFN) consente di determinare la posizione del satellite con un'accuratezza senza precedenti, migliorando la georeferenziazione delle immagini.

Scansar	CSK			CSG		
	Max resolution (Azimuth x Range)	Polarization	Scene size (Azimuth x Range)	Max resolution (Azimuth x Range)	Polarization	Scene size (Azimuth x Range)
Wide	22 x 13,5 m	Single	100 x 100 Km			
Huge	38 x 13,5 m	Single	200 x 200 km			
ScanSAR-1				20 x 4 m	Single/Dual	100 x 100 Km
ScanSAR-2				40 x 6 m	Single/Dual	200 x 200 km

Stripmap	CSK			CSG		
	Max resolution (Azimuth x Range)	Polarization	Scene size (Azimuth x Range)	Max resolution (Azimuth x Range)	Polarization	Scene size (Azimuth x Range)
HIMAGE	3 x 3 m	Single	40 x 40 Km	3 x 3 m	Single/Dual	40 x 40 Km
Ping Pong	15 x 15 m	Alternating	30 x 30 km	12 x 5 m	Alternating	30 x 30 Km
Quad POI				3 x 3 m	Quad	40 x 15 Km

Spotlight	CSK			CSG		
	Max resolution (Azimuth x Range)	Polarization	Scene size (Azimuth x Range)	Max resolution (Azimuth x Range)	Polarization	Scene size (Azimuth x Range)
Spotlight-2	1 x 1 m	Single	10 x 10 Km	0,4 x 0,5 m	Single/Dual	3,5 x 7 Km
Spotlight-2A				0,6 x 0,6 m	Single/Dual	10 x 10 Km
Spotlight-2B				0,4 x 0,8 m	Single/Dual	5 x 10 Km
Spotlight-2C						

Standard Acquisition Modes Product Quality and Feature Summary at processing level L1A

Fig.2. Confronto tra i sensor mode della prima e della seconda generazione

3. IMPATTO STRATEGICO E APPLICATIVO

L'infrastruttura di terra ha archiviato oltre 4,3 milioni di immagini, coprendo una superficie pari a 20 volte l'intera Terra. Questi dati sono oggi fondamentali per:

- Gestione Emergenze: Supporto cruciale in caso di terremoti, alluvioni e uragani (come documentato per i

terremoti in Italia Centrale, frana di Niscemi, Alluvioni nel centro Italia, terremoto in Turchia e il ciclone Nargis in Myanmar).

- Economia e Sostenibilità: Monitoraggio dell'agricoltura di precisione, controllo dell'inquinamento marino e verifica dell'erosione costiera.

Riferimenti bibliografici

1. Deodato Tapete, Antonio Montuori, Giovanni Paolo Blasone, Matteo Picchiani, Maria Virelli, Simona Zoffoli, Silvia Natalucci, Claudia Facchinetti, Vincenzo Pulcino, Francesco Longo, Diego Calabrese, *Insights from scientific applications of COSMO-SkyMed Second Generation data for future downstream*, EUSAR 2026
 2. Axel Addone, Giuseppe Catalano, Silvia Natalucci, Maria Virelli, Antonio Montuori, Francesco Tatarannic, Marco di Clemente, Daniele Santese, Rino Lorusso, Angelo Daniele Ciminelli, Vincenzo Martucci, Rita Carpentiero, Luigi de Angelis, *Cosmo-SkyMed Mission Outline*, EUSAR 2026
 3. G. Inserra, A. Buono, F. Nunziata, M. Virelli & M. Migliaccio *On the extraction of the reservoirs' waterline using polarimetric X-band SAR measurements: the case study of the San Giuliano reservoir, Italy*, *International Journal of Remote Sensing*, 44:19, 6060-6088, DOI: 10.1080/01431161.2023.2261152 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2261152>
 4. A. Russo, I. Della Giovampaola, D. Spizzichino, G. Leoni, A. Coletta, And M. Virelli *The Project of Parco Archeologico Del Colosseo and the Italian Network of Archaeological Parks: From Satellite Monitoring to Conservation and Preventive Maintenance Policies, Sustainable Conservation of UNESCO and Other Heritage Sites Through Proactive - Febbraio 2023* Editors: Gad Mohamed El-Qady · Claudio Margottini *Geosciences* ISSN 2197-9545 ISSN 2197-9553 (electronic) Springer Geology ISBN 978-3-031-13809-6 ISBN 978-3-031-13810-2 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-031-13810-2>
 5. Mazzanti P., Scancelli S., Virelli M., Frittelli S., Nocente V., Lombardo F, *Assessing the performance of multi-resolution satellite SAR. images for post-earthquake damages detection and mapping*. *Remote Sensing of Environment*. 2022, 14, 2210. <https://doi.org/10.3390/rs14092210>
-

Karst wild fires impact mapping using SENTINEL 2 and NASA ECOSTRESS data in QGIS

Raffaella Cefalo¹, Blaž Barborič², Martin Puhar³, Fikrey Tesfay Tewelde¹

¹GeoSNav Lab, Department of Engineering and Architecture, University of Trieste raffaella.cefalo@dia.units.it, fikreytesfay.tewelde@dia.units.it

²Geodetic Institute, Ljubljana, Slovenia blaz.barboric@gis.si

³IGEA d.o.o., Ljubljana, Slovenia martin.puhar@igea.si

Keywords

Remote Sensing, Land Surface Temperature, ECOSTRESS (ECOsysteM Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station), QGIS (Quantum GIS), wild fire.



EXTENDED ABSTRACT

In July 2022, a series of devastating, cross-border blazes burned over 3,705 hectares of the western forest Karst between Italy and Slovenia [1]. Driven by severe heatwaves and prolonged drought, the fires were the largest in the Karst recent history, requiring a massive international firefighting response. Wildfires are a major ecological factor shaping vegetation and landscape, and their impacts are projected to escalate due to global warming: the intensity, frequency and extent of fires are increasing all over the world, with dramatic consequences on habitats [2][3].

The fires ignited in mid-July 2022 and spread rapidly over 17 days. The main affected area were the Municipalities of Miren-Kostanjevica, Renče-Vogrsko, and Devin-Nabrežina. The firefighting operations were severely hindered by shifting winds, intense heat, and unexploded ordnance left over from the First World War. Over 15,000 firefighters, the Slovenian Armed Forces, Civil Protection, Red Cross, the Slovenian Forest Service, the Health Service and the Police units were deployed and involved in fighting the fire and saving lives and properties. Assets and personnel were dispatched from neighboring countries, including Italy, Croatia, Austria, Hungary, Serbia, Slovakia, and Romania. The fires destroyed approximately 50% of the biomass in the affected forest areas, especially in black pine plantations. To prevent a repeat of the disaster, local governments and environmental agencies, i.e. such as those involved in the Karst Firewall 5.0 Project [4] and Karst-Safe [5] have focused on restoring the Karst cultural landscape to make it more fire-resistant. These efforts include managing overgrown grasslands and restoring traditional grazing practice. Meteorological factors play a crucial role in the setting and spreading of wildfire and

are an important factor in the resulting fire severity. Fire risk indices may be based on single or combined use of meteorological observations, weather forecast model outputs and remote sensing estimations. The latter are particularly useful to identify pre-fire indicators (e.g. signals of vegetation stress), which merged with meteorological parameters may lead to the formulation of indicators of fire risk [6].

LST is the ground skin temperature and it's mainly related to the albedo, the vegetation cover and the soil moisture. LST is important for evaluating and describing such processes as the exchange of energy and water between the land surface and atmosphere and influences the rate and timing of plant growth.

NASA, NOAA, ESA and other organizations have decades of LST data from an array of instruments. ECOSTRESS (ECOsysteM Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station) is a NASA mission designed to measure the surface temperatures from the International Space Station (ISS) [7]. It captures high-resolution thermal infrared data at a 70 meters resolution. The objective of the on-going research is to demonstrate the feasibility of the land surface temperature extraction from ECOSTRESS data and its application to wild fires risk analysis for modelling and prevention purposes. Different analysis have been performed: Copernicus Sentinel 2 images were used to compute the NDVI using SCP (semi-automatic classification plug-in) in QGIS; NASA ECOSTRESS data allowed to map the LST over the Province of Trieste, Italy. In **Figure 1**, the 24th July 2022 fired area derived from Sentinel 2 images is shown: the map was built in the framework of Italy-Slovenia IN4SAFETY Interreg Project and it is published on the Harmo-Data and IN4SAFETY Geoportal <https://harmo-data.units.it/geoportal/search/index.html> [8-10]. The IN4SAFETY Interreg Italy-Slovenia Project objecti-

ve was to promote the resilience capacity to climate changes and the prevention of risks linked to natural calamities, strenghtening the cross-border cooperation between local authorities and the rescue service teams with the redaction of two action plans, the integration of territorial data and joint rescue teams exercises. In Figure 2, LST mapping for the Province of Trieste is

shown, derived from the analysis of NASA ECOSTRESS data starting from 2018 till 2025; in the sequence, the last figure reports the mean values difference between 2018 and 2025. The figures put into evidence the spatial distribution of the land surface temperatures highlighting the related potential risks to be analyzed together with the meteorological data and other key factors.

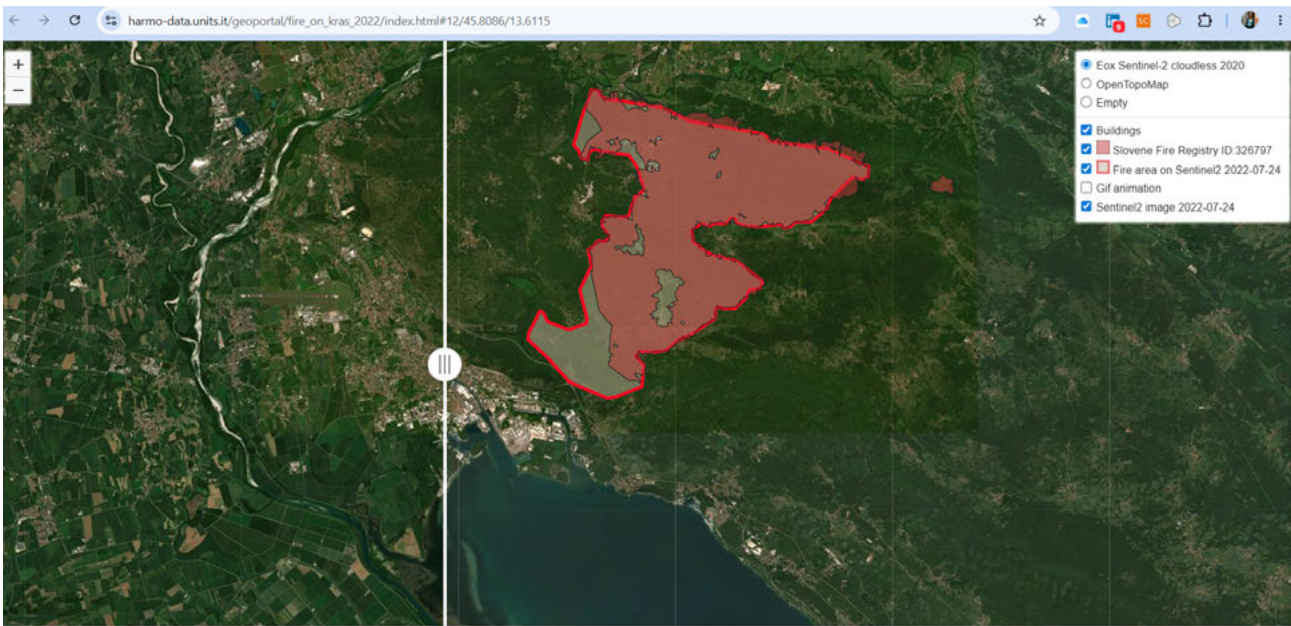


Fig.1. Karst Italy-Slovenia areas interested by the 2022 wild fires, on 24.07.2022 - Harmo-Data and IN4SAFETY Geoportal <https://harmo-data.units.it/geoportal/search/index.html>

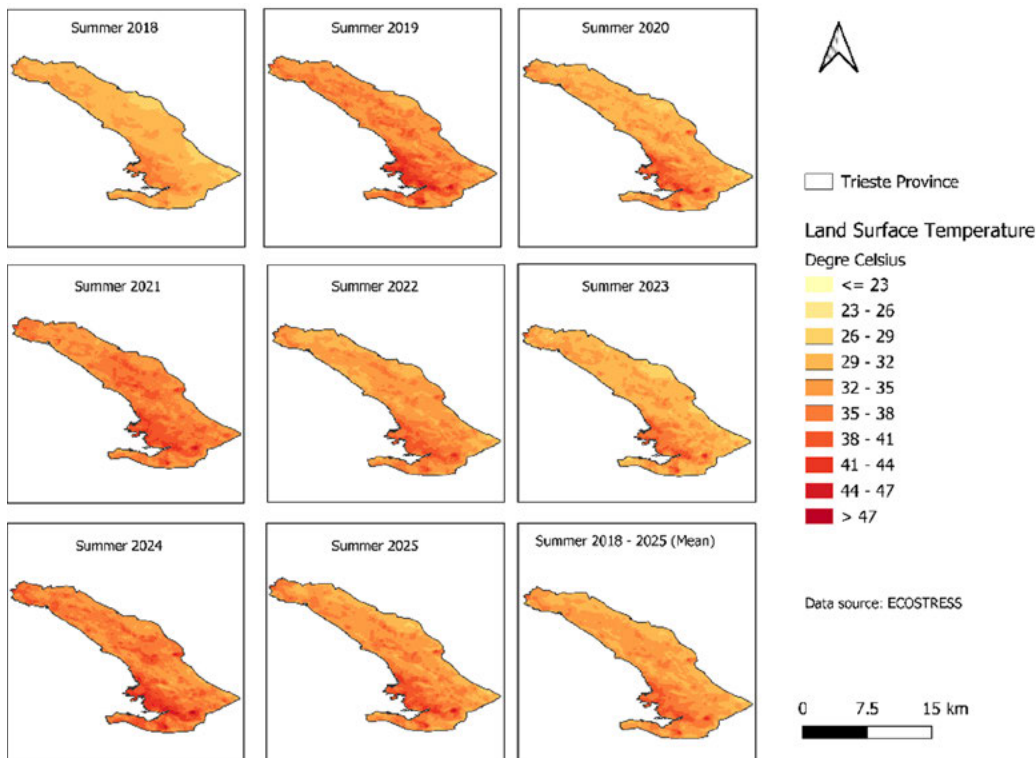


Fig.1. LST Mapping - Province of Trieste, Italy, the analysis considered the ECOSTRESS data from 2018 to 2025; in the sequence, the last figure reports the mean values differences between summer (June/July/August) 2018 and summer 2025.

Riferimenti bibliografici

- [1] GOV.SI, Photo exhibition »The Karst wildfire 2022«, Government Communication Office, <https://www.gov.si/en/news/2023-01-17-photo-exhibition-the-karst-wildfire-2022/>
 - [2] Castello, M., Petruzzellis, F., Bacaro, G.: How severe wildfires and climate change could drive post-fire recovery of low-elevation vegetation: data from the first field campaign of a monitoring survey in the Karts (North-East Italy). In: 57th International Congress Italian Society of Vegetation Science in the era of Nature Restoration, Book of Abstracts (2024). Italian Society of Vegetation Science, Pavia (2024).
 - [3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Glossary. In: *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press; 2023:2897-2930.
 - [4] Karst Firewall 5.0 Project <https://www.ita-slo.eu/en/news/karst%20firewall%205.0/1029>.
 - [5] KARST-SAFE Project, <https://www.ita-slo.eu/it/karst-safe>.
 - [6] Wild fires, LSA SAF System, <https://lsa-saf.eumetsat.int/en/data/products/fire-products/>.
 - [7] NASA ECOSTRESS <https://ecostress.jpl.nasa.gov/>.
 - [8] IN4SAFETY Geoportal <https://harmo-data.units.it/geoportal/search/index.html>
 - [9] IN4SAFETY Italy-Slovenia Interreg Project <https://www.ita-slo.eu/it/in4safety>
 - [10] Barborič, B., Cefalo, R., Chiarandini, A., De Zorzi, S., Tomaž, P., Puhar, M., Zanardo, M., Sluga, T., Tommasi, A., & Trivelloni, U. (2019), HARMO-DATA Project – cross border spatial data harmonization using INSPIRE model. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 14, 35-53
-

Quantifying and Mapping Climate-Dependent Uncertainty in FAO-56 Reference Evapotranspiration: Implications for Agricultural Water Management

Edoardo Ronco, Samuele De Petris, Enrico Borgogno Mondino

Department of Agricultural, Forest and Food Sciences (DiSAFA) - University of Turin, Largo P. Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO), Italy, (edoardo.ronco, samuele.depétris, enrico.borgogno)@unito.it

Keywords

Reference evapotranspiration; spatial uncertainty mapping; ERA5-Land; Google Earth Engine; Köppen climate classification.



ABSTRACT

Reference evapotranspiration (ET_0), estimated with the FAO-56 Penman-Monteith equation, is widely used in irrigation planning, crop water requirement estimation, hydrological modelling, and climate impact studies. Although ET_0 is often treated as a standard reference variable, its reliability depends on the quality of the meteorological data used in its calculation. Errors in temperature, radiation, humidity, wind speed, and pressure can propagate through the Penman-Monteith equation and affect agricultural water management estimates.

This study investigates how ET_0 uncertainty varies in space and how it changes across different climate conditions. ERA5-Land data are used to provide spatially continuous and physically consistent meteorological information, while input uncertainties are assigned according to standard measurement accuracies representative of operational meteorological observations. The workflow is implemented in Google Earth Engine, allowing large-scale processing and spatial mapping of ET_0 uncertainty.

The analysis adopts a climate-zone perspective to better interpret the spatial patterns of uncertainty.

This makes it possible to identify areas and climate types where ET_0 estimates are more sensitive to uncertainty in the input data. The contribution of different meteorological variables is also explored in order to understand which inputs are most important in controlling the uncertainty of ET_0 under different environmental conditions. Preliminary results show that ET_0 uncertainty is not spatially uniform.

Both the magnitude of the uncertainty and the dominant meteorological drivers vary across climate zones. This suggests that the reliability of Penman-Monteith-based water demand estimates depends not only on the quality of the input data, but also on the climatic context in which the model is applied. The proposed approach can support uncertainty-aware irrigation modelling, agricultural water management, and the design of more effective meteorological monitoring strategies.

The New Italian National Forest Inventory: Integrating Design-Based Inference and Remote Sensing for Forest Monitoring and Mapping

Giovanni D'Amico¹, Elia Vangi¹, Costanza Borghi¹, Davide Travaglini¹, Saverio Francini², Caterina Pisani³, Lorenzo Fattorini³, Sara Franceschi³, Marzia Marcheselli³, Walter Mattioli⁴, Giancarlo Papitto⁵, Piermaria Corona⁶, Gherardo Chirici¹

¹geoLAB - Laboratory of Forest Geomatics, Dept. of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence, Via SanBonaventura 13, 50145 Firenze, Italy. giovanni.damico@unifi.it, elia.vangi@unifi.it, costanza.borghi@unifi.it, davide.travaglini@unifi.it, gherardo.chirici@unifi.it

²Department of Science and Technology of Agriculture and Environment (DISTAL), University of Bologna, 40126 Bologna, Italy. saverio.francini@unibo.it

³Department of Economic and Statistics, University of Siena, P.zza S.Francesco, 7-8, 53100 Siena - Italy, Italy. caterina.pisani@unisi.it, lorenzo.fattorini@unisi.it, franceschi2@unisi.it, marzia.marcheselli@unisi.it

⁴CREA Research Centre for Forestry and Wood, Via Valle Della Quistione 27, 00166 Rome, Italy. walter.mattioli@crea.gov.it

⁵Arma Dei Carabinieri, Ambientali E Agroalimentari, Comando Unita Forestali, Via. G. Carducci 5, 00187 Rome, Italy. giancarlo.papitto@carabinieri.it

⁶Department for Innovation in Biological, Agro-Food and Forest Systems (DIBAF), University of Tuscia, Via S. Camillo De Lellis, 01100 Viterbo, Italy. piermaria.corona@unitus.it

Keywords

Enhanced forest inventory, Forestry, Remote sensing, Sustainable forest management, Tessellation stratified sampling.



1. INTRODUCTION

Forest ecosystems are increasingly affected by climate-driven disturbances, including large wildfires, prolonged droughts, windthrows, and biotic agents, which are progressively altering forest structure and functioning across Europe [1,2]. Consequently, national forest inventories (NFIs) are evolving from periodic survey systems focused on aggregated statistics toward continuous monitoring frameworks able to provide spatially explicit, temporally consistent, and statistically rigorous information products [3,4]. Recent advances in remote sensing technologies, including dense optical time series, airborne laser scanning (ALS), and high-resolution satellite imagery, have substantially expanded the operational potential of modern NFIs [5]. At the same time, the increasing integration of remotely sensed auxiliary information into inventory estimation and mapping procedures requires inferential frameworks able to preserve the design-based properties traditionally characterizing NFIs [7,8].

In this context, the new Italian NFI (IFNI) introduces an enhanced monitoring framework that integrates proba-

bilistic sampling inference, annual field observations, and remote sensing to support forest monitoring and spatial mapping [6]. Building on the transition from periodic to annual inventory cycles, IFNI adopts a two-phase rotating panel sampling design, combined with a remote sensing-assisted operational workflow, to support annual estimation, wall-to-wall mapping, and small-domain assessment. The two-phase rotating panel sampling strategy has been designed to ensure spatial balance, temporal consistency, and operational scalability at the national level [6,7]. The first phase relies on tessellation stratified sampling (TSS), with permanent first-phase points defined across the national territory through wall-to-wall on-screen interpretation supported by high-resolution orthophotos and multi-temporal optical imagery. The second phase consists of annual field surveys conducted according to a spatially balanced rotating panel scheme in which approximately one-fifth of the permanent sample is surveyed each year, thus enabling annual estimation while preserving consistency across the five-year inventory cycle [8]. IFNI introduces several innovations specifically aimed at strengthening the integration between field and remotely sensed data. A major advancement concerns the

adoption of high-precision GNSS instrumentation for plot positioning and tree geolocation, supporting permanent plot establishment, individual tree monitoring, and enhanced interoperability with high-resolution remote sensing products. The updated field protocol also includes tree-related microhabitats (TreMs), understory vegetation surveys, canopy crown measurements, and tree positioning, thereby providing an enriched reference dataset for remote sensing applications and ecological analyses [8].

2. REMOTE SENSING INTEGRATION

Within IFNI, remote sensing is not limited to preliminary stratification and photointerpretation activities but also supports spatial prediction and wall-to-wall mapping of forest attributes. Attention is devoted to maintaining statistical coherence between inventory estimation and mapping procedures through design-based inferential approaches [6,7]. In this perspective, mapping procedures are developed consistently with the probabilistic sampling design, allowing the statistical properties of estimators and maps to derive directly from the sampling framework itself.

Current activities focus on integrating optical remotely sensed predictors derived from dense satellite time series, including harmonic metrics that characterize seasonal vegetation dynamics. Such predictors are integrated within design-based and model-assisted frameworks to support the spatial prediction of forest variables. The availability of high-quality field and remotely sensed data also enables the implementation of alternative small area estimation (SAE) approaches aimed at improving estimation precision within local domains

characterized by limited sample support. Additional experimentation is ongoing to evaluate the operational integration of machine learning techniques within model-assisted and design-based frameworks for forest attribute prediction and wall-to-wall mapping.

Current investigations mainly focus on maintaining consistency between mapped products and probabilistic inference while improving prediction capability and operational scalability.

Future developments will benefit significantly from the availability of national airborne laser scanning (ALS) and IRIDE data products. The integration of dense optical time series, ALS-derived structural predictors, and annual field observations is expected to substantially improve IFNI's capabilities to produce high-resolution forest information layers and support continuous disturbance monitoring [9].

3. CONCLUSIONS

The new IFNI represents a substantial evolution of the Italian forest monitoring system. The transition from periodic to annual inventory cycles, combined with spatially balanced rotating panels and remote sensing-assisted workflows, enables the production of temporally consistent and spatially explicit forest information products for national and international reporting purposes. The integration of probabilistic sampling inference with advanced remote sensing methodologies, including coherent design-based and model-assisted mapping approaches, allows IFNI to support continuous spatial forest monitoring while preserving the inferential rigor characterizing modern NFIs.

Riferimenti bibliografici

- [1] Forzieri, G., Girardello, M., Ceccherini, G., Spinoni, J., Feyen, L., Hartmann, H., ... & Cescatti, A.: Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature communications*, 12(1), 1081 (2021).
 - [2] Giannetti, F., Pecchi, M., Travaglini, D., Francini, S., D'Amico, G., Vangi, E., ... & Chirici, G.: Estimating VAIA windstorm damaged forest area in Italy using time series Sentinel-2 imagery and continuous change detection algorithms. *Forests*, 12(6), 680 (2021).
 - [3] Ferretti, M., Gessler, A., Cools, N., Fleck, S., Guerrieri, R., Jakovljević, T., ... & Sanders, T. G.: Perspectives: Resilient forests need joint forces for better inventorying and monitoring. *Forest Ecology and Management*, 561, 121875 (2024).
 - [4] Bontemps, J. D., & Bouriaud, O. (2024). Take five: about the beat and the bar of annual and 5-year periodic national forest inventories. *Annals of Forest Science*, 81(1), 53.
 - [5] White, J. C., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P.: Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(5), 619-641 (2016).
 - [6] Fattorini, L., Franceschi, S., & Pisani, C.: Design-based consistent strategies exploiting auxiliary information in environmental mapping. *JOURNAL OF AGRICULTURAL BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL STATISTICS*, 1-17 (2024).
 - [7] D'Amico, G., Chirici, G., Campetella, G., Canullo, R., Cervellini, M., Chelli, S., ... & Corona, P.: National Forest Inventory in Italy: new perspectives for forest monitoring. *Annals of Forest Science*, 82(1), 35 (2025).
 - [8] Franceschi, S., Pisani, C., Fattorini, L., & Corona, P.: Statistical considerations for enhanced forest resource mapping. *Silva Fennica*, 59(2) (2025).
 - [9] Fassnacht, F. E., White, J. C., Wulder, M. A., & Næsset, E.: Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(1), 11-37 (2024).
-

Ricostruzione della mappa di temperatura superficiale a scala più fine in ambito urbano mediante Machine Learning

Marco Ventura, Emanuele Mandanici, Gabriele Bitelli¹

¹ Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali - DICAM

Keywords

LST, Remote Sensing, MODIS, Landsat, Upsampling, Downscaling, Machine Learning, UHI.



ABSTRACT

Il monitoraggio della Surface Urban Heat Island richiede dati di temperatura superficiale in grado di rappresentare sia la variabilità spaziale urbana sia la dinamica temporale dei processi termici (Stewart & Oke, 2012).

I prodotti MODIS Land Surface Temperature garantiscono continuità temporale e osservazioni frequenti, ma risultano limitati nella descrizione della variabilità intra-urbana, mentre i dati Landsat offrono maggiore dettaglio spaziale a fronte di una copertura temporale meno densa. In questo studio viene sviluppato un framework di downscaling basato su machine learning per ricostruire campi di Land Surface Temperature ad alta risoluzione sulla città di Bologna, integrando osservazioni satellitari multi-sorgente, variabili ambientali,

informazioni morfologiche urbane e dati meteorologici. La metodologia si basa sulla predizione del residuo termico tra osservazioni a diversa scala spaziale, consentendo al modello di apprendere la componente fine-scala della variabilità termica urbana mantenendo la coerenza con il segnale MODIS originale, in continuità con gli approcci di thermal sharpening e downscaling termico sviluppati in letteratura (Kustas et al., 2003). Per rappresentare la non stazionarietà delle relazioni tra vegetazione, urbanizzazione, condizioni atmosferiche e temperatura superficiale, il modello viene inoltre addestrato separatamente in differenti regimi termo-vegetazionali. La validazione mostra buone capacità di ricostruzione della variabilità termica urbana, con prestazioni più robuste nelle condizioni caratterizzate da bassa copertura vegetale e minore eterogeneità atmosferica. Le analisi di interpretabilità evidenziano il

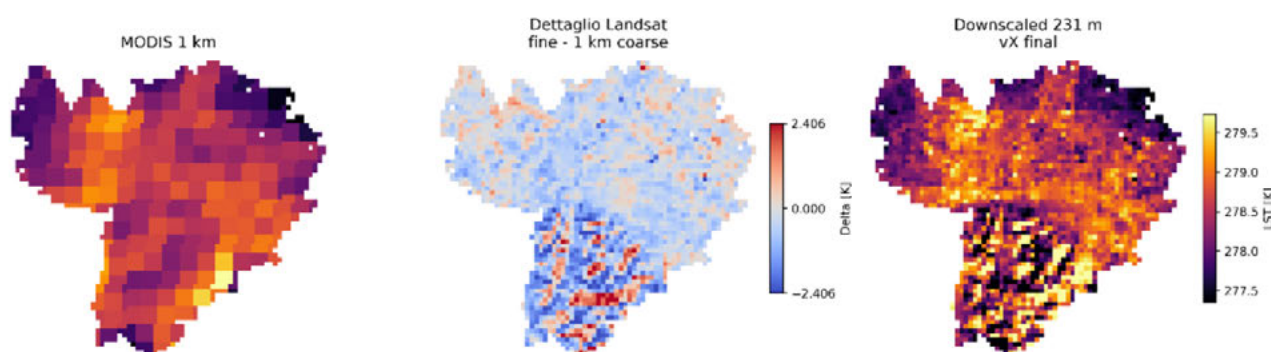


Fig.1. Confronto tra il prodotto MODIS originale, il dettaglio termico fine-scala derivato da Landsat e la LST upsampld finale prodotta dal framework proposto per la scena del 7 dicembre 2021.

ruolo dominante della struttura urbana, dello stato della vegetazione, delle caratteristiche topografiche e delle proprietà della superficie nel controllo della distribuzione termica fine-scala.

I risultati dimostrano che il framework proposto consente di migliorare la rappresentazione spaziale della temperatura superficiale mantenendo coerenza con

il segnale termico originale, fornendo uno strumento utile per il monitoraggio climatico urbano e il supporto alle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, coerentemente con recenti sviluppi dei metodi di downscaling basati su Random Forest e machine learning (Hutengs & Vohland, 2016; Ebrahimi & Azadbakht, 2019).

Riferimenti bibliografici

1. Stewart, I.D., Oke, T.R.: *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12), 1879–1900 (2012).
 2. Kustas, W.P., Norman, J.M., Anderson, M.C., French, A.N.: *Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index–radiometric temperature relationship*. *Remote Sensing of Environment* 85(4), 429–440 (2003).
 3. Hutengs, C., Vohland, M.: *Downscaling land surface temperatures at regional scales with random forest regression*. *Remote Sensing of Environment* 178, 127–141 (2016).
 4. Ebrahimi, H., Azadbakht, M.: *Downscaling MODIS land surface temperature in an urban area using remote sensing indices and random forest regression*. *Remote Sensing* 11(20), 2449 (2019).
-

Microwave remote sensing applications to natural surfaces: history and latest developments of the research

Simonetta Paloscia, Emanuele Santi, Simone Pettinato, Paolo Pampaloni¹

¹CNR-IFAC, s.paloscia@ifac.cnr.it

Keywords

Microwave remote sensing, retrieval algorithms, soil moisture maps, vegetation biomass.



The Microwave Remote Sensing Group (MERSG) of CNR-IFAC is active in the field of microwave research on natural surfaces (soil covered by agricultural-forestry vegetation and snow) using microwave sensors, both active and passive, since the first 80s. Experimental campaigns, electromagnetic modeling and inversion algorithm implementation have been and still are the main activities of the group. Microwave observations make it possible to collect information on soil and vegetation characteristics, to estimate soil moisture content, even under a dense vegetation layer, agricultural and forest biomass, as well as monitoring the water status of crops. The combined use of optical/microwave sensors leads to an accurate knowledge of the water status of the soil/vegetation system, with possible applications to water management also in view to the mitigation of the effects of climate change, thanks to a better optimization of natural resources. The multi-frequency satellite data collected and subsequently processed allow the generation of multi-temporal maps in near-real time concerning several parameters of soil and vegetation. This information is suitable for generating multi-temporal maps on regional scale.

Wanting to give a very brief overview of remote sensing activities in Italy, we cannot omit the birth of two national societies that could bring together all Italian scholars connected to the topic of remote sensing. We came in contact with a group of Milan led by Prof. Cassinis who dealt with visible/infrared measurements aimed at geology. The problem also arose of how to translate Remote Sensing into Italian and, in the end, the term "Telerilevamento" was coined [1]. The people of Milan preferred to proceed alone by creating the SITE (Italian Remote Sensing Society) and we responded to this initiative by founding the AITA (Italian Association of Remote Sensing Applied to Agriculture) [2]. We are therefore at

a date practically coinciding with the birth of the IEEE-GRSS in the USA. The two societies held a first joint scientific meeting in Pisa in 1980 and at the end joined in AIT 40 years ago.

Several experimental campaigns have been carried out by MWRSG by using microwave sensors from aircraft/ground-based and satellite platforms in international and local test sites over time. Some agricultural and forest areas have been selected in Italy as well as snow covered areas in the Dolomites.

The experimental data served at assessing the relationships between multi-frequency and multi-polarization microwave data and the main parameters of soil, snow and vegetation with the aim of verifying the sensitivity to geophysical parameters and select the best combination of frequencies and polarizations for the retrieval of the target parameters.

These preliminary experimental results have been confirmed by satellite investigations and global maps of soil moisture (SM), plant water content (PWC), and snow depth or snow water equivalent (SD/SWE) were obtained through algorithms implemented at IFAC using microwave and optical satellite data, as Sentinel-1, Sentinel-2, COSMO-SkyMed, AMSR2/3, and SMAP. After a first pioneering phase, more recently we start developing retrieval algorithms based on machine learning (AI) approaches for estimating the main parameters of soil and vegetation. One of the first algorithm was HydroAlgo implemented at IFAC [3] and based on Artificial Neural Networks, ANN trained by using both experimental and electromagnetic model data. HydroAlgo is able to estimate SM, PWC and SD/SWE at a global scale from the AMSR-E and AMSR-2/3 multifrequency acquisitions. One of the peculiar aspects of HydroAlgo is represented by the disaggregation algorithm (SFIM) [4], which im-

proves the spatial resolution of the output products up to about 10x10 Km². The flowchart of the algorithm is shown in Fig.1.

Recent developments of our activities deal with the integration of data coming from both active and passive microwave sensors, with the aim of increasing the spatial resolution of microwave radiometric data, which suffer of a scarce ground resolution (in the order of tens of kilometers) but have a significant sensitivity to ground parameters and are characterized by high revisiting frequency, by using SAR images which instead have a high spatial resolution (a few meters).

The ML method for estimating PWC at high resolution is composed of three steps: as first, a fully supervised crop classification map is generated by using CosmoSkyMed (CSK) data in a deep learning based implementation aimed at separating the crops characterized

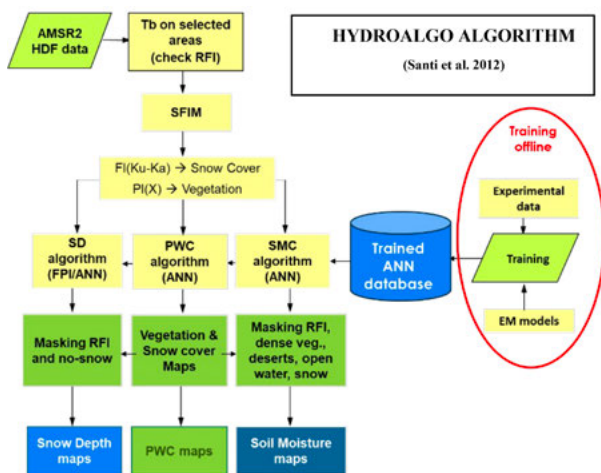


Fig.1. The flowchart of the HydroAlgo algorithm developed at IFAC-CNR (Santi et al. 2012)

by σ^0 increasing with vegetation biomass (broad leaves) from those characterized by decreasing σ^0 when biomass increases (narrow leaves). In the second step, SM maps at high resolution have been generated by using a ML approach based on ANN, in which SAR images are used for disaggregating low resolution (10 km) SM generated from AMSR2 radiometer by the IFAC's HydroAlgo algorithm. In the third and last step, the CSK images are used as input of the ANN algorithm for PWC retrieval, together with the classification map and the SM HR data. The ANN training follows a hybrid data+model driven approach in which the experimental measurements are combined with data simulated by a forward e.m. model.

The validation of the PWC algorithm for all the crop classes is shown in Fig. 1 as scatterplot of PWC estimated as a function of in-situ measurements: the statistics are $R=0.91$, $RMSE=1.17$ kg/m² and $BIAS=-0.22$ kg/m².

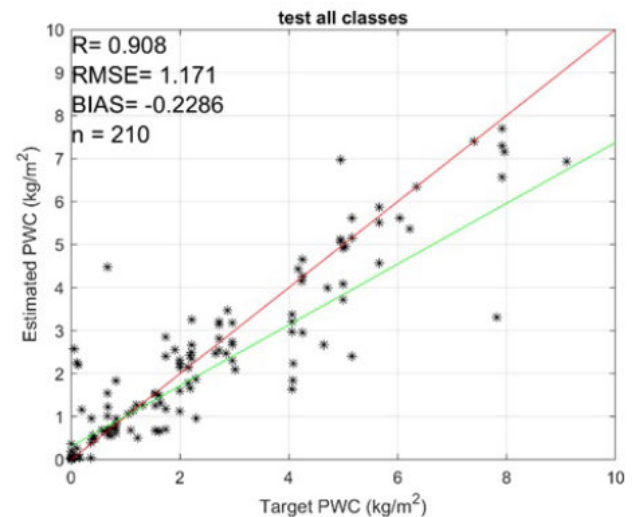


Fig.1. PWC estimated by the algorithm as a function of in-situ data for the considered crops

Riferimenti bibliografici

- [1] P. Pampaloni "Telerilevamento in Agricoltura". Tavola rotonda su 'Problemi e prospettive della fisica del suolo in Italia'. Milano, 1979.
- [2] V. Cappellini, G. Lechi, P. Pampaloni, P. Tomasoni. "Piattaforme e sensori per il TLR in Italia" Atti Convegno S.I.T.E. - A.I.T.A., p. 207-214. Pisa, 1980.
- [3] E. Santi, S. Pettinato, S. Paloscia, P. Pampaloni, G. Macelloni, and M. Brogioni, 2012, "An algorithm for generating soil moisture and snow depth maps from microwave spaceborne radiometers: HydroAlgo", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, pp. 3659-3676
- [4] E. Santi, 2010, An application of the SFIM technique to enhance the spatial resolution of spaceborne microwave radiometers, *International Journal of Remote Sensing*, 31:9, 2419-2428

La space economy italiana nell'era di IRIDE - dati, servizi e valore pubblico

Marco Di Fonzo¹

¹Gen. B. (ris) CC specialità forestale Dott. Marco Di Fonzo, Direttore dell'Osservatorio sulla space economy italiana dell'Università Pegaso marco.difonzo@unipegaso.it

Keywords IRIDE, Downstream, AGEA, Telerilevamento, Geomatica



LA SPACE ECONOMY ITALIANA NELL'ERA DI IRIDE- DATI, SERVIZI E VALORE PUBBLICO

La space economy non è più un settore verticale. È l'infrastruttura informativa del Paese – trasversale all'agricoltura, alla gestione del territorio, alla prevenzione dei rischi naturali, al contrasto ai crimini ambientali. In Italia, questo cambiamento di paradigma è già in atto: il settore genera 1,96 miliardi di euro di valore aggiunto e 23.100 occupati (full-time equivalent, FTE),¹ con il segmento downstream – la trasformazione dei dati satellitari in servizi operativi – che rappresenta il 48,7% del totale e una produttività per addetto (75.794 €/FTE) superiore alla media manifatturiera nazionale.

PRIMA DI IRIDE: IL SISTEMA AGEA-AMS

Prima di IRIDE, l'Italia ha costruito un sistema che non ha equivalenti in Europa: il binomio AGEA-AMS. L'Area Monitoring System di AGEA – fondato su immagini Sentinel-Copernicus, machine learning e geo-tag – gestisce oltre un milione di parcelle agricole nazionali in monitoraggio continuo, ha eliminato la necessità di controlli fisici a campione su larga scala e ha prodotto una riduzione documentata delle rettifiche finanziarie europee per 0,90 miliardi di euro già accettata dalla Commissione europea, su un contenzioso totale di 2,61 miliardi. Questo risultato – dichiarato dal Direttore Generale AGEA alla Commissione parlamentare il 25 marzo 2026² – non è una proiezione: è un fatto verificato da organismi di audit europei indipendenti.

La Commissione europea e la Corte dei conti europea hanno incluso AGEA-AMS tra le best practices continentali nel monitoraggio satellitare delle superfici agricole, con richieste di approfondimento tecnico da parte di amministrazioni di Francia, Albania, Ungheria, Macedonia del Nord, Corea del Sud e Uzbekistan. AGEA-AMS dimostra che la space economy pubblica non è un investimento tecnologico a rendimento incerto: è una rifor-

ma amministrativa con ritorno misurabile, che migliora la qualità della spesa, riduce il contenzioso europeo e rafforza la credibilità istituzionale del Paese.

IRIDE: L'INFRASTRUTTURA ABILITANTE STRUTTURALE

La **costellazione IRIDE** – articolata in sei famiglie di satelliti (ottico ad alta risoluzione, SAR, iperspettrale, ottico wide-field, AIS marittimo, notturno) con un investimento PNRR di 1,49 miliardi di euro – è progettata per estendere la logica AGEA-AMS all'intero spettro delle politiche pubbliche ambientali e territoriali. I benefici economici annui stimati a regime, applicando moltiplicatori prudenziali inferiori al benchmark ESA (2,0-3,0 vs 3,8), si collocano tra 360 e 993 milioni di euro, articolati su rischio idrogeologico (165-495 milioni), prevenzione incendi boschivi (75-300 milioni), agricoltura PAC (12-18 milioni) e monitoraggio ambientale e territoriale.

Al maggio 2026, **IRIDE conta già 24 satelliti operativi in orbita** – obiettivo previsto dal PNRR centrato con 7 mesi di anticipo rispetto alla scadenza richiesta.³ Il percorso è stato articolato in due fasi: i primi 8 satelliti della costellazione ottica Eaglet II (OHB Italia) sono stati lanciati il 28 novembre 2025 a bordo di SpaceX Transporter-15; altri 8 sono stati aggiunti il 30 marzo 2026 con SpaceX Transporter-16. A questi si sommano gli 8 satelliti HEO (Hawk for Earth Observation) messi in orbita nella prima metà del 2025. Il pieno dispiegamento della costellazione Eaglet II a 24 esemplari è previsto entro fine 2026.

La prevista scadenza PNRR del 30 giugno 2026 segna la dimostrazione di operatività della costellazione; la piena erogazione dei macro-servizi è attesa entro il 2027. Il rischio principale non è tecnico: è il disallineamento temporale tra disponibilità dell'infrastruttura e maturità della domanda downstream da parte della PA. L'esperienza internazionale di Copernicus e COSMO-SkyMed indica che questo gap è mediamente di 3-5 anni. Il biennio 2026-2027 è la finestra critica per anticiparlo.

IL VINCOLO CHE NESSUN INVESTIMENTO INFRASTRUTTURALE RISOLVE DA SOLO: IL CAPITALE UMANO

L'Italia ha costruito la migliore infrastruttura di Osservazione della Terra della sua storia. Ma solo il 29% delle organizzazioni della filiera spaziale dispone di team dedicati all'innovazione,⁴ e il gap di competenze nella Pubblica Amministrazione – nelle discipline che abilitano l'utilizzo operativo dei dati satellitari: remote sensing, analisi geospaziale, modellistica ambientale, GIS avanzato – è il principale fattore di rischio per il dispiegarsi dei benefici downstream. IRIDE può essere il catalizzatore di una generazione di professionisti specializzati nella space economy applicata al territorio: geomatici, analisti EO, esperti di rischio ambientale, tecnici di pianificazione territoriale digitale, ingegneri di sistemi informativi geografici. Non sono figure di nicchia: sono le competenze che ogni Regione, ogni Autorità di bacino, ogni Agenzia ambientale, ogni Corpo di Polizia a vocazione ambientale dovrà avere in organico per valorizzare i servizi IRIDE. La domanda c'è – pubblica e strutturata. L'offerta di professionisti non è ancora adeguata. Questo richiede una scelta politica esplicita: sostenere le lauree STEM nelle discipline geospaziali e ambientali come investimento di sistema. Il meccanismo è circolare e virtuoso: più professionisti formati generano più domanda di servizi downstream, che genera più valore economico, che giustifica più investimento nella filiera, che crea più occupazione qualificata. Il costo di non farlo è misurabile: ogni anno di ritardo nell'integrazione dei servizi IRIDE nei procedimenti amministrativi corrisponde a benefici mancati nell'ordine di centinaia di milioni di euro e a competenze che si formeranno altrove.

SEI RACCOMANDAZIONI OPERATIVE PRIORITARIE

1. Cabina di Regia nazionale per il coordinamento della domanda downstream PA, con mandato esplicito sulla data policy IRIDE e sull'integrazione con Copernicus e INSPIRE.
2. Piano nazionale di formazione geospaziale per funzionari PA – ISPRA, Regioni, Autorità di bacino, Carabinieri Forestali, Protezione Civile – da avviare nel 2026, prima della piena operatività IRIDE.

3. Incentivi strutturali alle lauree STEM geospaziali: borse di studio, dottorati industriali con la filiera spaziale, contratti di formazione con PA utenti dei servizi IRIDE. Obiettivo: costruire entro il 2030 un mercato di 2.000-3.000 professionisti specializzati in EO e GIS applicato al territorio.
4. Standardizzazione dei servizi downstream per ridurre i costi di integrazione tra sistemi informativi e accelerare l'adozione nelle PA regionali e locali.
5. Osservatorio permanente per la valutazione sistematica degli impatti economici di IRIDE, con confronto annuale tra stime ex ante (360-993 M€/anno) e benefici effettivamente generati – strumento di accountability pubblica sull'investimento PNRR.
6. Meccanismi di finanziamento ordinario post-PNRR: le PA utenti devono inserire nei bilanci 2027 i costi dei contratti di servizio downstream, per un fabbisogno stimato di 150-200 milioni di euro annui.

LA POSTA IN GIOCO

L'Italia ha già dimostrato – con AGEA-AMS – di saper trasformare dati satellitari in valore pubblico certificato. Ha costruito un'infrastruttura – IRIDE – che nessun altro Paese europeo di analoghe dimensioni possiede nella stessa configurazione. Ha una filiera industriale riconosciuta (Thales Alenia Space, Leonardo, OHB Italia, Planetek, Argotec, Telespazio) e un ecosistema startup in crescita: terzo in Europa per investimenti in startup space nel 2024 (170 milioni di dollari; fonte: Novaspaces/Osservatorio Space Economy – Politecnico di Milano).⁵ Quello che manca non è la tecnologia.

Manca la scelta di investire nelle persone che la useranno. Senza una generazione di professionisti formati nelle discipline della space economy applicata, IRIDE rischia di diventare un'infrastruttura eccellente sottoutilizzata – esattamente come accadde con COSMO-SkyMed nei primi anni della sua vita operativa. Il turning point è il 2026-2027. Le condizioni per non sprecare questa opportunità si costruiscono adesso.

Riferimenti bibliografici

- [1] Dati ISTAT-ASI, elaborazione Osservatorio Space Economy – Politecnico di Milano, 2024. FTE (Full-Time Equivalent, occupato equivalente a tempo pieno): unità di misura standard che converte il numero di lavoratori – indipendentemente dalla tipologia contrattuale (tempo pieno, part-time, collaboratori) – in un numero equivalente di posizioni a tempo pieno. Un lavoratore a tempo pieno per 12 mesi = 1 FTE; due lavoratori part-time al 50% = 1 FTE. Il dato di 23.100 FTE rappresenta quindi il volume complessivo di lavoro generato dalla filiera spaziale italiana, espresso in termini di occupazione a tempo pieno equivalente.
- [2] Audizione del Direttore Generale AGEA Fabio Vitale, Commissione Agricoltura della Camera dei Deputati, 25 marzo 2026. Fonte: Agricolae.eu, trascrizione integrale.
- [3] ESA/OHB Italia, comunicato stampa 30 marzo 2026; ASI, comunicato stampa 29 novembre 2025. L'obiettivo PNRR per il dispiegamento delle prime costellazioni è stato centrato con 7 mesi di anticipo rispetto alla scadenza formale del 30 giugno 2026.
- [4] Osservatorio Space Economy – Politecnico di Milano, Space Economy Report 2024.
- [5] Novaspaces, Space Economy Report 2024, elaborazione Osservatorio Space Economy – Politecnico di Milano. Il dato include il mega-round D-Orbit (150 milioni di dollari). La classifica europea vede: Regno Unito 244M\$, Germania 223M\$, Italia 170M\$, Spagna 167M\$, Francia 139M\$.

Machine Learning Applications for High-Resolution Mapping of Soil Moisture from AMSR2 and Sentinel-1.

Emanuele Santi¹, Simonetta Paloscia, Simone Pettinato, Fabrizio Baroni, Giacomo Fontanelli, Leonardo Santurri

¹ CNR-IFAC, e.santi@ifac.cnr.it

Keywords

Microwave remote sensing, machine learning algorithms, soil moisture maps.



Microwave radiometers operating from space demonstrated very good capability to monitor surface soil moisture (SM) not only due to the suitable frequencies but also to the frequent revisiting. Nevertheless, coarse spatial resolution limits their effectiveness in applications that require fine-scale information, such as hydrological analyses in small catchments and precision agriculture.

To overcome this limitation, a novel downscaling approach is proposed in this study with the primary objective to enhance the SM spatial resolution of radiometer derived products from the native dozens of kilometers km to about 30 m. The method is based on machine learning (ML), namely Artificial Neural Networks (ANN) and Random Forests (RF), and it combines Sentinel-1 (S-1) synthetic aperture radar observations and SM estimated from JAXA's AMSR2 through the HydroAlgo algorithm developed at IFAC [1-2].

The underlying assumption is that the relationship between radar backscatter and SM, along with its dependence on surface roughness, vegetation characteristics, and observation geometry, remains consistent across spatial scales. Therefore, patterns learned at coarse resolution can be transferred to finer resolutions.

The methodology relies therefore on the creation of two complementary datasets, a *low-resolution* dataset in which data are sampled at AMSR2 resolution (10 km), and a *high-resolution* dataset in which data are sampled at the S-1 resolution (20m).

The *low-resolution* dataset includes temporally and spatially co-located data from multiple sources, such as AMSR2 derived SM, S-1 backscatter coefficients and auxiliary information. Aggregation of S-1 data is obtained

by iteratively filtering and resampling them starting from the native resolution until they match the spatial resolution of the AMSR2 grid.

The *high-resolution* dataset contains spatially coregistered S-1, auxiliary, and in-situ data at native resolution. This dataset is used to produce SM maps at high resolution and to perform validation.

Training is based on the *low-resolution* dataset: input of both ANN and RF models are the aggregated S-1 observations, including backscatter coefficients in VV and VH polarizations, and auxiliary information as the local incidence angle. Target is the HydroAlgo SM.

Trained ML models are then applied to the S-1 data at full spatial resolution from the *high-resolution* dataset, enabling the generation of SM maps at 30m resolution on a pixel-by-pixel basis. The flow-chart of the proposed method is shown in **Fig.1**.

The cal/val of the proposed downscaling has been carried out in two agricultural areas located in central Italy [3], where dedicated field campaigns were carried out between 2019 and 2020, to acquire the main parameters of soil and vegetation in correspondence with satellite overpasses.

A qualitative comparison of the original and disaggregated SM maps for a sample date in May 2020 is shown in **Fig. 2**. **Fig. 2 a)** shows the SM map at the native resolution of 10 km generated by HydroAlgo, while the corresponding SM map at 30 m generated by the disaggregation process is shown in **Fig. 2 b)**. The points in which the in-situ measurements have been carried out are shown by red and blue dots.

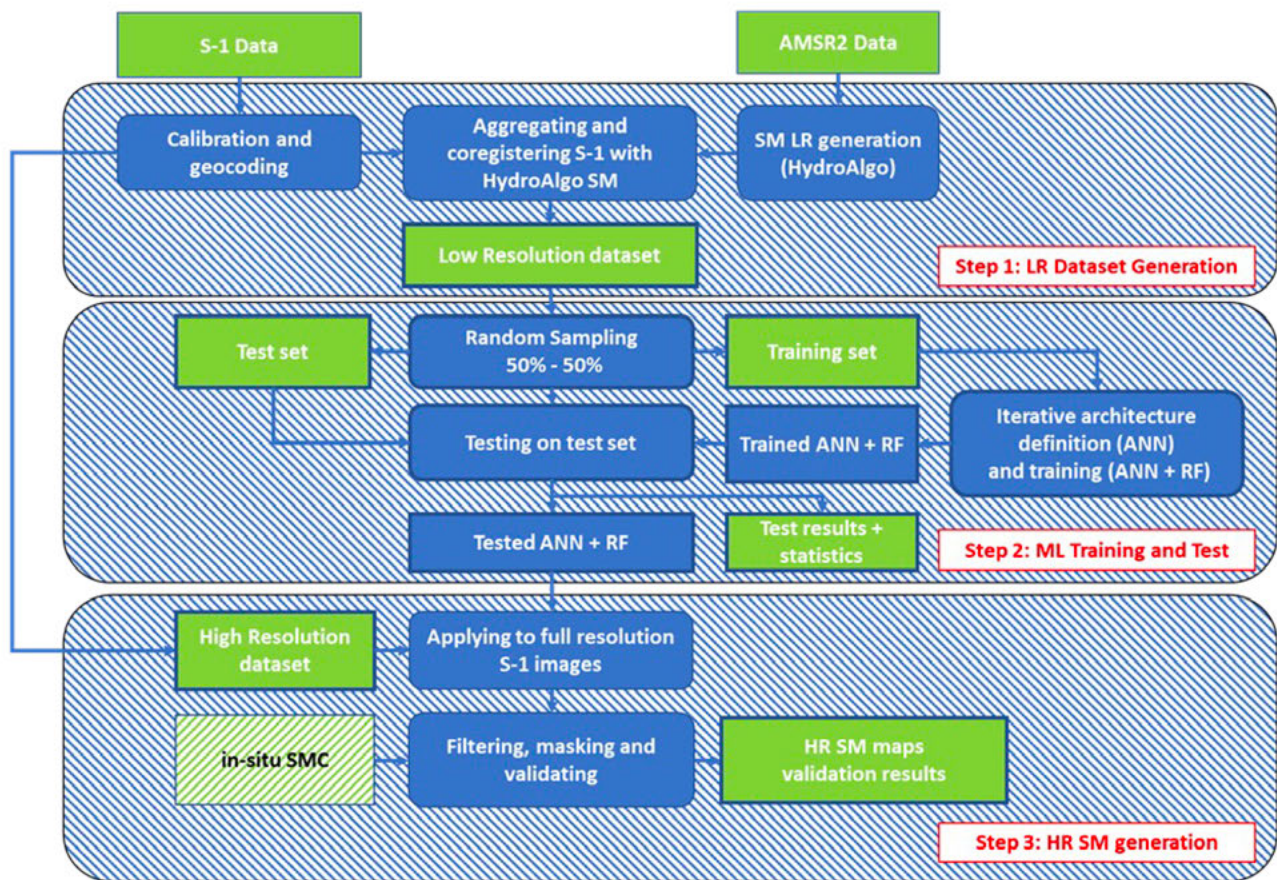


Fig.1. The flowchart of the proposed downscaling method

To evaluate the effective spatial resolution of the down-scaled SM, validation against in situ observations was conducted at multiple aggregation scales (10, 30, 50, and 70 m). The analysis demonstrated a clear improvement in performance at finer resolution: at 30 m resolution, the correlation coefficient reached $R=0.8$, with a root mean square error close to $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$. These

results indicate a substantial enhancement compared to the original coarse-scale product, which exhibited significantly lower correlation and higher error levels. A comparative performance analysis between the two ML implementations revealed that the ANN-based disaggregation generally outperforms the RF-based one in terms of accuracy and computational cost.

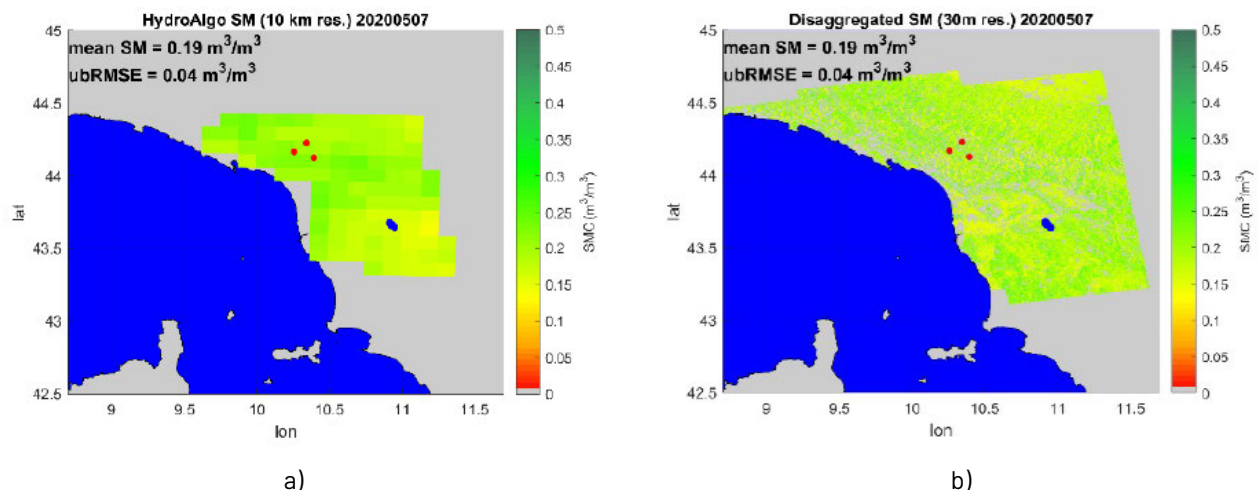


Fig.2. a) The original Hydroalogo SM map for a sample date in May 2020, b) the corresponding disaggregated SM at 30m resolution output of the disaggregation process. Red and blue dots show the location of in-situ measurements for the two test areas.

The overall results confirm that combining passive microwave observations with high-resolution SAR data through machine learning techniques is a promising

strategy for generating accurate SM maps at spatial scales suitable for operational applications, even in heterogeneous environments as the Italian landscape.

References

- [1] E. Santi, S. Pettinato, S. Paloscia, P. Pampaloni, G. Macelloni, and M. Brogioni, 2012, "An algorithm for generating soil moisture and snow depth maps from microwave spaceborne radiometers: HydroAlgo", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, pp. 3659-3676
 - [2] E. Santi, 2010, An application of the SFIM technique to enhance the spatial resolution of spaceborne microwave radiometers, *International Journal of Remote Sensing*, 31:9, 2419-2428
 - [3] E. Santi et al., 2024, High-Resolution Mapping of Soil Moisture by AMSR2 Data Disaggregation Based on Sentinel-1 and Machine Learning, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 17, pp. 15077-15088
-

A GIS Platform based on Satellite Data and High-Performance Computing to Support Hydrogeological Risk Management in the Po Basin

Mohammed Hammouti¹, Marco Zazzeri¹, Simone Sterlacchini¹, Thaina Correa Da Mota², Tommaso Simonelli², Marco Mazzanti², Massimo Pancaldi², Margherita Agostini², Simone Bizzi³, Martina Cecchetto³, Matteo Berti⁴, Francesco Brardinoni⁴, Alessandro Corsini⁵, Melissa Tondo⁵, Vincenzo Critelli⁵, Marco Mulas⁵, Laura Candela⁶, Luigi D'Amato⁶

¹ Italian National Research Council (CNR), Institute of Environmental Geology and Geoengineering (IGAG), 20131 Milan, Italy, mohammedhammouti@cnr.it

² Po River District Basin Authority, Strada Garibaldi 75, 43121 Parma, Italy

³ Department of Geosciences, University of Padova, Padova, Italy

⁴ Department of Biological, Geological, and Environmental Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy

⁵ Department of Chemical and Geological Sciences, University of Modena and Reggio Emilia, Modena, Italy

⁶ Italian Space Agency (ASI), Roma, Italy

Keywords

Earth Observation, Hydrogeological Risks, GIS, Machine Learning, High Performance Computing.



In recent years, technological advances in the use of geospatial data (such as satellite images, anthropogenic and/or environmental raster and vector open data, etc.) for hydrogeological risk assessment, combined with advanced analysis techniques (e.g., machine learning), have become increasingly valuable. These technologies can be utilized by local and national authorities for land planning and emergency management to better understand the dynamics associated with climate change. This understanding can help guide actions aimed at safeguarding not only environmental resources but also socio-economic assets and citizens' lives. In pursuit of this goal, a partnership has been established between the Po River Basin District Authority (AdBPo), the Italian Space Agency (ASI), and academic and research institutions such as the University of Bologna (UNIBO), the University of Modena and Reggio Emilia (UNIMORE), the University of Padova (UNIPD), and the Institute of Environmental Geology and Geoengineering of the National Research Council of Italy (CNR-IGAG). The aim is to implement a downstream service for monitoring landscape evolution related to fluvial systems (geomorphological classification), and slope dynamics (including landslides and rock glaciers) and to quantitatively evaluate the exposed assets.

The PARACELSO project (Predictive Analysis, MonitorRing, and mAnagement of Climate change Effects Leveraging Satellite Observations) aims to develop a

modular and interoperable GIS cloud-based platform that supports the analysis of natural phenomena (such as fluvial hydrodynamics, landslides, and rock glaciers) using multi-sensor satellite data imagery provided by:

- DIAS platforms deployed by the Copernicus Programme (e.g., Sentinel 1-2),
- ASI missions such as CosmoSkyMed, PRISMA, and SAOCOM.

Furthermore, a methodology integrating Earth Observation and geospatial data analysis, to evaluate the exposed assets, has been implemented using open-source libraries.

To facilitate this, within the Big Data HPC MargHERita infrastructure— a supercomputing system named in honor of the scientist Margherita Hack and provided by the Emilia-Romagna Region — computational resources are employed for the high-performance processing, analysis, and storage of large volumes of acquired satellite imagery, as well as additional geospatial datasets. The platform executes the project-developed algorithms to investigate the temporal evolution of fluvial and slope systems. Furthermore, the infrastructure supports the access, visualization, and sharing of the processed and analyzed data.

The project has received funding from ASI through the "I4DP_PA (Innovation for Downstream Preparation for Public Administrations)" Call for Ideas.

Applicazioni del telerilevamento per il monitoraggio di ecosistemi acquatici: il caso studio del Lago di Varese

Alessandro Q. Scotti¹, Paolo Villa¹, Mariano Bresciani¹, Monica Pinardi¹, Claudia Giardino^{1,2}

¹ Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment, National Research Council of Italy (CNR-IREA), Milano (Italy)

² National Biodiversity Future Center (NBCF), Palermo (Italy)

Keywords

Acque interne; macrofite; fitoplancton; integrazione multisensore; temperatura.



Il Lago di Varese rappresenta un importante caso studio per l'applicazione di tecniche di telerilevamento al monitoraggio ecologico delle acque interne. Negli ultimi anni, la crescente disponibilità di dati satellitari ottici, multispettrali e iperspettrali, incentrati sui range tra visibile e vicino infrarosso e nel termico, ha permesso lo sviluppo di numerosi prodotti dedicati all'analisi della qualità delle acque, della vegetazione acquatica e riparia, che consentono un monitoraggio quantitativo delle dinamiche degli ecosistemi lacustri poco profondi come il Lago di Varese.

Tra le principali attività dell'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, parte del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IREA-CNR), rientra lo sviluppo di prodotti per il monitoraggio della qualità delle acque e della vegetazione acquatica da dati satellitari multi-risoluzione. Nell'ambito del progetto AQST Varese, finanziato da Regione Lombardia, sono state prodotte mappe di concentrazione di clorofilla (come indicatore di ab-

bondanza del fitoplancton) e di temperatura superficiale delle acque, oltre che prodotti dedicati al monitoraggio dell'anomalia di crescita delle macrofite acquatiche, con mappe di Z-Score [1] basate su analisi multi-temporali dell'indice WAVI [2]. I prodotti sono stati derivati da dati Sentinel-2 e Landsat, quali fonti di dati operativi e sostenibili, e finalizzati all'analisi delle dinamiche trofiche e termiche del lago. In aggiunta ai prodotti di monitoraggio standard realizzati per AQST, serie temporali pluriennali derivate da dati Sentinel-2 sono state usate per condurre analisi fenologiche di macrofite acquatiche invasive mediante l'indice WAVI. L'elaborazione di queste serie mediante approcci di filtraggio e interpolazione ha consentito di derivare parametri fenologici relativi alle specie *Ludwigia hexapetala* (porracchia a sei petali) e *Nelumbo nucifera* (fior di loto), oltre che di analizzarne le relazioni con potenziali driver meteorologici. Parallelamente, sono in corso attività dedicate alla mappatura e caratterizzazione funzionale di *Phragmites au-*

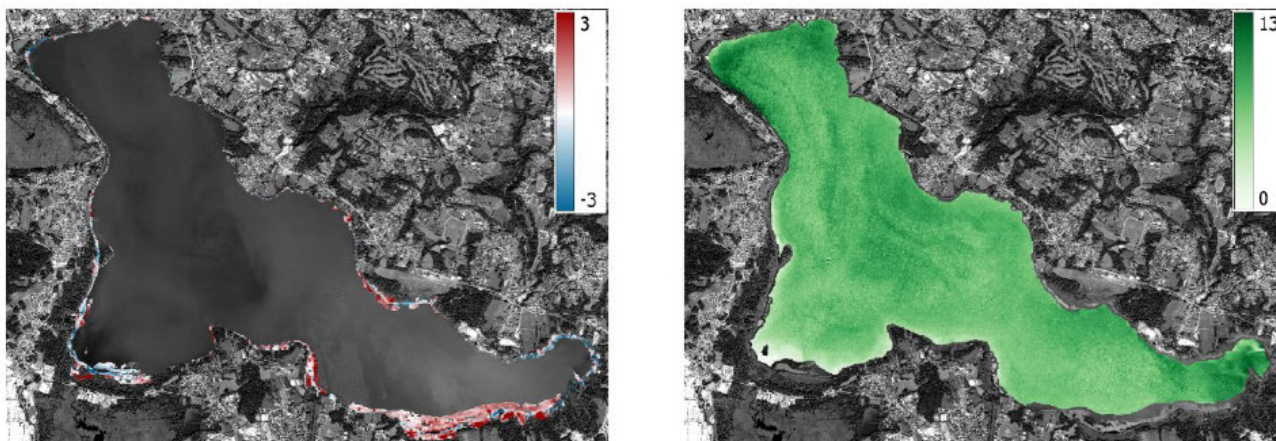


Fig.1. Esempi di mappa di anomalia (Z-Score) delle macrofite acquatiche invasive (sinistra) *L. hexapetala* (porracchia a sei petali) e *N. nucifera* (fior di loto) e di mappe di concentrazione della clorofilla (destra) in mg/m^3 , entrambe prodotte da dati Sentinel-2 acquisiti in data 14/06/2025.

stralis (cannuccia di palude), specie vegetale fondativa degli habitat ripari e perilacustri, mediante immagini commerciali ad alta risoluzione (2-4 m).

Ulteriori attività hanno riguardato lo sviluppo di composite multisensore nell'ambito del progetto AQUA SUP, mediante integrazione di dati ottici VIS/SWIR acquisiti da Sentinel-2, PRISMA ed EnMAP con dati nel range dell'infrarosso termico derivati dalla missione ECOSTRESS (NASA, radiometro termico installato all'esterno della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) in attività dal 2018; cinque bande nel termico nel range 8-12,5 μm , risoluzione spaziale di 70 m). Le elaborazioni sono state sviluppate a partire da prodotti di Livello-1 (valori di radianza, poi corretti atmosfericamente), al fine di mantenere la continuità delle caratteristiche spettrali e radiometriche tra le diverse sorgenti satellitari e di supportare l'analisi di caratteristiche biofisiche sempre più specifiche delle acque interne.

L'insieme delle attività sviluppate evidenzia il potenziale del telerilevamento satellitare come strumento integrato per il monitoraggio ambientale delle acque interne, sottolineando il ruolo del Lago di Varese come laboratorio applicativo per lo sviluppo di metodologie e prodotti EO a supporto della gestione ecosistemica. I risultati ottenuti nel progetto AQST hanno inoltre contribuito alla produzione di bollettini operativi per ARPA Lombardia e al supporto delle attività di gestione della balneabilità del lago. Le attività sviluppate nell'ambito del progetto

AQUAS SUP rappresentano infine un importante banco di prova per il supporto e la validazione delle future missioni Copernicus CHIME e LSTM, che consentiranno analisi più avanzate della qualità delle acque interne grazie a una maggiore risoluzione spettrale e temporale, permettendo la stima di parametri sempre più specifici, quali pigmenti accessori dei cianobatteri (ficocianina e ficoeritrina).

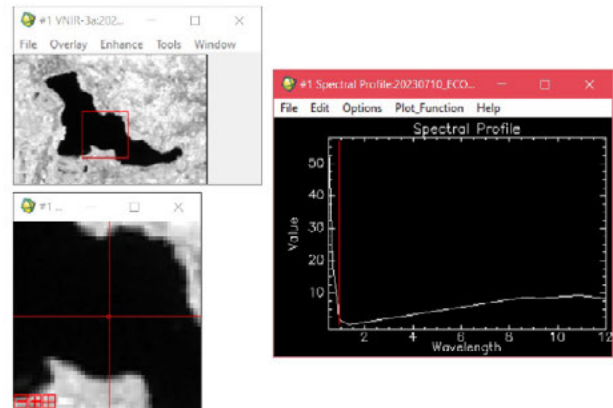


Fig.2. Profilo spettrale del composite dei valori di radianza del Lago di Varese, ottenuto combinando dati VIS/SWIR di Sentinel-2 e dati TIR della missione ECOSTRESS, entrambi acquisiti il 10/07/2023.

Riferimenti bibliografici

- [1] García-Girón, J., Heino, J., Bastrup-Spohr, L., Clayton, J., de Winton, M., Feldmann, T., Fernández-Aláez, C., Ecke, F., Hoyer, M. V., Kolada, A., Kosten, S., Lukács, B. A., Mormul, R. P., Rhazi, L., Rhazi, M., Sass, L., Xu, J., & Alahuhta, J.: Elements of lake macrophyte metacommunity structure: Global variation and community-environment relationships. *Limnology and Oceanography* 65(12), 2883-2895 (2020).
- [2] Villa, P., Mousivand, A., & Bresciani, M.: Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modeling and linear mixture simulation. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 30, 113-127 (2014).

AI-Based Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series for Natural Surface Monitoring and Water Mapping

Francesco Mauro¹, Luigi Russo², Alessandro Sebastianelli³, Paolo Gamba², Silvia Liberata Ullo¹

¹University of Sannio, ullo@unisannio.it; fmauro@unisannio.it

²University of Pavia, luigi.russo02@universitadipavia.it; paolo.gamba@unipv.it

³CMCC, asebastianelli@ieee.org

SESSION "MICROWAVE REMOTE SENSING APPLICATIONS TO NATURAL SURFACES THROUGH AI TECHNIQUES" (PALOSCIA)

Keywords

Sentinel-1; Sentinel-2; water mapping; deep learning; multimodal data fusion; time series; drought monitoring.



The increasing frequency and intensity of climate-related extreme events, including droughts, floods, and water scarcity, have made the monitoring of water bodies a crucial task for environmental assessment and decision-making [1]. Accurate and timely information on the spatial and temporal dynamics of surface water is essential for supporting water resource management, agricultural planning, drought preparedness, and climate resilience strategies [2]. In this context, Earth Observation (EO) data offer a valuable source of information, allowing large-scale and repeated monitoring of natural surfaces over time [3]. In this context in [4] is presented an AI-based framework for the multimodal and multitemporal analysis of water bodies using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. The proposed approach is based on the SEN12-WATER dataset, a novel multi-source EO dataset designed for water mapping and monitoring. SEN12-WATER integrates Synthetic Aperture Radar data from Sentinel-1, multi-spectral optical data from Sentinel-2, and topographic information, including slope and elevation. The combination of radar, optical, and topographic data allows the framework to exploit complementary information: Sentinel-1 provides weather-independent observations, Sentinel-2 offers rich spectral information for surface characterization, while slope and elevation contribute to the identification of hydrologically meaningful areas. The dataset covers selected regions in Italy and Spain, with a focus on areas affected by documented drought anomalies between 2016 and 2022. It includes multitemporal acquisitions with a bi-monthly temporal resolution and is structured as a spatiotemporal datacube, as illustrated in Fig. 1. The dataset is designed to be scalable,

as the released Google Earth Engine-based scripts allow users to extend the data collection to additional regions and time periods. The proposed methodology follows an end-to-end deep learning pipeline composed of three main stages. First, Sentinel-1 SAR images are pre-processed through a convolutional despeckling model in order to reduce speckle noise while preserving relevant spatial structures. This step improves the quality of radar imagery and supports more accurate water body delineation. Second, a U-Net architecture is used to perform binary water segmentation. The model receives multimodal inputs and generates water masks indicating the presence or absence of water at pixel level. Third, a temporal forecasting module based on a Time-Distributed Convolutional Neural Network is applied to predict future water masks from previous observa-

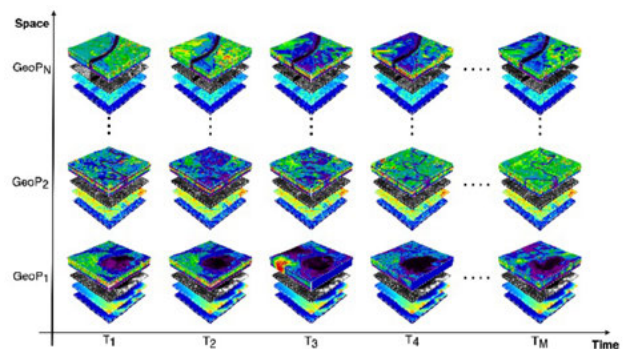


Fig.1. Visualization of the SEN12-WATER Dataset. On the y-axis are different geographical locations, and on the x-axis are the time series images for each location.

tions, enabling next-frame prediction of water dynamics. The entire pipeline is illustrated in **Fig. 2**.

The segmentation model was evaluated using standard metrics, including Precision, Recall, and Intersection over Union. The best results were obtained when Sentinel-1, Sentinel-2, slope, and elevation were jointly used as input. In this configuration, the model achieved a Precision of 0.96, a Recall of 0.97, and an IoU of 0.94. These results confirm the value of multimodal data fusion, showing that the integration of SAR and optical data with topographic information improves the robustness of water mapping. In particular, Sentinel-2 contributes significantly to spectral discrimination, while Sentinel-1 supports detection under cloudy or otherwise challenging atmospheric conditions. For the next-frame prediction task, three deep learning architectures were compared: ConvLSTM, Bidirectional ConvLSTM, and TD-CNN. The TD-CNN model achieved the best overall performance, with the lowest Mean Squared Error and the highest Structural Similarity Index and Peak Signal-to-Noise Ratio. These findings indicate that the proposed temporal model is able to preserve both spatial coherence and temporal consistency in the predicted water masks. This capability is particularly relevant for applications in drought monitoring, where anticipating water availability changes can support proactive resource management. The framework also enables the extraction of temporal trends in water surface variation. By combining predicted or segmented water masks with

digital elevation information, the proposed methodology allows the estimation of water-related indicators over time. This provides a useful operational perspective, transforming satellite-derived spatial outputs into hydrologically meaningful information.

Overall, the results demonstrate that the proposed AI-based framework can effectively support water mapping and natural surface monitoring by combining multimodal satellite data and deep learning techniques.

The study has practical implications for environmental monitoring and decision-making. The ability to map water bodies accurately and predict future water conditions can support irrigation planning, drought preparedness, climate adaptation policies, and the sustainable management of water resources. At the same time, some limitations remain. The current dataset focuses on Italy and Spain, and future work should extend the analysis to additional climatic and geographic contexts. Moreover, the integration of hydro-meteorological variables, such as precipitation, temperature, humidity, and evapotranspiration, could further improve the forecasting capability of the model.

Future research will therefore focus on broadening the spatial coverage of the dataset, testing additional deep learning architectures, and integrating EO data with climate and hydrological information. This would further strengthen the applicability of the proposed framework for large-scale monitoring of water resources and other natural surface dynamics.

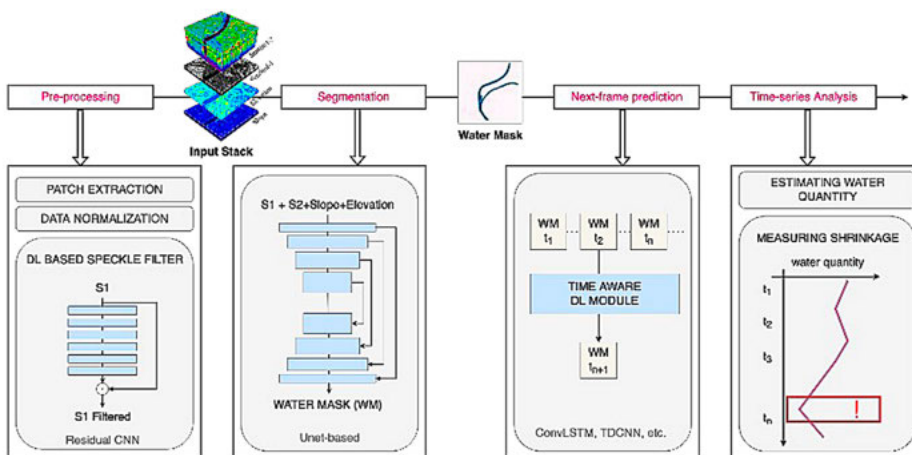


Fig.2. Proposed end-to-end framework and methodology.

Riferimenti bibliografici

- [1] Alavian, V., Qaddumi, H. M., Dickson, E., Diez, S. M., Danilenko, A. V., Hirji, R. F., ... & Blankespoor, B. (2009). *Water and climate change: understanding the risks and making climate-smart investment decisions*. Washington, DC: World Bank, 52911.
- [2] Cai, X., Zhang, X., Noël, P. H., & Shafiee-Jood, M. (2015). *Impacts of climate change on agricultural water management: a review*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(5), 439–455.
- [3] Mauro, F., Rich, B., Muriga, V. W., Janku, F., Sebastianelli, A., & Ullo, S. L. (2023, July). *SEN2DWATER: A novel multispectral and multitemporal dataset and deep learning benchmark for water resources analysis*. In *IGARSS 2023-2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 297–300). IEEE.
- [4] Russo, L., Mauro, F., Sebastianelli, A., Gamba, P., & Ullo, S. L. (2025). *An end-to-end Framework for Multimodal and Multitemporal Analysis of Water Bodies using the SEN12-WATER Dataset*. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.

From Visual Interpretation to Multi-Source Data: The Evolution of Land Cover Classification Techniques with a Case Study in Sardinia

Hugo Iker Gael Gómez Díez¹, Claudia Collu^{1,2}, Dario Simonetti³, Francesco Dessi¹, Paolo Botti⁴, Pasquale Lasio⁴, Maria Teresa Melis¹

¹ Department of Chemical and Geological Sciences, University of Cagliari, 09042 Monserrato, Italy, h.gomezdiez@studenti.unica.it; fdessi@unica.it; ittitmelis@unica.it

² Department of Civil, Constructional and Environmental Engineering, Sapienza University of Rome, 00184 Rome, Italy, claudia.collu@uniroma1.it

³ Independent Researcher, 21100 Varese, Italy; gis.dario.simonetti@gmail.com

⁴ Directorate General of the Regional Agency of the Hydrographic District of Sardinia, via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italy, plasio@regione.sardegna.it; pbotti@regione.sardegna.it

Keywords LULC mapping; Earth Observation; CORINE Land Cover.



INTRODUCTION

Land use and land cover (LULC) mapping is a fundamental component for environmental monitoring, spatial planning, and land management, supporting applications from climate change assessment to agricultural monitoring. Over the past decades, the field has undergone a profound transformation driven by the evolution of Earth Observation data and classification methodologies [1]. Early LULC mapping relied on visual image interpretation, aerial photography, and expert knowledge. While reliable, these approaches were time-consuming and difficult to scale. The progressive availability of satellite imagery enabled more automated techniques, including rule-based and pixel-based classifications. A major shift then occurred with high-resolution and multi-temporal data from ESA and the Copernicus Programme, facilitating the transition towards supervised machine learning, Object-Based Image Analysis (OBIA), and deep learning. Concurrently, global datasets such as ESA WorldCover [2], or Europe S2GLC Land Cover Map [3], GLC_FCS10 [4] now provide harmonized information at unprecedented resolutions, though regional applications often require more detailed representations based on hierarchical systems like CORINE Land Cover classification. This study explores this evolution by analyzing the de-

velopment of LULC classification techniques and data sources, using the cartography of Sardinia as a case study. This region provides a representative example of a complex Mediterranean landscape, where different mapping approaches and datasets can be compared over time to highlight key methodological transitions.

HISTORICAL LULC MAPS OF SARDINIA

The first comprehensive regional LULC mapping initiatives in Sardinia were strongly rooted in the CORINE Land Cover framework, while introducing significant adaptations to address regional specificity and increased spatial detail. After initial products at 1:100,000 scale in the 1990s, a major step forward was achieved with the production of the regional land use map at 1:25,000 scale in 2003, later updated in 2008.

The mapping process was primarily based on visual photointerpretation of satellite data, supported by an integration of multi-source data, including high-resolution orthophotos, Landsat and SPOT imagery, regional technical cartography, and thematic ancillary datasets. Field surveys played a key role in resolving interpretation uncertainties and in building a consistent set of interpretation keys, formalized within an associated database structure. The classification system followed the CORINE hierarchy, but was significantly extended to better represent the heterogeneity of the Sardinian landsca-

pe. While maintaining consistency with the standard three-level structure, additional levels of detail were introduced, resulting in a much richer thematic articulation. The final legend included up to 70 classes, with the introduction of fourth- and fifth-level categories. The 2008 update reduced the minimum mapping unit to 0.5 ha in urban areas and 0.75 ha elsewhere, achieving a level of thematic detail well beyond standard CORINE products. However, this high level of thematic and spatial detail came at the cost of long production times and limited temporal consistency. The 2008 map, although nominally referring to that year, was derived from heterogeneous datasets acquired over a broad temporal range, including imagery from the early 2000s. This temporal mismatch and the limited update frequency reflect the intrinsic limitations of traditional mapping workflows.

RECENT ADVANCES AND THE 2020 LULC MAP OF SARDINIA

Following the 2008 update, no further regional LULC map was produced for more than a decade, leaving a significant temporal gap in detailed land cover information for Sardinia. During the same period, however, the landscape of LULC mapping evolved rapidly at global and continental scales. As new generations of land cover products [2-4] are generally not directly suitable for regional planning and local-scale analysis, the Sardinia Land Cover Mapping project, developed in collaboration with ADIS (Agenzia Distretto Idrografico della Sardegna), has been established to produce a new LULC map of Sardinia, aiming to represent a shift towards an integrated and scalable mapping paradigm, combining recent advances in Earth Observation data and classification methodologies.

The map is based primarily on multi-temporal analysis of satellite imagery from Sentinel-1 and Sentinel-2, processed within Google Earth Engine and open source platforms such as IMPACT Toolbox, and complemented by a wide range of ancillary geospatial datasets, including regional topographic databases, previous land use maps, OpenStreetMap layers, and satellite-derived products such as the Global Human Settlement Layer [5] and the Phenological Based Synthesis [6]. Methodologically, the map is generated through a semi-automatic workflow that integrates multiple classification strategies [7,8]. The process combines pixel-based classification using supervised machine learning algorithms (e.g., Random Forest), multi-temporal analysis, image segmentation and object-based pre-labelling, and an iterative refinement phase driven by accuracy assessment. An initial classification is first produced from satellite data, after which systematic errors and class confusions are iden-

tified through confusion matrix analysis. These are then progressively corrected through a combination of approaches, including spectral thresholding, integration of ancillary datasets, and targeted expert photointerpretation. In addition, specific classification modules have been developed for dynamic processes such as burned area mapping, using multi-temporal Sentinel-2 data and machine learning techniques to achieve high detection performance, particularly for small and rapidly evolving events [9]. The adopted classification system is derived from the CORINE Land Cover hierarchy but adapted to better exploit the spectral information provided by satellite data, with a stronger emphasis on land cover rather than land use.

The final legend consists of 34 classes, mainly at the third hierarchical level, with selected fourth-level classes to capture specific regional characteristics. In contrast to previous products, the spatial resolution is significantly improved, with a minimum mapping unit of 400 m² (corresponding to four Sentinel pixels), although smaller polygons are also included where vector ancillary data provide finer geometric detail.

The overall accuracy of the map exceeds 82%, derived from a confusion matrix based on more than 11,000 ground truth points. A fundamental aspect of the 2020 map is its dynamic and updatable nature. Unlike previous static products, it is designed as an evolving dataset that can be regularly updated through multiple strategies, including the integration of new polygons derived from ancillary data (e.g., newly built areas or burned zones), the reclassification of existing polygons based on updated information from satellite data, and the detection of intra-polygon changes through spectral change analysis.

CONCLUSION

The evolution of LULC mapping in Sardinia reflects a broader methodological transition from slow, resource-intensive, and difficult-to-update cartographic workflows to more automated and scalable approaches. Early regional products, despite their remarkable thematic richness, required years of production and suffered from temporal inconsistencies.

The 2020 LULC map marks a decisive turning point: by combining SAR and optical multi-temporal Sentinel imagery, machine learning, and a wide range of ancillary datasets within a semi-automatic workflow, it was possible to produce a detailed and accurate regional map, validated at over 82% overall accuracy. This approach ensures temporal consistency and supports continuous monitoring, making the map a more effective tool for regional planning and environmental management.

Riferimenti bibliografici

- [1] Zhao S, Tu K, Ye S, Tang H, Hu Y, Xie C. Land Use and Land Cover Classification Meets Deep Learning: A Review. *Sensors (Basel)* 2023;23. <https://doi.org/10.3390/s23218966>.
 - [2] Zanaga D, Van De Kerchove R, De Keersmaecker W, Souverijns N, Brockmann C, Arino O. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. Geneva, Switzerland: 2020.
 - [3] Malinowski R, Lewiński S, Rybicki M, Gromny E, Jenerowicz M, Krupiński M, et al. Automated production of a land cover/use map of europe based on sentinel-2 imagery. *Remote Sens (Basel)* 2020;12:1-27. <https://doi.org/10.3390/rs12213523>.
 - [4] Zhang X, Liu L, Zhao T, Zhang W, Guan L, Bai M, et al. GLC_FCS10: A global 10 m land-cover dataset with a fine classification system from Sentinel-1 and Sentinel-2 time-series data in Google Earth Engine. *Earth Syst Sci Data* 2025;17:4039-62. <https://doi.org/10.5194/essd-17-4039-2025>.
 - [5] Pesaresi M, Schiavina M, Politis P, Freire S, Krasnodębska K, Uhl JH, et al. Advances on the Global Human Settlement Layer by joint assessment of Earth Observation and population survey data. *Int J Digit Earth* 2024;17. <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2390454>.
 - [6] Simonetti D, Simonetti E, Szantoi Z, Lupi A, Eva HD. First Results From the Phenology-Based Synthesis Classifier Using Landsat 8 Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2015;12:1496-500. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2015.2409982>.
 - [7] Collu C, Dessi F, Simonetti D, Lasio P, Botti P, Melis MT. ON THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TIME SERIES ANALYSIS FOR LAND COVER MAPPING: SPECTRAL INDICES FOR CROPS CLASSIFICATION. n.d.
 - [8] Collu C, Simonetti D, Dessi F, Naitza L, Lasio P, Botti P, et al. OPEN SOURCE TECHNOLOGIES FOR MAPPING: IMPACT TOOLBOX AND THE LAND COVER MAP OF SARDINIA. n.d.
 - [9] Collu C, Simonetti D, Dessi F, Casu M, Pala C, Melis MT. A Multi-Temporal Sentinel-2 and Machine Learning Approach for Precision Burned Area Mapping: The Sardinia Case Study. *Remote Sens (Basel)* 2026;18:267. <https://doi.org/10.3390/rs18020267>.
-

Dati digitali certificati spazio-temporalmente tramite autenticazione GNSS Galileo: Il Sistema ATLAS

Michele Donatucci¹, Gabriele Amendola¹, Luca Amendola¹, Jaume Cunill², Livio Rossi²

¹ ErasmicoIn Srl, info@erasmicoIn.com

² Consulente

Keywords

Dati digitali certificati, GNSS Galileo, autenticazione spacestamp e timestamp, fake photo alert, validazione control points, alta precisione di posizionamento, API integrabile.



I dati digitali sono oggi alla base di quasi tutti i processi operativi e decisionali, non soltanto in ambito territoriale. Tuttavia, esiste un limite strutturale: non è possibile dimostrare in modo affidabile che un dato corrisponda alla realtà nel momento in cui è stato acquisito e, a maggior ragione, diffuso. Un'immagine, un video, un documento possono essere modificati, riutilizzati o decontestualizzati, senza lasciare evidenze certe, senza un legame verificabile tra il dato e la realtà fisica. ATLAS è una tecnologia per la certificazione spazio-temporale dei dati digitali che consente di associare in modo verificabile posizione geografica (SpaceStamp) e data e ora (TimeStamp) a contenuti multimediali e documentali, attraverso l'integrazione dei segnali GNSS Galileo. Il sistema, attraverso i servizi di autenticazione dei messaggi di navigazione Galileo (OSNMA), consente di legare crittograficamente un contenuto digitale ai dati di posizione e tempo derivati dal segnale satellitare, rilevando qualsiasi alterazione successiva e garantendo affidabilità e verificabilità indipendente del dato. A differenza degli approcci tradizionali, ATLAS consente quindi di certificare il dato all'origine, nel momento stesso dell'acquisizione, nello spazio e nel tempo. Questo significa che ogni contenuto digitale può essere associato in modo verificabile a un evento fisico reale, perciò qualsiasi modifica successiva diventa rilevabile.

Come funziona:

- 1. Acquisizione:** un file (immagine, video, tracciato di viaggio, documento) viene associato a dati GNSS certificati.
- 2. Posizione:** i segnali vengono verificati se provengono da satelliti autenticati e non siano stati manipolati.
- 3. Certificazione:** un hash crittografico del file viene associato ai dati di posizione/ora autenticati e registrato in modo immutabile sulla blockchain.
- 4. Falsificazione:** combinando l'analisi forense visiva

con i metadati GNSS certificati vengono rilevate le immagini manipolate o travisate (ad es. foto di altre foto o fuori contesto) come prova di falsificazione o uso improprio.

- 5. Integrità:** i file certificati possono essere sempre verificati successivamente vs i timestamp GNSS originali, assicurando che non siano stati alterati successivamente all'acquisizione.

ATLAS è disponibile come servizio API web, integrabile in applicazioni mobili e piattaforme software esistenti, consentendo l'acquisizione e la certificazione automatica dei dati spazio-temporali associati a un file all'interno dei flussi operativi, fornendo il supporto probatorio per contenuti digitali, quali immagini, video, documenti e

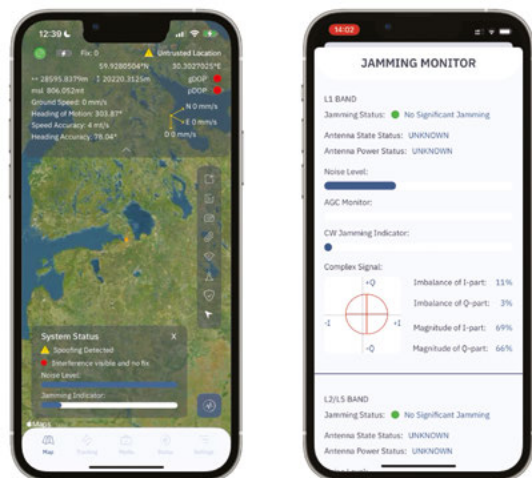


Fig.1. ATLAS garantisce l'integrità e l'autenticità dei dati territoriali mediante servizi anti-spoofing avanzati e un sistema integrato di Jamming Monitor: la piattaforma contrasta in tempo reale attività fraudolente di falsificazione di coordinate geografiche, timestamp e di qualsiasi immagine/foto.

tracciati di movimento (anche in volo). In particolare, nel caso di acquisizioni fotografiche (ad es. control points tematici, statistici o topografici), è possibile certificare posizione, tempo, direzione e campo visivo dello scatto fotografico, anche tramite smartphone. Le principali applicazioni includono ambiti agro-geoambientali, archeologici, assicurativi, legali e logistici, nonché il monitoraggio di veicoli, infrastrutture e cantieri, abilitando nuovi modelli di tracciabilità e audit basati su dati certificati. Questo consente verifiche indipendenti e certe nei processi topo-cartografici, tematici, decisionali e probatori. Il sistema supporta inoltre modalità di posizionamento ad alta precisione, integrando tecniche GNSS avanzate (ad es. correzioni RTK), anche tramite dispositivi mobili

(smartphone) e ricevitori GNSS esterni "cost-effective", progettati per offrire prestazioni comparabili a soluzioni professionali, ma in formati compatti e facilmente trasportabili (ad es. dispositivi USB plug-and-play), consentendo accuratze fino al livello centimetrico in scenari operativi controllati.

Il dato digitale, attualmente, senza un legame verificabile con la realtà fisica, rimane intrinsecamente sempre contestabile. ATLAS colma questa lacuna, promuovendo un nuovo standard di fiducia digitale per contesti in cui sono richieste certezze, non interpretazioni.

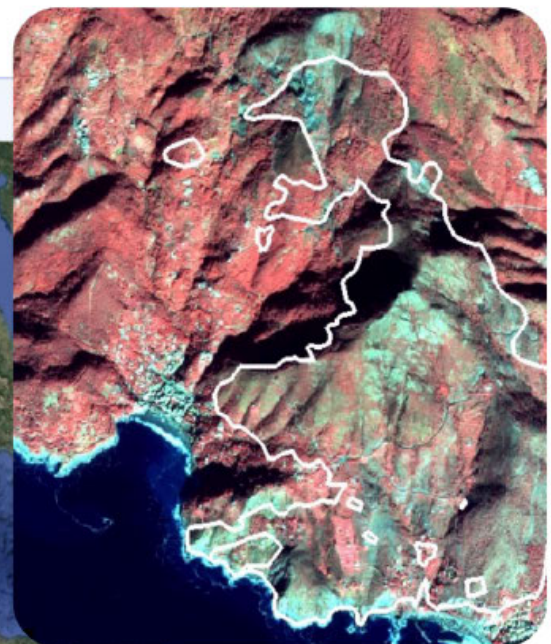
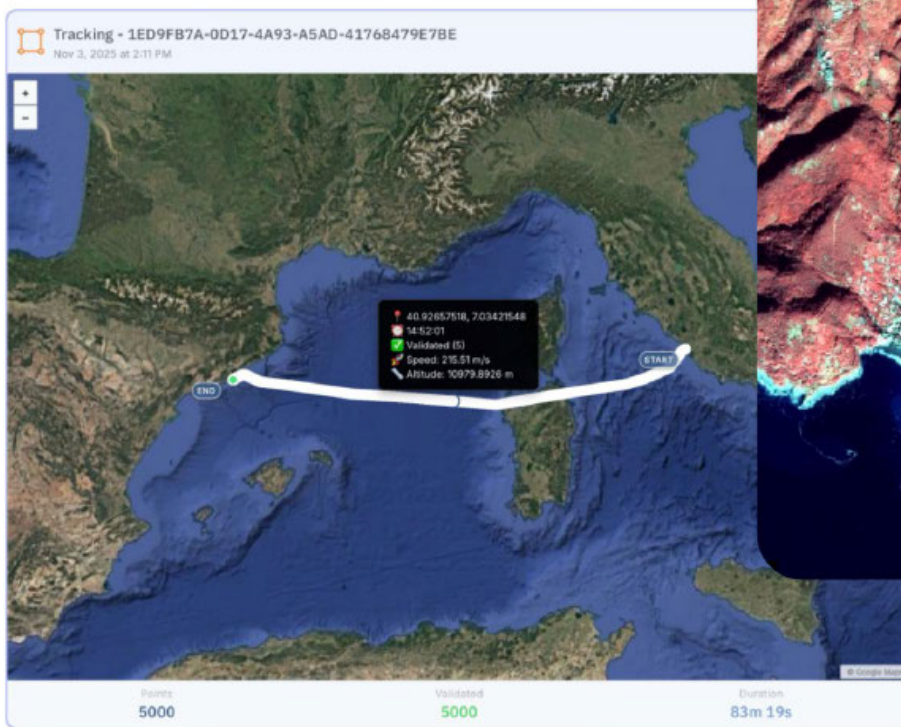


Fig.2. ATLAS consente la mappatura perimetrale di precisione e il tracciamento dettagliato dei rilievi aerei e da drone, integrando nativamente dati inalterabili di geolocalizzazione e timestamp.

A destra, un rilievo ufficiale "a terra" di un'area incendiata complessa evidenzia notevoli errori perimetrali. ATLAS dà valore probatorio ad una corretta e "cost-effective" realtà fisica, anche in remoto.



Fig.3. ATLAS elabora Report Analitici Certificati, fornendo prova inconfutabile dell'origine spaziale e temporale di qualsiasi evento di natura fisica o logico-digitale, generando un registro georeferenziato e immutabile di ogni singolo evento, non solo territoriale.

La diversità come motore di innovazione: il paradigma Space and Blue

Maria Libera Battagliere¹

¹ Agenzia Spaziale Italiana, e-mail: maria.battagliere@asi.it

Keywords

Space and Blue, innovazione, tecnologie emergenti, integrazione multidominio.



ABSTRACT

L'evoluzione delle tecnologie emergenti e delle attuali dinamiche geopolitiche sta trasformando profondamente i modelli di innovazione nel settore spaziale. In questo contesto, il paradigma Space and Blue rappresenta un ecosistema multi-dominio in cui convergono spazio, mare, sicurezza, sostenibilità e tecnologie dual-use. Il paper analizza come la diversità – intesa come pluralità di competenze, domini, attori e stili di leadership – stia assumendo un ruolo strategico nella generazione di innovazione, resilienza e competitività, evidenziando il valore dei modelli collaborativi e multidisciplinari nei nuovi ecosistemi della Space Economy.

INTRODUZIONE

Oggi l'innovazione si sviluppa sempre meno lungo filiere chiuse e specialistiche, trovando terreno fertile nei punti di intersezione tra competenze, tecnologie e domini differenti. Le sfide contemporanee – dalla sicurezza delle infrastrutture critiche alla sostenibilità ambientale, dalla gestione dei dati all'evoluzione delle tecnologie dual-use – richiedono approcci integrati, capaci di mettere in relazione mondi tradizionalmente distinti. In questo scenario, la capacità di creare connessioni diventa essa stessa innovazione: la diversità non è più soltanto un valore sociale o culturale, ma una leva concreta di competitività, resilienza e trasformazione.

La contaminazione tra discipline, settori e prospettive differenti accelera infatti la generazione di nuove soluzioni, favorisce il trasferimento tecnologico e aumenta la capacità di interpretare sistemi complessi.

In questo contesto, la presente memoria analizza il paradigma Space and Blue come esempio di ecosistema multidominio, in cui convergenza tecnologica, modelli collaborativi e diversità di competenze, esperienze e approcci decisionali assumono un ruolo strategico nei processi di innovazione.

IL PARADIGMA SPACE AND BLUE COME ECOSISTEMA MULTIDOMINIO

In uno scenario caratterizzato da crescente complessità tecnologica e rapida evoluzione geopolitica, anche le agenzie spaziali stanno adottando modelli orientati all'open innovation e alla contaminazione multidisciplinare, promuovendo iniziative capaci di favorire il dialogo tra ricerca, industria, startup, università e settori strategici emergenti. Tali modelli collaborativi accelerano l'innovazione e il trasferimento tecnologico, creando ecosistemi sempre più integrati.

Il paradigma *Space and Blue* rappresenta uno degli esempi più significativi di questa evoluzione. Dall'osservazione della Terra al monitoraggio ambientale, dalla gestione delle infrastrutture critiche alla sorveglianza marittima, fino alle applicazioni dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie quantistiche, emerge la necessità di ecosistemi multidominio nei quali spazio e mare convergono in termini di infrastrutture, dati, sicurezza e sostenibilità. In questa direzione si inserisce la Convenzione tra l'Agenzia Spaziale Italiana e il Ministero delle Imprese e del Made in Italy (Direzione generale per la politica industriale, l'innovazione, le PMI e il Made in Italy), che ha promosso, come progetto attuativo, un bando multi-tematico articolato su diverse aree di interesse strategico: *sensing* e monitoraggio, robotica e intelligenza artificiale, energia e propulsione, *quantum communication* e *cybersecurity*, sicurezza delle infrastrutture critiche digitali e interdominio, incluse applicazioni di cloud distribuito, data fusion e re-routing informativo. Le aree individuate non costituiscono comparti isolati, ma domini di convergenza nei quali la diversità di competenze, approcci e tecnologie favorisce interoperabilità, integrazione e nuovi modelli di innovazione. I dati rappresentano oggi l'infrastruttura abilitante dei sistemi multidominio, mentre autonomia operativa e intelligenza artificiale assumono un ruolo centrale nelle applicazioni interdominio e *dual-use*. Parallelamente, spazio e mare condividono problematiche comuni

legate a efficienza energetica, autonomia, resilienza in ambienti estremi e sostenibilità operativa, favorendo ricadute tecnologiche incrociate e processi di innovazione condivisi. La crescente centralità delle reti spaziali e sottomarine nel trasferimento dei dati e nelle comunicazioni strategiche rende inoltre la sicurezza digitale e la sovranità informativa elementi sempre più rilevanti del contesto geopolitico contemporaneo.

La capacità di integrare dati provenienti da spazio, mare e reti terrestri rappresenta quindi una componente essenziale della sicurezza nazionale ed europea. Lo stesso approccio Space and Blue è, per sua natura, intrinsecamente *dual-use*: tecnologie, dati e infrastrutture sviluppati per finalità civili trovano infatti applicazione crescente anche nei domini della sicurezza e della difesa, in un contesto in cui interoperabilità, resilienza e capacità di risposta rapida assumono un valore sempre maggiore. La New Space Economy rappresenta un esempio emblematico di questo cambiamento, nel quale rapidità di innovazione, contaminazione tra competenze e cooperazione tra attori pubblici e privati diventano elementi centrali dei nuovi ecosistemi tecnologici.

DIVERSITÀ E INNOVAZIONE NEI NUOVI ECOSISTEMI SPACE ECONOMY

Nello scenario descritto, la diversità di competenze, attori e prospettive emerge come fattore strategico affrontare la crescente complessità dei sistemi multidominio. La logica di convergenza non riguarda infatti soltanto le tecnologie, ma anche le persone e i processi decisionali. In ecosistemi caratterizzati da elevata interdipendenza tecnologica e rapida evoluzione, la pluralità di approcci ed esperienze rappresenta una componente essenziale della capacità adattiva e innovativa delle organizzazioni.

In tale contesto, il contributo femminile nei settori STEM, aerospaziale e della *Blue Economy* non costituisce esclusivamente un tema di inclusione, ma un elemento strategico per rafforzare la qualità dei processi decisionali e la resilienza dei sistemi complessi. Numerosi studi internazionali, tra cui analisi condotte da McKinsey [1], OECD [2] e World Economic Forum [3], evidenziano infatti come team diversificati favoriscano

maggiore creatività, migliori performance decisionali e una più elevata capacità di gestione della complessità e del rischio. Queste dinamiche assumono particolare rilevanza nella Space Economy, dove convergono competenze scientifiche, ingegneristiche, operative, digitali e strategiche. L'evoluzione della New Space Economy conferma inoltre il progressivo superamento dei modelli tradizionali di innovazione chiusa, favorendo ecosistemi sempre più aperti alla collaborazione tra startup, industria, ricerca, istituzioni e difesa.

In questo contesto, la diversità non rappresenta soltanto un valore sociale, ma una vera e propria infrastruttura abilitante dell'innovazione, capace di accelerare contaminazione tecnologica, trasferimento di competenze e sviluppo di soluzioni multidominio.

CONCLUSIONI

Il paradigma *Space and Blue* rappresenta un esempio significativo dell'evoluzione dei moderni ecosistemi dell'innovazione, sempre più caratterizzati dalla convergenza tra domini tecnologici, industriali e strategici.

Le attuali dinamiche geopolitiche e l'evoluzione delle applicazioni *dual-use* stanno accelerando modelli di collaborazione aperti tra istituzioni, ricerca, industria, startup e difesa, rendendo la capacità di integrare competenze e prospettive differenti un fattore strategico di innovazione e resilienza.

La diversità assume quindi un ruolo sempre più centrale non solo come valore sociale, ma come infrastruttura abilitante dell'innovazione. In particolare, la diversità di genere rappresenta un elemento essenziale delle politiche di Scienza, Tecnologia e Innovazione, contribuendo a rafforzare capacità innovativa, qualità decisionale e resilienza dei sistemi complessi. L'innovazione del futuro nascerà sempre più dalla convergenza tra mondi differenti – spazio e mare, civile e militare, pubblico e privato, tecnologie emergenti e competenze multidisciplinari – all'interno di ecosistemi aperti, interoperabili e collaborativi. In un contesto globale caratterizzato da crescente complessità e rapidità di trasformazione, la diversità non rappresenta più un elemento accessorio, ma una leva strategica per costruire ecosistemi tecnologici, industriali e umani capaci di generare valore, sicurezza e sviluppo sostenibile nel lungo periodo.

Riferimenti bibliografici

[1] McKinsey&Company, *Diversity Matters Even More*, (2023).

[2] OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023, *ENABLING TRANSITIONS IN TIMES OF DISRUPTION*, OECD (2023)

[3] World Economic Forum, *Diversity, Equity and Inclusion 4.0. A toolkit for leaders to accelerate social progress in the future of work* (2020)

Space Economy: Diversità e ruolo delle donne

Annamaria Nassisi¹

¹ Thales Alenia Space Italia, e-mail: annamaria.nassisi@thalesaleniaspace.com

Keywords Space Economy, Diversity, Inclusion, Women.



Negli ultimi vent'anni, il settore spaziale sta attraversando una trasformazione senza precedenti. I principali progressi tecnologici hanno portato questa industria alla ribalta del panorama globale dell'innovazione. L'ascesa di nuove aziende private sta conducendo il mercato verso nuove frontiere di efficienza, ridefinendo modelli di business e introducendo competenze economiche innovative.

Il settore spaziale, inoltre, si integra sempre di più con altre aree come l'ICT, e in questo contesto la diversità e la creatività stanno diventando elementi centrali che guidano il lavoro di squadra, i modelli organizzativi e gli approcci tecnologici. Valorizzare la diversità è fondamentale per mettere a frutto una vasta gamma di competenze, idee e prospettive, riconosciute come fattori chiave per l'innovazione nel settore.

Numerose ricerche hanno infatti dimostrato che la diversità favorisce la nascita di idee innovative, stimola la creatività, sostiene gli obiettivi di creazione di valore, incentiva la crescita del mercato e migliora le performance aziendali. Inoltre, la diversità contribuisce a creare team più efficaci nella risoluzione dei problemi, un vero e proprio asset strategico in ogni industria.

Diversificare le presenze e le competenze delle persone è, quindi, la chiave del successo.

A ciò si aggiunge una consapevolezza sempre più diffusa dell'importanza della multidisciplinarietà, intesa come diversità di prospettive nella lettura delle sfide in chiave economica, umanistica, sociale e geopolitica. In un mondo sempre più complesso, questa pluralità di visioni è diventata una necessità imprescindibile per affrontare con successo le nuove sfide del settore spaziale. Cosa è cambiato? Oggi il settore spaziale sta modificando profondamente le sue caratteristiche, con un crescente orientamento verso l'uso commerciale dei servizi. Pur affidandosi sempre più agli investimenti e alle competenze degli attori privati, il settore pubblico mantiene un ruolo centrale: i budget istituzionali dedicati allo spazio restano un elemento fondamentale per

lo sviluppo delle attività spaziali, e le amministrazioni pubbliche continuano a essere i principali utilizzatori di numerosi servizi commerciali.

In particolare, il settore dell'Osservazione della Terra (OT) è stato storicamente finanziato dai governi, con l'obiettivo di fornire immagini utili soprattutto per esigenze nazionali e di difesa. Oggi, invece, la nascita di aziende specializzate nell'analisi dei big data, che aggiungono valore ai dati provenienti dallo spazio, e il numero crescente di produttori privati di satelliti, hanno dato vita a una filiera privata, sempre più integrata con quella pubblica. Di conseguenza, l'OT sta vivendo una profonda trasformazione nei propri modelli di business (Anchor Tenancy, PPP e modelli commerciali), grazie al continuo miglioramento delle tecnologie e alla miniaturizzazione dei dispositivi, che hanno facilitato la convergenza tra i settori commerciale, militare e civile.

Questo scenario rappresenta un netto distacco rispetto al passato e rende fondamentale comprendere il ruolo dei nuovi e diversi attori del settore spaziale, che oggi non sono più solo tecnici e specialistici, ma anche portatori di nuove implicazioni socio-economiche.

Lo spazio ha da sempre rappresentato una grande fonte di ispirazione e curiosità per il genere umano. Il continuo avanzamento delle conoscenze e delle competenze tecniche ha ampliato sensibilmente la nostra comprensione dell'universo e delle sue potenzialità. Oggi lo spazio è anche una rilevante opportunità economica, oltre che un interesse sociale e geopolitico, poiché genera beni e servizi ad alto valore aggiunto all'interno di una catena di approvvigionamento globale.

Secondo numerosi indicatori, ci troviamo in piena quarta rivoluzione industriale, caratterizzata da automazione intelligente e interconnessione diffusa. In questo contesto, digitalizzazione, diversità e innovazione stanno profondamente trasformando la struttura dei costi e i centri di potere lungo tutta la filiera del settore spaziale. In particolare, i concetti di diversità e inclusione stanno assumendo un ruolo centrale: guidano non solo le mo-

dalità di lavoro di squadra, ma anche la definizione dei modelli di business, lo sviluppo tecnologico e l'adozione di nuovi strumenti. In un contesto industriale che richiede efficienza, rapidità e capacità di generare valore per una gamma sempre più eterogenea di attori, è fondamentale che le imprese siano in grado di creare sinergie, favorendo così risultati sempre migliori.

Le evidenze dimostrano che le aziende che hanno saputo incrementare la rappresentanza di talenti diversi al proprio interno e hanno valorizzato la diversità come fattore abilitante per il successo, hanno ottenuto benefici concreti e tangibili.

Numerose pubblicazioni scientifiche sottolineano l'impatto positivo che la diversità – in tutte le sue forme – ha sulle performance aziendali, evidenziando come la varietà di competenze favorisca migliori risultati. In particolare, la multidisciplinarietà rappresenta un indice di complementarità tra competenze diverse, favorendo la circolazione della conoscenza all'interno dell'organizzazione e stimolando la capacità innovativa collettiva.

La crescita del settore spaziale, insieme all'incessante processo di digitalizzazione, stanno accrescendo la domanda di nuovi talenti e idee innovative lungo tutta la catena del valore. In questo scenario, la diversità agisce come un potente motore economico, consentendo alle aziende di prendere decisioni più efficaci, migliorare prodotti e servizi, e ampliare la propria presenza sui mercati. Tutto ciò innesca un circolo virtuoso di ritorni crescenti e vantaggio competitivo.

Inoltre, la presenza di collaboratori provenienti da diversi background culturali arricchisce l'organizzazione di prospettive ed esperienze uniche. Unendo competenze e conoscenze eterogenee, si rafforzano la capacità di risposta e la produttività dell'industria, aumentando l'impatto sia sul mercato sia sulla società.

Diventa quindi evidente come la diversità costituisca una risorsa essenziale per prosperare in un contesto di innovazione e digitalizzazione orientato al valore e all'impatto. La presenza di diversità, a tutti i livelli della catena del valore, rappresenta infatti un fattore chiave che favorisce l'innovazione e facilita la trasformazione profonda delle organizzazioni.

Pur tenendo presente che la correlazione non implica necessariamente causalità, i dati suggeriscono che i settori che investono concretamente nella diversità e nell'inclusione, su molteplici livelli, sono spesso quelli che ottengono i maggiori successi.

Sostenere la diversità non è solo una scelta etica, ma si traduce anche in vantaggi competitivi reali e duraturi. In questo contesto, l'uguaglianza per i diversi generi nel settore spaziale è cruciale ed è un fattore che contribuisce a innovazione e produttività, collaborazione globale, processo decisionale, ricerca e sviluppo completi e al raggiungimento dell'Agenda Space2030 e degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.

Ad esempio, le ricerche dimostrano che i team diversificati in gender sono associati a prospettive e idee differenti, favorendo l'innovazione e migliorando la capacità di risoluzione dei problemi – elementi particolarmente

utili per superare le sfide che potrebbero sorgere nelle future missioni spaziali di lunga durata. Inoltre, è legata anche a una maggiore produttività e redditività all'interno delle organizzazioni e aziende.

In particolare, le donne nel settore spaziale possono essere motore d'innovazione mediando positivamente i processi decisionali, abituandosi a chiedere feedback e creando dinamiche di squadra superiori che portano a una maggiore produttività collettiva, creatività e capacità di risoluzione dei problemi, e per affrontare le sfide globali nell'esplorazione e nell'uso dello spazio. Quindi, incrementare la partecipazione delle donne nel settore spaziale, offrendo modelli di riferimento, d'ispirazione e percorsi di carriera visibili, sono in grado di motivare le future generazioni di donne e ragazze a intraprendere carriere nello spazio. Nel tempo, ciò può contribuire a colmare importanti gap di talenti e a garantire processi decisionali più equi e rappresentativi sulle attività nello spazio, a beneficio dell'intera umanità.

Poiché ricerca e sviluppo rimangono al centro di questo settore altamente tecnico e innovativo, una rappresentanza equilibrata di genere può contribuire a garantire che la ricerca e l'esplorazione tengano conto delle diverse esperienze umane, come la comprensione della fisiologia femminile negli ambienti spaziali e altri aspetti cruciali per qualsiasi futuro umano nello spazio, dalle missioni prolungate all'eventuale insediamento. Alcuni studi mettono in evidenza, ad esempio, i potenziali vantaggi degli equipaggi composti interamente da donne, durante le future missioni spaziali con equipaggio umano, come ad esempio un minore consumo di risorse (come acqua e cibo) rispetto ai colleghi uomini.

Oggi le donne rappresentano solo il 30% della forza lavoro nel settore spaziale, con una proporzione ancora più bassa nei ruoli di alto livello: il 24% nelle posizioni manageriali, il 21% nei ruoli di leadership e appena il 19% nei consigli di amministrazione. Nei ruoli scientifici e tecnici e nei programmi di formazione per astronauti, le donne sono significativamente sottorappresentate rispetto ai ruoli nell'educazione e nella divulgazione, dove invece tendono a essere sovra-rappresentate. Inoltre, le donne sono sovra-rappresentate nel lavoro part-time in rapporto alla loro presenza nel settore, a dimostrazione del fatto che è necessario ancora molto lavoro per garantire una pari assunzione delle responsabilità di cura e fornire supporto a diverse forme di organizzazione flessibile del lavoro e politiche di permesso (ad esempio, il congedo per assistenza o il congedo parentale).

Queste tendenze sono destinate a rivoluzionare profondamente la struttura, il funzionamento e le performance dell'industria spaziale. Alcune imprese potrebbero trovarsi improvvisamente a fronteggiare la concorrenza di nuovi attori – o di realtà già esistenti – capaci di introdurre competenze e approcci innovativi, diversi da quelli tradizionali. Altre aziende, invece, avranno la lungimiranza di investire in nuove competenze, aprendosi così la strada per superare i limiti che oggi vincolano le loro strategie e i loro modelli di business.

La capacità di adottare strategie e modelli di business più evoluti, che tengano conto di molteplici domini e delle relative competenze e specificità, si traduce in vantaggi concreti: la letteratura conferma che queste scelte possono migliorare sensibilmente le performance finanziarie, segnando di fatto l'inizio di una nuova era per le attività

spaziali, caratterizzata dal coinvolgimento di una crescente varietà di attori. In sintesi, l'uguaglianza - o meglio ancora, l'equità - non è più soltanto una questione di diritti umani, ma si afferma come una vera e propria necessità economica.

Riferimenti bibliografici

- [1] Deloitte, *Sky is not the limit: Building Queensland's space economy*, February 2019 <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/Economics/deloitte-au-economics-building-queenslands-space-economy-110319.pdf>
 - [2] Kelli Sullivan, *The Space Industry's Most Powerful Women Call for Gender Diversity & Visibility*, June 2016, <https://observer.com/2016/10/the-space-industrys-most-powerful-women-call-for-gender-diversity-visibility>
 - [3] OECD, *The Space Economy in Figures*, July 2019, <https://www.oecd.org/innovation/the-space-economy-in-figures-c5996201-en.htm>
 - [4] <http://shrml.org/community/diversity-inclusion/>
 - [5] BCG Henderson Institute, *How Diverse Leadership Teams Boost Innovation*, January 2018, <https://www.bcg.com/publications/2018/how-diverse-leadership-teams-boost-innovation>
 - [6] UNOOSA, *Space4Women "Landmark study on gender equality in the global space Sector"*, https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2025/stspace/stspace96_0.html/st_space_096E.pdf
-

Women in space: il divario nei ruoli hands-on e nelle start-up!

Vittoria Di Palma¹

¹ The Exploration Company, vittoria.dipalma1211@gmail.com

Keywords Aerospace, Gender Gap, STEM, Manufacturing, Hands-on Roles.



Nonostante i grandi progressi compiuti in campo spaziale nell'inserimento delle donne nei vari ruoli, rimane ancora marcato il divario nella partecipazione femminile ai ruoli operativi e pratici. Storicamente, le donne hanno spesso ricoperto posizioni di supporto o ricerca, ma raramente hanno avuto accesso diretto alle attività tecniche, ingegneristiche e operative all'interno delle missioni spaziali. Le donne hanno dovuto superare numerose barriere culturali e pratiche per affermarsi nello spazio: le prime astronaute hanno aperto la strada, ma la loro partecipazione rimane minoritaria, seppur in aumento, sia negli equipaggi astronautici che nella leadership di progetti spaziali, sebbene negli ultimi anni lo scenario stia cambiando. La visibilità di figure come ad esempio Samantha Cristoforetti, Christina Koch, e molte altre, ispirano nuove generazioni di ragazze a scegliere carriere scientifiche e spaziali. L'ONU, l'ESA e altre istituzioni promuovono programmi specifici (es. Space4Women in UNOOSA) per favorire la presenza femminile nel settore spazio. Questo fenomeno solleva interrogativi sulla parità di genere nel settore spaziale e sulle barriere - visibili e invisibili - che ancora ostacolano una piena partecipazione femminile ai ruoli più attivi e decisionali. Analizzare le cause e le implicazioni di questo divario è fondamentale per costruire un futuro più inclusivo nello spazio. L'aumento dell'occupazione femminile rappresenta senza dubbio uno dei cambiamenti più significativi del mercato del lavoro europeo degli ultimi decenni. In Italia, come riportano i dati ISTAT, il tasso di occupazione complessivo generale è passato da circa il 55% nel 1977 al 62.5% nel 2025, mentre l'occupazione femminile ha riscontrato una crescita sorprendente, passando da valori inferiori al 35% fino a sfiorare il 55%. [1]

Tuttavia, questi dati non risultano sufficienti per descrivere nella totalità la reale distribuzione delle donne all'interno dei settori STEM e, in particolare, nel settore spaziale. Avere un quadro completo della presenza femminile nei vari ruoli lungo l'intera catena del valore, serve

per capire dove ci sono maggiori opportunità per le donne e dove invece permangono barriere.

Nel contempo, per meglio comprendere le statistiche, valutiamo la visione dell'occupazione femminile italiana rispetto al contesto europeo in cui emerge la necessità di analizzare non soltanto la presenza quantitativa delle donne nel mercato del lavoro, ma anche la tipologia di ruoli ricoperti all'interno dei diversi settori professionali e tecnologici. Il grafico di **Fig.1** mette in evidenza il più alto livello di istruzione delle donne che induce anche una maggiore presenza nel livello "Alto".

Nel successivo grafico della **Fig.2** si evidenzia che l'aumento della partecipazione femminile nel mercato del lavoro, e ai percorsi STEM, non si traduce necessariamente in una distribuzione omogenea delle donne all'interno dei diversi settori professionali.

Osservando il contesto europeo emerge come la rappresentazione femminile vari significativamente in funzione della tipologia di attività svolta e del ruolo ricoperto. La distribuzione di scienziati e ingegneri nei diversi settori economici evidenzia un comportamento differente e abbastanza in linea con realtà pregresse.

La presenza femminile risulta significativamente più elevata nei servizi ad alta intensità e conoscenza, mentre diminuisce drasticamente nei settori manifatturieri e produttivi. Nel settore manufacturing, infatti, le donne rappresentano meno di un quarto della popolazione tecnica totale, mostrando uno squilibrio molto più marcato. Questo suggerisce come il divario nelle STEM non riguardi solo i ruoli di leadership come ci si aspettava, ma anche la distribuzione nei vari ruoli all'interno dei contesti lavorativi.

Quindi possiamo affermare che la presenza delle donne nel settore spaziale è in crescita, ma rimane inferiore rispetto a quella maschile, tanto nelle missioni spaziali quanto nei ruoli scientifici, tecnici e manageriali. In particolare, le attività operative e manifatturiere continuano a mostrare una presenza femminile limitata rispetto ad altri contesti professionali. Manufacturing,

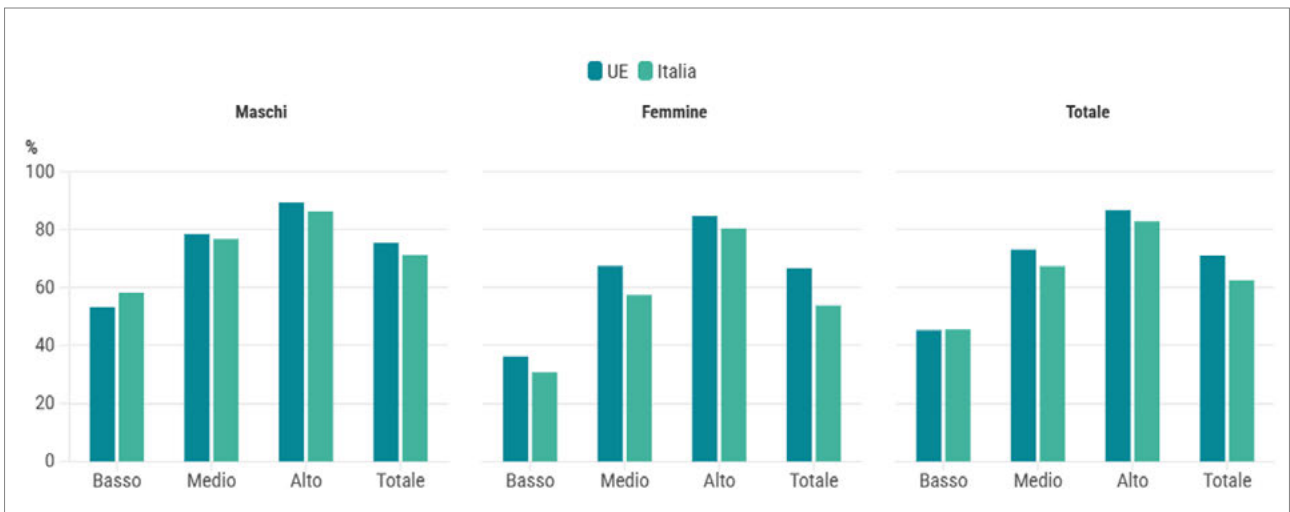


Fig.1 Tassi di occupazione per sesso e livello di istruzione in Italia e nell'UE. Anno 2025 (valori percentuali) (a) Fonte: Eurostat, Labour force survey. (a) "basso" comprende l'assenza di titoli scolastici e quelli fino alla licenza secondaria inferiore; "medio" il diploma secondario superiore; "alto" le persone con titoli di studio terziari. [1]

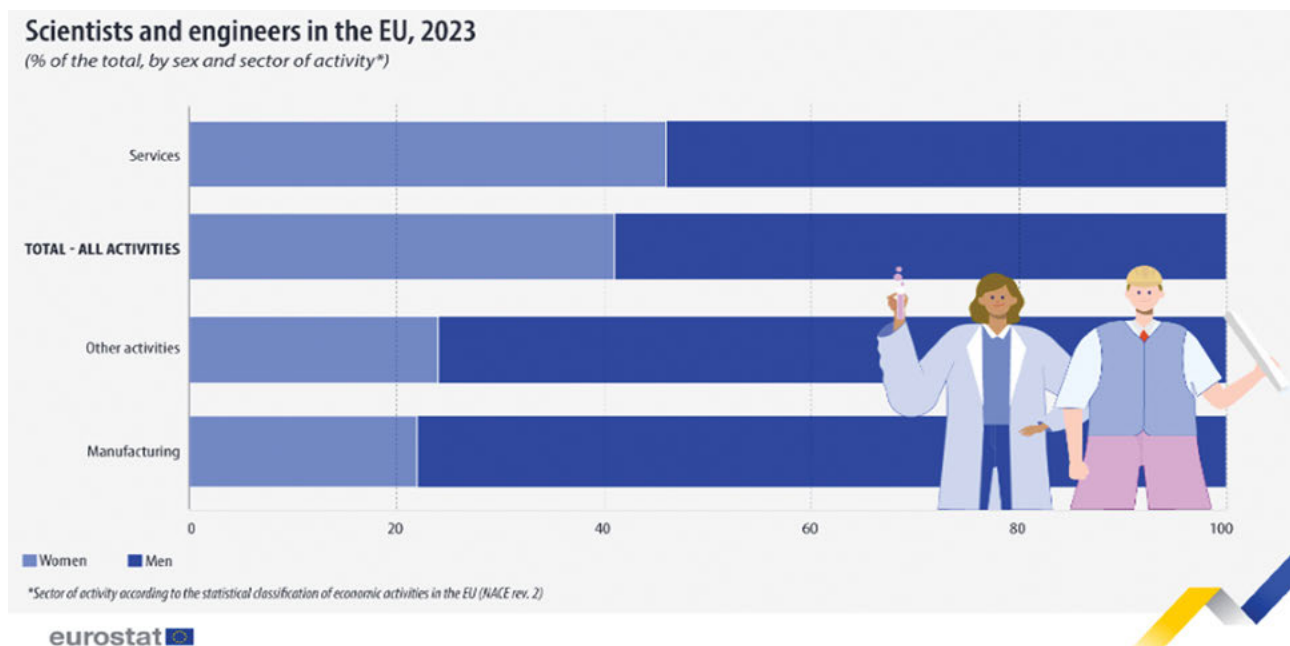


Fig.2. Scientists and engineers in the EU, 2024 Fonte: Eurostat, 2026 [3].

integrazione meccanica, campagne di test e attività AIT rappresentano ancora oggi ambienti prevalentemente maschili, nonostante il progressivo aumento delle donne nei percorsi STEM. Questa differenza emerge soprattutto nella quotidianità dei contesti produttivi e di integrazione e test dell'hardware. La presenza femminile appare infatti più frequente nei ruoli di coordinamento, gestione o nei servizi ad alta intensità di conoscenza, mentre rimane meno comune nelle attività maggiormente pratiche e operative. Questa analisi suggerisce come il tema non riguardi più soltanto l'accesso alle discipline tecnico-scientifiche,

ma anche la distribuzione concreta delle professionalità all'interno delle diverse realtà industriali. I dati disponibili a riguardo sono limitati se non addirittura assenti.

Un altro fenomeno degli ultimi anni è quello delle start up. L'interesse per l'imprenditorialità femminile è cresciuto notevolmente, con un numero sempre maggiore di donne che decidono di avviare o co-fondare una start-up. Tuttavia, le donne rappresentano ancora una minoranza sia tra i fondatori che nelle posizioni di leadership, e incontrano ostacoli specifici nell'accesso alle risorse e ai finanziamenti. Dati recenti indicano che la percentuale di startup fondate da donne si aggira spesso attorno

al 15-20% a livello globale, una cifra che varia in base al paese e al settore [4].

Le startup a leadership femminile sono più numerose in ambiti come salute, educazione e servizi sociali, e meno nei settori tecnologici o ad alta intensità ingegneristica. Quando poi si tratta di accesso ai finanziamenti, il gap diventa ancora più marcato: le startup guidate da donne ricevono una quota significativamente inferiore degli investimenti di venture capital rispetto a quelle guidate da uomini. Le cause di questo divario vanno dalla minore presenza femminile nelle discipline STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica), agli stereotipi di genere, alla carenza di network professionali focalizzati sull'imprenditoria femminile, fino a barriere strutturali nel mondo degli investimenti.

Nonostante queste difficoltà, le donne stanno dimostrando una crescente capacità di innovare, creando imprese ad alto impatto sociale e portando una nuova prospettiva nei processi di leadership e management. Crescono inoltre i programmi di sostegno, networking e incubazione dedicati all'imprenditoria femminile, a testimonianza dell'importanza di favorire una maggiore parità di accesso alle opportunità nel mondo startup. Promuovere il talento imprenditoriale delle donne rap-

presenta non solo una questione di equità, ma anche una leva cruciale per la crescita economica, l'innovazione e la competitività a livello globale.

In conclusione possiamo evidenziare che negli ultimi decenni la partecipazione femminile nelle STEM è cresciuta in maniera significativa, sia in Italia che nel contesto europeo. Tuttavia, questa crescita non appare uniforme nei diversi contesti professionali. Va anche tenuto presente che molto si sta facendo nel settore industriale. Per esempio, LSI e start-up del settore spaziale collaborano attivamente a programmi di formazione, mentorship e assunzione di donne in ruoli STEM.

Crescono quindi le opportunità per le donne nelle discipline STEM per ingegneria aerospaziale, informatica, matematica applicata, gestione dati, ricerca scientifica ma permangono ostacoli legati a stereotipi culturali, difficoltà di conciliare carriera e vita privata, scarsità di modelli di riferimento nei ruoli apicali.

Molto c'è ancora da fare per una presenza diffusa delle donne in tutti i ruoli in modo da apportare quel 50% vitale per la crescita e l'innovazione ad ampio spettro.

Riferimenti bibliografici

[1] ISTAT: *Tassi di occupazione 15-64 anni per sesso. Anni 1977-2025. Rilevazione sulle forze di lavoro*. Istituto Nazionale di Statistica, Roma (2025). <https://www.istat.it/produzione-editoriale/lavoro/>

[2] Eurostat: *Share of women managers in 2014 and 2024*. Eurostat News Release, European Commission, Luxembourg (11 February 2025). <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/edn-20260302-2>

[3] Eurostat: *Scientists and engineers in the EU, 2024*. Eurostat News Release, European Commission, Luxembourg (2 March 2026). <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/edn-20250211-1>

[4] *Studi di Startup Genome, Global Entrepreneurship Monitor (GEM), European Startup Monitor, Crunchbase ed enti delle Nazioni Unite*.

Ingegnera Aerospaziale... questa sconosciuta!

Barbara Orsola

TMC Italia spa, barbara.orsola@tmceurope.com

Keywords

STEM / STEAM; Ingegneria aerospaziale; Orientamento formativo; Competenze tecnico-scientifiche; Soft skills; Innovazione tecnologica; Trasferimento tecnologico; Industria e mercato del lavoro; Transizione digitale; Interdisciplinarietà.



ABSTRACT

Nel contesto delle profonde trasformazioni tecnologiche e industriali, le discipline STEM rappresentano un fattore abilitante strategico per la competitività e la sostenibilità del sistema Paese. In tale scenario, l'ingegneria aerospaziale si configura come un ambito paradigmatico, capace di integrare competenze tecnico-scientifiche avanzate, approccio sistemico e forte orientamento all'innovazione. (vedi **Fig.1**). Il contributo propone un percorso di orientamento che, a partire dall'evoluzione storica della figura dell'ingegnere – da professione unitaria a insieme articolato di specializzazioni – analizza il crescente fabbisogno di competenze richieste dal tessuto industriale contemporaneo. In questo contesto, accanto alle

competenze specialistiche, assumono un ruolo centrale le soft skill, tra cui adattabilità, capacità di lavorare in team, comunicazione efficace e problem solving, considerate sempre più determinanti per l'inserimento e la crescita professionale (vedi Tabella I).

Particolare attenzione è dedicata al ruolo delle discipline STEM – Science, Technology, Engineering e Mathematics – e alla loro evoluzione verso il paradigma STEAM (vedi **Fig.2**), che integra la dimensione artistica e creativa, al fine di promuovere un approccio multidisciplinare all'innovazione. Le STEM costituiscono infatti la base dello sviluppo tecnologico e della capacità di risposta alle sfide globali, favorendo una mentalità orientata alla risoluzione dei problemi e alla generazione di soluzioni sostenibili. In questo quadro, l'ingegneria aerospaziale emerge come settore ad elevato valore strategico,



Fig. 1. Evoluzione della professione dell'ingegnere da ruolo unitario a domini specializzati, tra cui ingegneria civile, industriale e aerospaziale.

caratterizzato da applicazioni trasversali che spaziano dall'aeronautica allo spazio fino a diversi ambiti industriali, tra cui energia, mobilità avanzata e infrastrutture complesse (vedi Tabella II). L'ampiezza e la versatilità delle competenze acquisite rendono tali profili altamente adattabili e richiesti in contesti interdisciplinari

e internazionali. Il lavoro si propone infine di contribuire a una riflessione sul rafforzamento delle competenze STEM come leva per l'innovazione, il trasferimento tecnologico e la costruzione di percorsi professionali coerenti con le sfide della transizione digitale ed energetica.

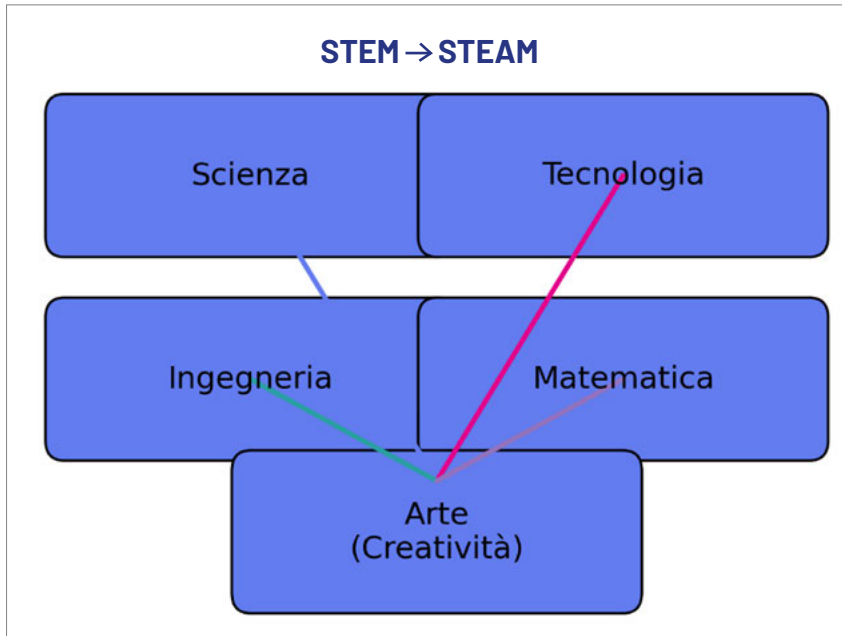


Fig. 2. Transizione da STEM a STEAM, che evidenzia l'integrazione della creatività all'interno delle discipline tecniche.

TABELLA 1 - Competenze chiave richieste dall'industria

CATEGORIA	COMPETENZE
Competenze tecniche	Fondamenti di ingegneria, analisi dei dati, ingegneria dei sistemi
Soft skills	Lavoro in team, comunicazione, problem solving
Caratteristiche personali	Adattabilità, proattività, responsabilità
Competenze aggiuntive	Conoscenza dell'inglese, mentalità internazionale

Tabella II – Ambiti applicativi dell'ingegneria aerospaziale

AMBITO	APPLICAZIONI
Aeronautica	Progettazione di velivoli, aerodinamica, sistemi di propulsione
Spazio	Satelliti, sistemi di lancio, missioni spaziali
Energia	Sistemi rinnovabili, efficienza energetica
Mobilità avanzata	Aerodinamica automobilistica, UAV, mobilità intelligente
Infrastrutture	Analisi strutturale, sistemi complessi

Riferimenti bibliografici

- [1] Colwell, R. (2001). *National Science Foundation and the emergence of STEM education*. NSF.
- [2] European Commission (2023). *STEM education policies in the EU and their impact on innovation*. Brussels.
- [3] World Economic Forum (2023). *The Future of Jobs Report*.
- [4] National Academy of Engineering (2004). *The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century*. Washington, DC
- Crawley, E. F., et al. (2014). *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. Springer.
- [5] Crawley, E. F., et al. (2014). *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. Springer.
- [6] European Space Agency (ESA) (2022). *Space Economy Report*.
- [7] Autor, D. (2015). *Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation*. *Journal of Economic Perspectives*.
- [8] UNESCO (2021). *Engineering for Sustainable Development: Delivering on the SDGs*.

Forecasting Services Platform for Algae Blooms in Sardinian reservoirs and its implementation.

M. A. Dessena¹, A. Fadda², A. Viridis³, A. Tzimas⁴, E. Romas⁵, C. Giardino⁶, M. Bresciani⁷

¹ M.A. Dessena - Enas/RAS - mantonietta.dessena@enas.sardegna.it

² A. Fadda - Enas/RAS - amedeo.fadda@enas.sardegna.it

³ A. Viridis - Enas/RAS - andrea.viridis@enas.sardegna.it

⁴ A. Tzimas - Waterforesight - atzimas@waterforesight.gr

⁵ E. Romas - Waterforesight - romasvag@waterforesight.gr

⁶ C. Giardino - CNR-IREA - giardino.c@irea.cnr.it

⁷ M. Bresciani - CNR-IREA - bresciani.m@irea.cnr.it

Keywords

Water quality, Landsat-8 -9 and Sentinel-2A -2B, early warning and previsional model platform.



1. INTRODUCTION

The H2020 project PrimeWater partnership generated operational satellite-based water quality datasets for four different case studies in Europe, Australia, and the USA. Today, Enas signed a collaboration agreement with Water-Foresight from Greece for the application and implementation of the system for water management on the platform. The applied physics-based retrieval algorithm, the Modular Inversion and Processing System (MIP), accounts for and corrects a variety of environmental impacts,

such as atmospheric conditions, adjacent land cover, water surface characteristics, and the composition of water constituents, while also considering varying observation geometries and sensor properties.

It provides key water quality parameters, including turbidity, chlorophyll-a concentrations, Secchi disk depth, water temperature, and a harmful algal bloom indicator sensitive to cyanobacteria. Through automated delivery mechanisms, the datasets are directly ingested into the online-accessible platform and are further used for assimilation with modelled data. Based on the Copernicus Sentinel-2A/B missions, combined with additional data



Fig. 1. Case study reservoirs (Tirso, Mulargia and Flumendosa)

from Landsat 8, spatial resolutions of up to 10 m pixel size enable the monitoring of larger reservoirs, such as Lake Mulargia and Flumendosa in Italy. For these use cases, time series data from 2015 on-wards are used from both satellite observations and in situ analyses.

2. AIM OF THE WORK

The present abstract refers to the provision of operational water quality forecasting platform services for the multipurpose interconnected reservoirs of Mulargia, Flumendosa and Tirso in the central Sardinia on giving re-marks on future implementations of reservoirs.

The reservoirs are also used for recreational activities, hydro-power and/or flood management with impacts to the lives of many inhabitants nearby. The present abstract refers to the provision of operational water quality forecasting platform services for the multipurpose interconnected reservoirs of Mulargia, Flumendosa, and Tirso in central Sardinia, while also providing remarks on future reservoir implementations. These reservoirs are also used for recreational activities, hydropower generation, and flood management, with significant impacts on the lives of many nearby inhabitants.

The operational tools and services for the 3 reservoirs provide the following functionalities:

- 1) Monitoring of reservoirs with EO-based products obtained from Landsat and Sentinel satellites.
- 2) Hydrological forecasting services for river discharges and nutrient loads in the upstream catchments of the 3 reservoirs.
- 3) Water quality forecasting in the 3 reservoirs through 3-dimensional coupled hydrodynamic and water quality models.
- 4) Scenario-based tool for blending optimization between the interconnected reservoirs.

The forecasting services start from the existing setups from previous modeling attempts.

The scenario-based tool for Blending Optimization developed in PrimeWater Project (Horizon 2020), that were limited to Flumendosa and Mulargia reservoir will be extended and modified to account for water originating from Tirso reservoir, and the scenarios examined and finalized. The following tables (Table 1-3) summarize the core characteristics of the monitoring and forecasting components.

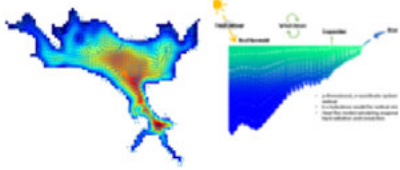
Table 1. Core service characteristics for EO monitoring

Spatial resolution	From 10x10m ² (Sentinel) to 30x30m ² (Landsat)
Water Quality variables	Chlorophyll-a, Surface Water Temperature, Turbidity, Total Suspended Matter, Secchi Depth, Total Absorption, Harmful Algae Bloom Indicator, True color Image
Update interval	up to multiple images per week depending on weather conditions (cloudiness, sun glint, etc.)
Monitoring Product delivery	EO-based water quality images will be provided on web-based platform

Table 2. Core service characteristics for Hydrological Forecasting

Models	E-HYPE Hydrological model
Spatial resolution	Catchment based modelling. Average hydrological catchment size 200 km ²
Temporal resolution	Results available in daily time step
Forecasting horizon	Short to medium term forecasting (Up to 10 days lead time)
Forecasted hydrological variables	River discharges, water temperature, nutrient loads (nitrogen & phosphorus), suspended sediment
Forecast update interval	Every 24 hours
Forecast delivery	Maps and time series of forecasted variables are delivered through web-based platform

Table 3. Core service characteristics for Hydrological Forecasting

Models	<p>Coupled hydrodynamic and ecological modelling with Delft3D FLOW and Delft3D WAQ</p> <p>OPERATIONAL COUPLED HYDRODYNAMIC AND WATER QUALITY FORECASTING</p>  <p>Capture the motion of water and calculate forces on it using Delft3D-FLOW.</p> <ul style="list-style-type: none"> • water velocities • mixing and turbulent water temperature and densities. <p>Delft WAQ uses 50 ecological processes and state to capture the dynamics of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • algae populations • dissolved nutrient particulate matter • dissolved oxygen
Data Assimilation	Real time assimilation of EO-based water quality products (e.g., chlorophyll-a, water temperature), upon data availability
Spatial resolution	Regular grid with cell size depending on reservoirs surface area (typical 100x100 m ²). Vertical discretization in layers depending on reservoirs depth (typical 5-20).
Temporal resolution	Results available in 6 hours' time step
Forecasting horizon	Short to medium term forecasting (Up to 7 days lead time)
Forecasted hydrodynamic variables	Water velocities, water temperature
Forecasted WQ variables	Chlorophyll-a, Nitrogen (NO ₃ , NH ₄), Phosphorus (PO ₄), Dissolved Oxygen
Forecast update interval	Every 24 hours
Forecast delivery	Maps and time series of forecasted variables are delivered on web-based platform

3. SATELLITE IMAGERY DATASET AND PRODUCT DELIVERED

The calculated high-resolution satellite-based time series in the pilot use cases can help to identify spatial and seasonal trends for a set of important water quality related parameters.

For the described use case, a set of water quality products are generated using the MIP processing chain in a fully operational way, including the most important parameters of Chlorophyll-a (CHL) in µg/l, Harmful Algae Bloom Indicator (HAB) sensitive to the appearance of Phycocyanin and Phycoerythrin, Secchi Disc Depth (SDD), Surface Water Temperature (SWT).

In total, over 3,000 single satellite scenes from Sentinel-2A/B and Landsat 8 have been processed from 2015 to spring 2026.

For each satellite record, the satellite-based water quality parameters have been calculated and delivered in 10m (Sentinel-2A/B) and 30m (Landsat 8) spatial resolution, giving insights to the actual water quality status and distribution patterns.

Sentinel-2 A/B and Landsat 8 data have been processed

using EOMAPs proven physics-based Modular Inversion and Processing System (MIP), which is orchestrated by the EOMAP Workflow System (EWS). While the EWS manages the workflow itself, the MIP architecture systematically handles the independent properties of sensor parameters and specific optical properties as well as the radiative transfer relationships. Radiative transfer modelling in the coupled atmosphere-water systems is based on the reference model Finite Element-Method (FEM) with 30 years of development history (Heege and Fisher, 2004; Heege et al., 2019; Bresciani et al., 2019).

4. RESULTS AND FURTHER IMPLEMENTATIONS

The early warning capability developed in the platform allows periodic monitoring within the 9 days preceding the event, whether it be an algal bloom or a state of distress in the water. The indicators strategically positioned near the dam and at the tributaries which are known to represent the main vehicles of solid transport and therefore of nutrients, when interrogated, provide information on the quality of the water in the surrounding

area as is also highlighted by the coloring of the pixels on a scale of reservoir invaded.

The knowledge of the status in the reservoirs can be used in management by blending fresh water from the Flumendosa to the Mulargia in case of occurring algae blooms or increased turbidity to improve the water qua-

lity and quantity. Seasonal occurrence of algae blooms and its interannual changes can be identified through the calculated chloro-phyll-a concentrations from the multispectral satellite sensors. By this method, annual comparisons can also be drawn. See below the different application on platform (**Fig. 2, 3, 4**):

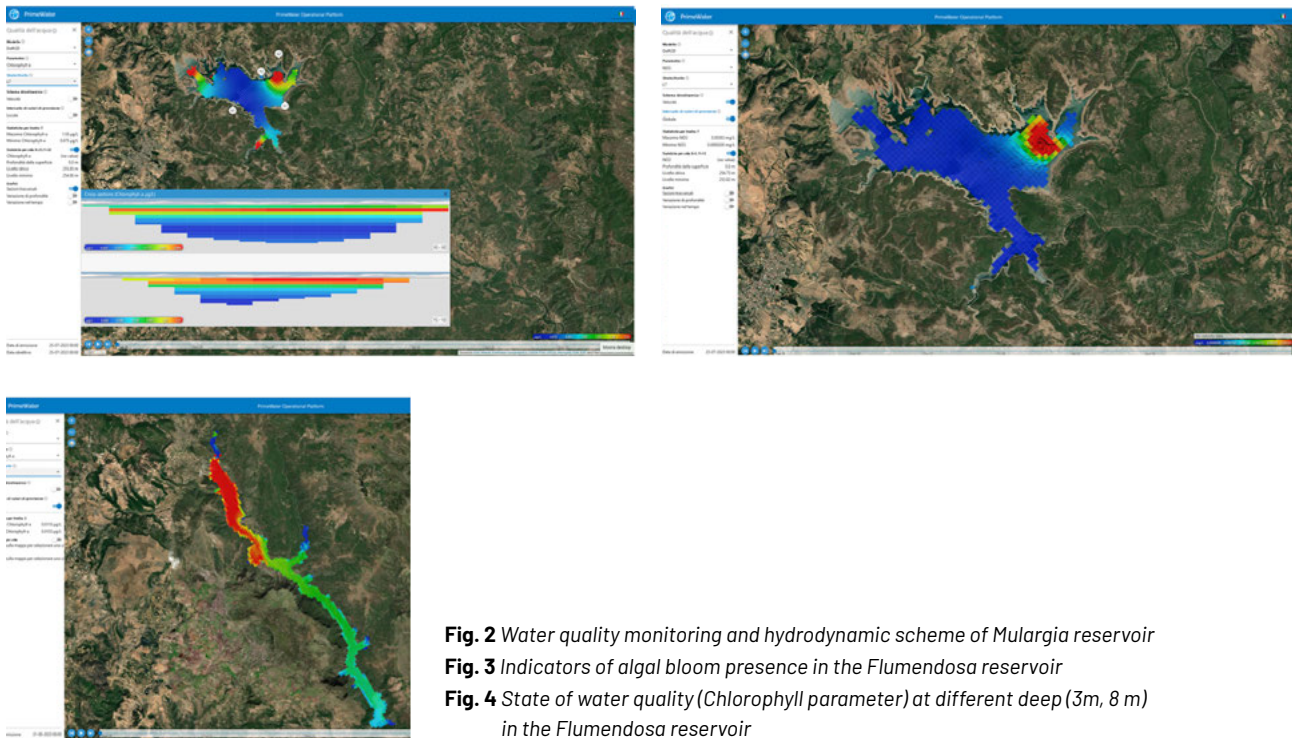


Fig. 2 Water quality monitoring and hydrodynamic scheme of Mulargia reservoir

Fig. 3 Indicators of algal bloom presence in the Flumendosa reservoir

Fig. 4 State of water quality (Chlorophyll parameter) at different deep (3m, 8 m) in the Flumendosa reservoir

Riferimenti bibliografici

1. Bresciani, M.; Giardino, C.; Stroppiana, D.; Dessena, M.A.; Buscarinu, P.; Cabras, L.; Schenk, K.; Heege, T.; Bernert, H.; Bazdanis, G.; and Tzimas, A., 2019. Monitoring water quality in two dammed reservoirs from multispectral satel-lite data, *European Journal of Remote Sensing* 52, pp. 113-122.2.
2. Heege, T.; Schenk, K. and Wilhelm M.-L., 2019. Water Quality Information for Africa from Global Satellite Based Measurements: The Concept Behind the UNESCO World Water Quality Portal. in: *Embedding Space in African Socie-ty. The United Nations Sustainable Development Goals 2030 Supported by Space Applications*, pp. 8-92
3. Heege, T. and Fischer, J., 2004. Mapping of water constituents in Lake Constance using multispectral airborne scanner data and a physically based processing scheme. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(1), pp.77-86.

Estimation of actual evapotranspiration by remote sensing; methodological developments and prospects

Marta Chiesi¹, Luca Fibbi^{1,2}, Bernardo Rapi¹, Maurizio Pieri¹, Fabio Maselli¹

¹ CNR IBE, nome.cognome@cnr.it

² LaMMA Consortium, fibbi@lamma.toscana.it

Keywords Sen-ET; NDVI-Cws; ERA5; forest; prairie.



Actual evapotranspiration (ETa) is a fundamental parameter for the management of water resources on different areas. The need to work on a large scale requires the development of ETa estimation methods that can be operational and easy to apply, especially in heterogeneous and fragmented Mediterranean areas. In this context, the use of remote sensing offers considerable opportunities, but it is essential to have images with high spatio-temporal resolution. Since the 1980s, numerous methodologies have been proposed to use satellite images in the estimation of the ETa, which can be grouped into two main categories plus a third mixed one. The former, energy balance, is physically based and theoretically efficient but subject to spatio-temporal sub-sampling issues, which have been recently reduced by data fusion methods; an example of this approach is provided by the Sen-ET algorithm (Guzinski et al., 2020). Water balance methods are semi-empirical and less affected by these issues but generally have problems in correctly considering the effect of water stress (WS). This limitation has been largely overcome in the NDVI-Cws method (Maselli et al., 2014) through the inclusion of ancillary information about the meteorological WS.

Merging estimates from the two key methods could overcome the remaining hurdles to producing a complete, high-resolution (10-20 m), daily ETa dataset.

This approach is evaluated in the present work with regard to a Mediterranean area characterized by high fragmentation and spatial heterogeneity of the covers.

The climate of this area is mild, with hot summers and almost no rainfall; despite the physiological adaptations that characterize it, the local vegetation is therefore often subject to periods of more or less marked WS (Nardini et al., 2014). Among the most represented types of land use are evergreen forests and semi-natural grassland areas.

The input data used to initialize the two mentioned algorithms are the following: i) meteorological data, ii) digital terrain model (DEM), iii) land use map, iv) remote sensing data. In particular, meteorological data (i.e., air temperature, dew temperature, pressure, wind speed, precipitation and solar radiation) are obtained from the ERA-5 dataset produced by ECMWF at low spatial resolution; DEM is used to correct radiation and temperature; the land use map for Sen-ET is produced by ESA as part of the Climate Change Initiative, while the one for NDVI-Cws is obtained from the Tuscany Region database; the last type of data includes Sentinel-2 (S-2) images at 10 m spatial resolution and high time frequency (2-5 days) and daily Land Surface Temperature (LST) images produced by Sentinel-3 (S-3) at a spatial resolution of 1 km. Sen-ET estimates are obtained on the basis of the Priestley-Taylor T-SEB algorithm by differentiating between surface energy balance at ground and canopy level (Kustas and Norman, 1999). The two surfaces are identified using the Fractional Vegetation Cover (FVC) and characterized using the LST of the S-3.; the latter is resampled to a resolution of 20 or 100 m by fusion with S-2 optical data. More methodological details are provided by Guzinski et al. (2020). The current version of Sen-ET is derived from the open-source Python library pyTSEB (<https://github.com/hectornieto/pyTSEB>, last accessed: March 20, 2026).

The semi-empirical NDVI-Cws method aims at estimating transpiration from green surfaces and evaporation from soil separately using FVC (Maselli et al., 2014). This, derived from NDVI images of S-2 through a linear relationship, is then combined with meteorological data and with the maximum crop coefficient of the different vegetation types for the prediction of ETa (Maselli et al., 2020). In particular, short-term water stress, which is not detected through NDVI variations, is modeled from precipitation and potential evapotranspiration data cu-

culated over variable periods depending on the vegetation type (i.e., 30 days for herbaceous species, 45 for shrubs and 60 for trees).

The two methods were applied to obtain ET_a estimates of the study area for the year 2023. Both were driven by the same auxiliary data, including meteorological data from ERA5. The following figures show the comparisons between the estimates produced by Sen-ET and ND-

VI-Cws together with those obtained from the regression between the two methods. Figure 1 refers to the grassland site, for which the ET_a maxima reach about 5.5 mm, while Figure 2 refers to the pine forest site, where ET_a reaches 5.2 mm and 6.1 mm from NDVI-Cws and Sen-ET, respectively. For both ecosystem types, the integrated model generally estimates higher NDVI-Cws values, especially during the summer period. However,

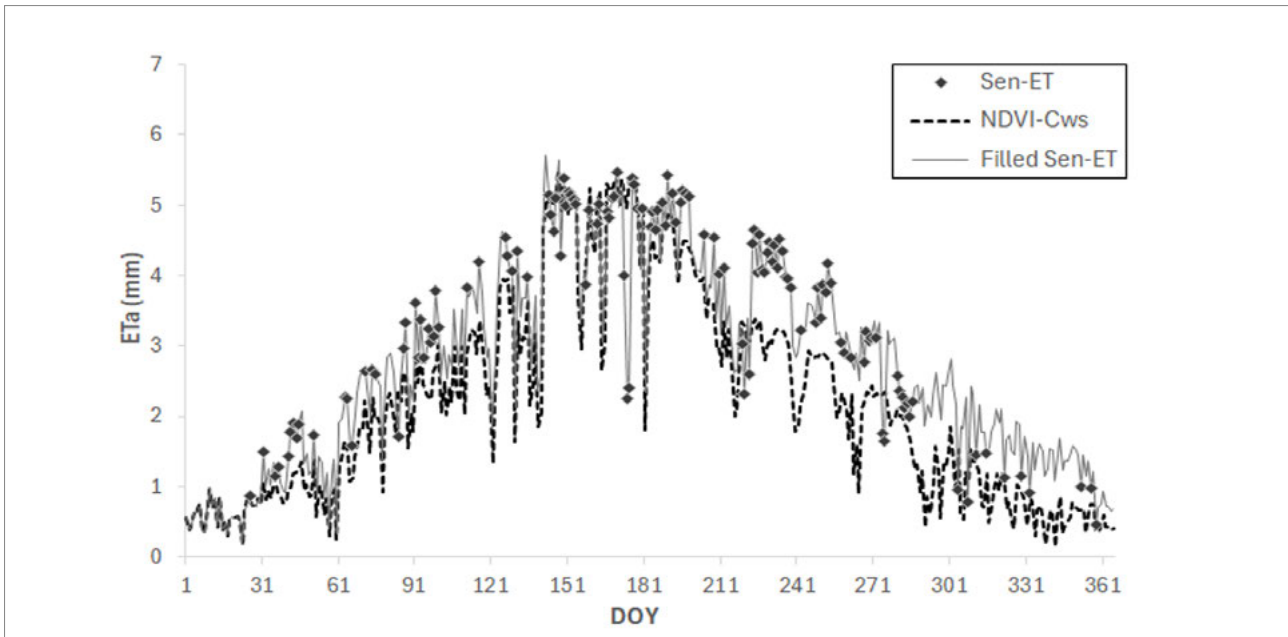


Fig.1 Comparison of ET_a estimates obtained from the Sen-ET and NDVI-Cws methods together with the daily product obtained by gap-filling the Sen-ET series with NDVI-Cws data. The data refer to the San Rossore prairie in the year 2023.

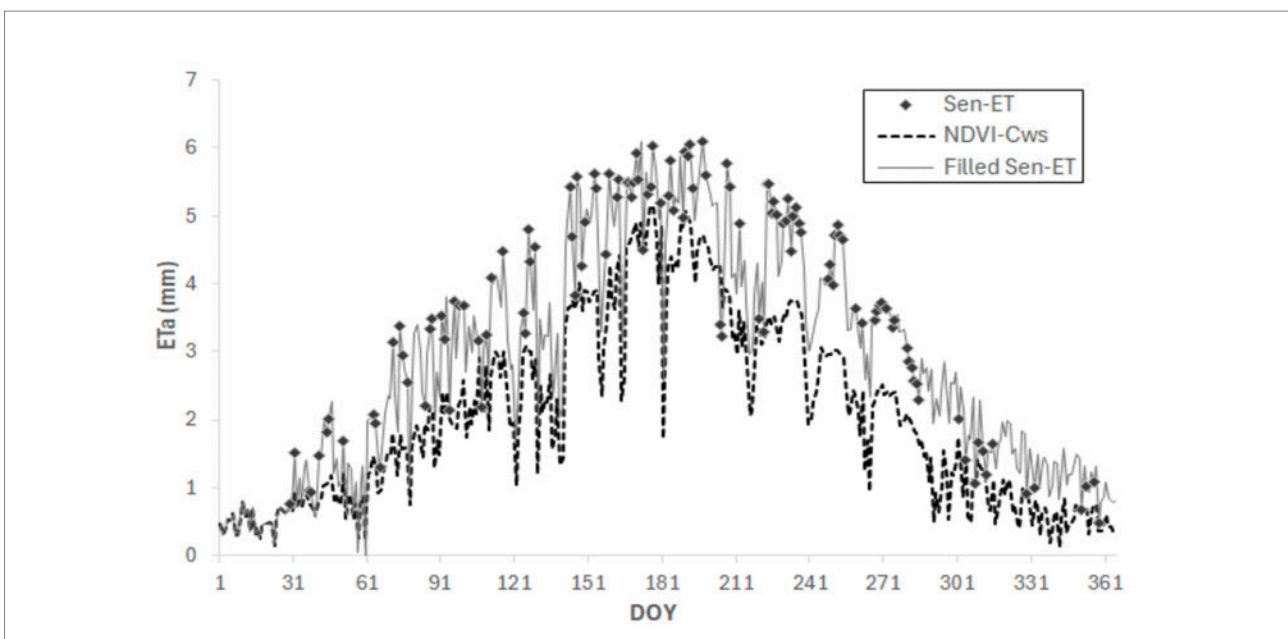


Fig.2 Comparison of ET_a estimates obtained from the Sen-ET and NDVI-Cws methods together with the daily product obtained by gap-filling the Sen-ET series with NDVI-Cws data. The data refer to the San Rossore pine forest in the year 2023.

the temporal variations of Sen-ET are highly correlated with those of NDVI-Cws ($r^2 = 0.875$ and 0.926 for the grassland and pine forest, respectively).

Therefore, the possibility of obtaining complete series of ETa at daily scale and at high spatial resolution throu-

gh methodologies that have different theoretical foundations is confirmed. This operation will allow to make the most of the characteristics of both approaches, i.e. the direct relationship between temperature variations and ETa in the case of Sen-ET and the possibility of having continuous data over time in the case of NDVI-Cws.

References

1. Guzinski, R., Nieto, H., Sandhold, I., Karamitlios, G.: *Modelling high-resolution actual evapotranspiration through Sentinel-2 and Sentinel-3 data fusion*. *Remote Sensing*, 12 (9), 1433 (2020).
 2. Kustas, W.P., Norman, J.M.: *Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 94 (1), 13-29 (1999).
 3. Maselli, F., Papale, D., Chiesi, M., Matteucci, G., Angeli, L., Raschi, A., Seufert, G.: *Operational monitoring of daily evapotranspiration by the combination of MODIS NDVI and ground meteorological data: Application and validation in Central Italy*. *Remote Sensing of Environment*, 152, 279-290 (2014).
 4. Maselli, F., Angeli, L., Battista, P., Fibbi, L., Gardin, L., Magno, R., Rapi, B., Chiesi, M.: *Evaluation of Terra/Aqua MODIS and Sentinel-2 MSI NDVI data for predicting actual evapotranspiration in Mediterranean regions*. *International Journal of Remote Sensing*, 41 (14), 5186-5205 (2020).
 5. Nardini, A., Lo Gullo, M.A., Trifilò, P., Salleo, S.: *The challenge of the Mediterranean climate to plant hydraulics: Responses and adaptations*. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 68-79 (2014).
-

Enhancing a satellite-derived isoradio-metric method for shoreline monitoring and coastal squeeze assessment

Pedro A. Garzo¹, Antonino Maltese², Attilio Sulli³, Alejandra Merlotto¹, Germán R. Bértola¹

¹Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC, UNMDP/CONICET); Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (IGCyC, UNMDP/CIC), Mar del Plata, Argentina. pgarzo@mdp.edu.ar; amerlott@mdp.edu.ar; gbertola@mdp.edu.ar

²Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italia. antonino.maltese@unipa.it

³Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italia. attilio.sulli@unipa.it

Keywords

Coastal monitoring; satellite-derived shoreline; hydrodynamic conditions.



1. INTRODUCTION

Coastal systems function dynamically as natural buf-

fers, mitigating the impacts of wave energy on inland areas. They are highly vulnerable to climate-driven hazards across multiple spatio-temporal scales, threate-

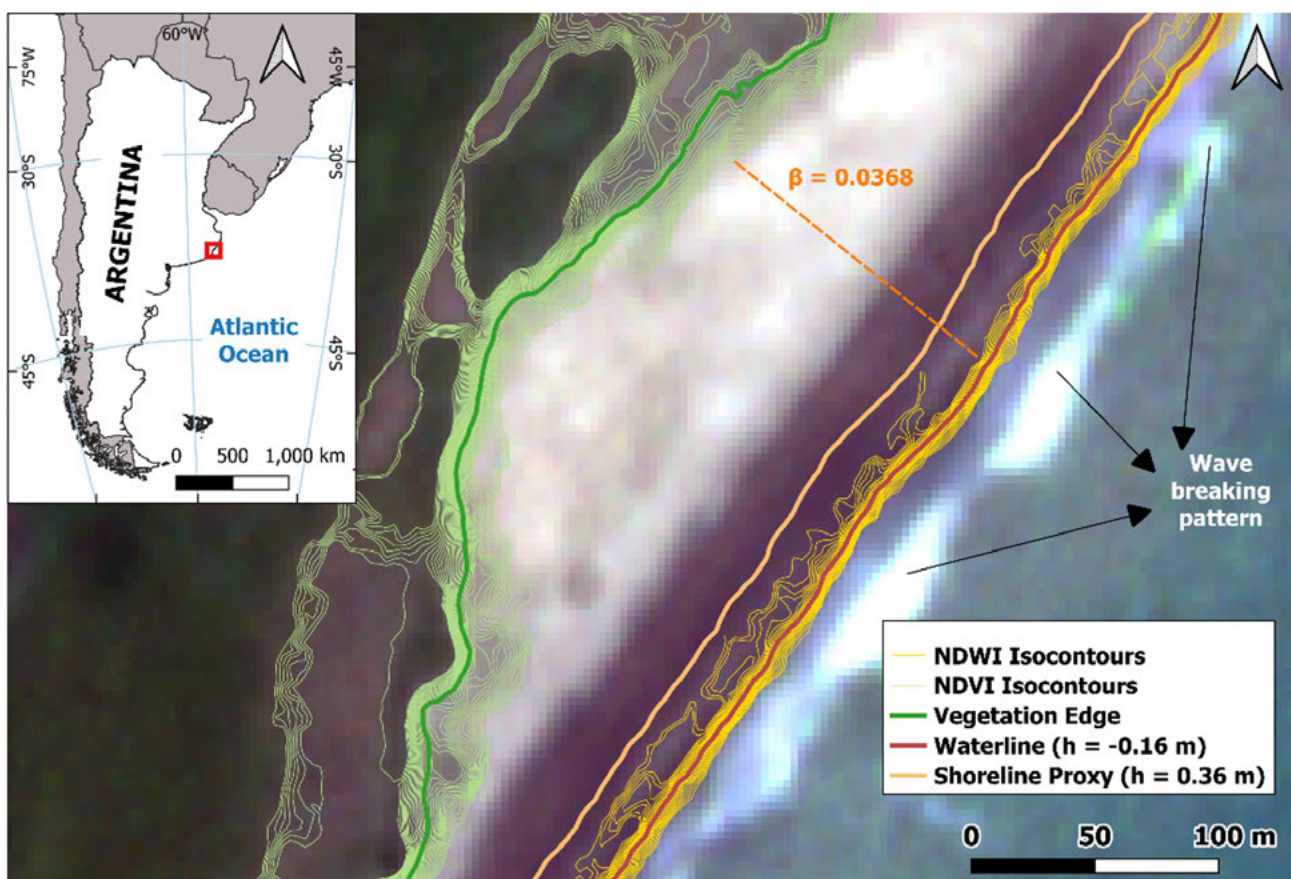


Fig.1 Study site and method outputs. Base image corresponds to 05/12/2025 PSB.SD acquisition.

ning their long-term sustainability [1].

Coastal vulnerability, further amplified by anthropogenic pressures such as urbanization, infrastructure development, and port activities, are projected to intensify under future climate-change scenarios, thereby exacerbating risks for coastal ecosystems and human societies worldwide [2]. One of the main processes affecting coasts at the global scale is coastal squeeze [3], a phenomenon in which coastal systems become trapped between rising sea levels and altered coastal land uses/land covers, preventing their natural landward migration. This restriction increases their susceptibility to erosion and fragmentation, ultimately threatening key ecosystem services. The comprehensive monitoring of these processes is essential for addressing future adaptation challenges.

Satellite-Derived Shoreline (SDS) techniques offer operational advantages over classic hydro-topographic approaches. These methods present several spatio-temporal limitations related to the availability of trained operators and difficulties of accessing study sites after storms or critical erosion scenarios. Other techniques, such as those based on UAVs and LiDAR, provide high-quality data but at a high operational and computational cost [4]. For these reasons, SDS methods are emerging as a scalable solution for coastal monitoring, supporting decision-making and coastal management. As a recent advancement, [5] have developed an innovative SDS method to characterize the water-sediment interface based on the radiometric properties of satellite observations, enabling a sub-pixel shoreline extraction. This approach was validated using high-precision GNSS field measurements across several beaches in Sicily [6]. However, among the method's criticalities, the authors acknowledge the influence of sea-surface effects, including wave breaking and capillary-wave patterns. The objective of this study is to enhance this isoradiometric shoreline-detection method [5] by developing an algorithm that incorporates local hydrodynamic conditions and enables the evaluation of coastal squeeze processes, while mitigating the limitations introduced by wave breaking and sea-surface disturbances.

2. TEST SITE

La Caleta Beach, Argentina (Fig.1), is a 1.5 km long rectilinear beach within a low lying depositional coast backed by a dune field with a maximum width of 160 m. It is exposed to storm activity and high energy southeastern waves, the main driver of natural coastal erosion in the region. Tidal regime is microtidal semidiurnal (mean spring tidal range = 0.78 m). Mean wave parameters are $H_s = 1.15$ m and $T_p = 6.6$ seg.

3. DATA

Satellite data consisted of an 8-band PlanetScope SuperDove (PSB.SD) Surface Reflectance image (3 m/pixel; Fig. 1) acquired on 05/12/2025. For this study, the green (G; B4 = 547–583 nm), red (R, B6 = 650–681 nm), and

near-infrared (NIR, B8 = 845–885 nm) bands were considered. In addition, topographic data were acquired on the same day as the satellite overpass, ensuring their collection during low-tide and calm wave conditions. Eight cross-shore beach profiles were surveyed using a Kolida K7/K58 GNSS-RTK receiver connected to the RAMSAC-NTRIP IGN real-time correction service (MPL2 Station). Hydrodynamic data relied on the instantaneous sea-levels provided by the Mar del Plata tide (Naval Hydrographic Service, SHN).

4. METHOD ENHANCEMENT

The novelty of this approach lies in the integration of the NDWI ($\rho_G - \rho_{NIR} / \rho_G + \rho_{NIR}$) and NDVI ($\rho_{NIR} - \rho_R / \rho_{NIR} + \rho_R$) indices for the spectral extraction of the waterline position (WL) and the vegetation-edge line (VE). For WL extraction, the mean spring tidal range was translated into a horizontal buffer using beach slope derived from RTK surveys. For VE extraction, a one-sided buffer equivalent to twice the mean backshore width was generated landwards from the mean high-water line.

This allowed constraining the extraction to the relevant areas, thereby reducing the computational cost. WL and VE were extracted by assessing the minimum separation between consecutive NDWI and NDVI isolines, respectively. Following the method proposed in [5], this separation was quantified through an iterative capacity index (H) computed from the area and perimeter of the narrow polygons between isolines. The target isolines were then identified as those located at the boundary between the two polygons with the lowest H values. The WL position was corrected by the instantaneous hydrodynamic conditions (sea level = -0.16 m relative to the local mean sea level) at the time of the satellite overpass (11:17 am, UTC-3). The shoreline was horizontally shifted using the mean foreshore slope derived from the RTK-surveyed transects ($\beta = 0.0368$). The target level for the correction was the datum-based shoreline positional proxy corresponding to the mean high-water line (0.36 m). This approach enables the distinction of morphological variability from that associated to instantaneous water-level fluctuations.

5. CONCLUSIONS

The estimation of the NDWI improved the waterline extraction by avoiding constraints in the wave-breaking zone. In addition, incorporating the instantaneous sea-level conditions enhanced the accuracy of the extracted features when compared with the field data. The NDVI index proved consistent for deriving the vegetation-edge proxy.

This approach enables a simple and rapid assessment of coastal squeeze from satellite-based time series. Improving the accuracy of satellite-derived products is therefore fundamental for supporting early-warning systems that forecast coastal-erosion hazards and for post-event monitoring during the recovery phase.

References

- [1] Ruan, X., Sun, H., Shou, W., Wang, J.: *The impact of climate change and urbanization on compound flood risks in coastal areas: A comprehensive review of methods*. *Appl. Sci.* 14 (21)(2024), 10019.
- [2] Fox-Kemper, B., Hewitt, H.T., Xiao, C., Aðalgeirsdóttir, G., Drijfhout, S.S., Edwards, T.L., Golledge, N.R., Hemer, M., Kopp, R.E., Krinner, G., et al.: *Ocean, Cryosphere and Sea Level Change*. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., et al. (eds.) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge (2021), 1211–1362
- [3] Doody, J.P.: 'Coastal squeeze', an historical perspective. *J. C. Conserv.* 10 (2004), 129–138.
- [4] Doukari, M., Topouzelis, K.: *Overcoming the UAS limitations in the coastal environment for accurate habitat mapping*. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 26 (2022), 100726.
- [5] Caldarelli, F., Sulli, A., Parrino, N., Dardanelli, G., Todaro, S., Maltese, A.: *On the shoreline monitoring via Earth observation: An isoradiometric method*. *Remote Sens. Environ.* 311 (2024), 114286.
- [6] Caldarelli, F., Parrino, N., Balsamo, L., Dardanelli, G., Todaro, S., Sulli, A., Maltese, A.: *Shoreline time series analysis through the Isoradiometric method: Bridging landscape evolution and coastal management*. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 141 (2025), 104618.
- [7] McFeeters, S.K.: *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*. *Int. J. Remote Sens.* 17(7) (1996), 1425–1432.
-

Assessing the catastrophic reactivation of a large Northern Apennine landslide with space borne radar interferometry

Silvia Franceschini¹, Benedikt Bayer¹, Alessandro Simoni²

¹ Fragile SRL. info@fragilesr.it

² Università di Bologna, alessandro.simoni@unibo.it

Keywords InSAR, landslides, rainfall, infrastructure.



The Northern Apennines of Italy is a young, uplifting mountain chain where weak rocks are widely outcropping. Here, landsliding is a key process that actively shapes the landscape and large complex landslides are widespread [1]. They are characterized by long dormant phases interrupted by periodic catastrophic reactivation which pose a significant threat to human activities, due to their po-

tential impact on houses, settlements and infrastructures. Catastrophic reactivations are invariably triggered by intense and prolonged rainfall events [2]. However, they are often preceded by measurable deformations and are usually followed by a long deceleration phase leading to dormancy again [3].

The Cà di Sotto landslide in San Benedetto Val di Sambro (BO), Italy is a well-documented large complex landsli-

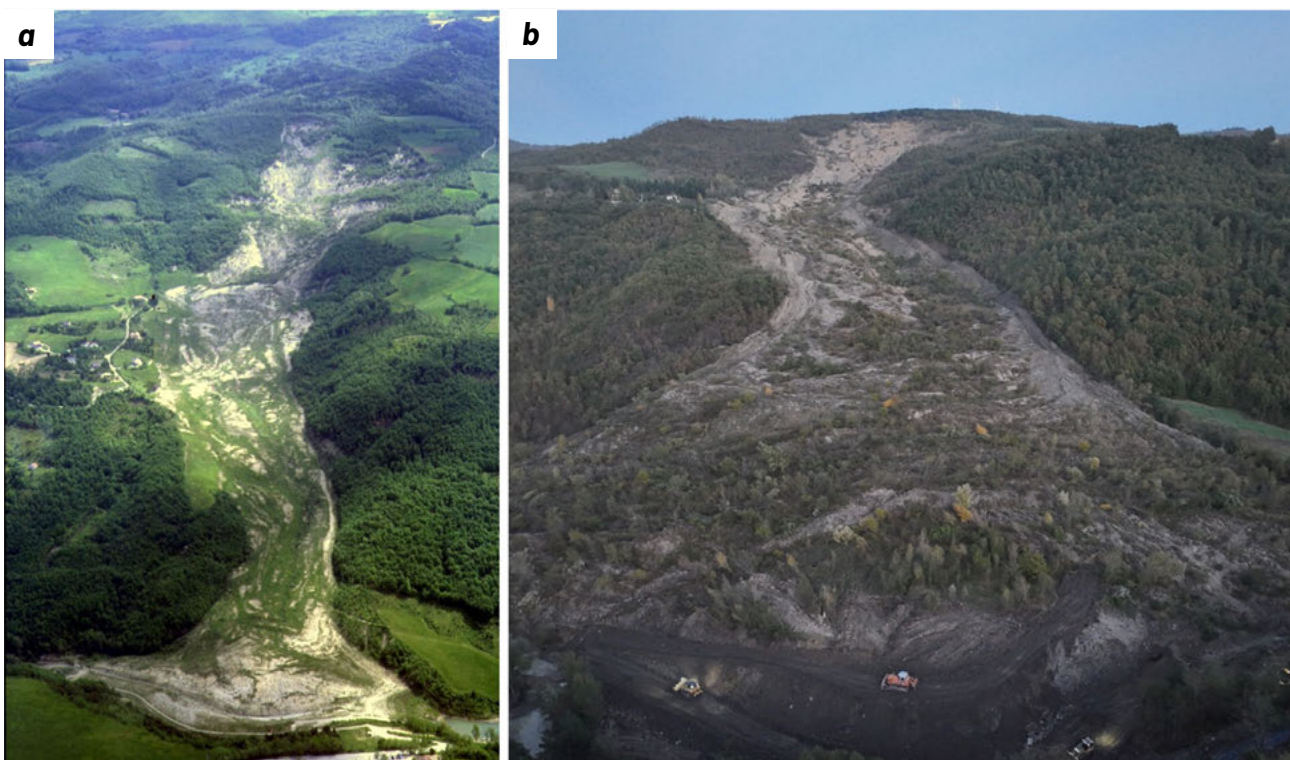


Fig.1 a) Foto of the 1996 reactivation, which dammed the river at the toe. b) Reactivation of October 2024

de (> 45 hectares) that in 1994 destroyed some buildings and dammed the river at the toe, requiring drainage works to mitigate the risk associated to a potential flood (**Fig.1 a**). This landslide originates in the upper part of the slope as a rock slide which progresses downslope evolving into an earthflow with total length of about 2 km. The affected material, belonging to the Monte Venerre Formation, consists of tectonized calcareous-marly turbidites interbedded with arenaceous-pelitic strata. After 30 years of dormancy, in October 2024, following a heavy rainfall event, the landslide underwent a new catastrophic reactivation triggered by a rock slide in the

upper slope. The deformation quickly progressed downslope, with peak velocities of several meters per day, disrupting previously established mitigation measures and generating a large water impoundment, upstream of the landslide toe (**Fig.1 b**).

For the present work, we used dual-pass standard interferometry to investigate the pre- and post-failure behavior of the Cà di Sotto landslide. The dual-pass technique can be optimized to obtain deformation signal also in areas where multitemporal techniques typically fail. We take advantage of the short revisit time of Sentinel 1

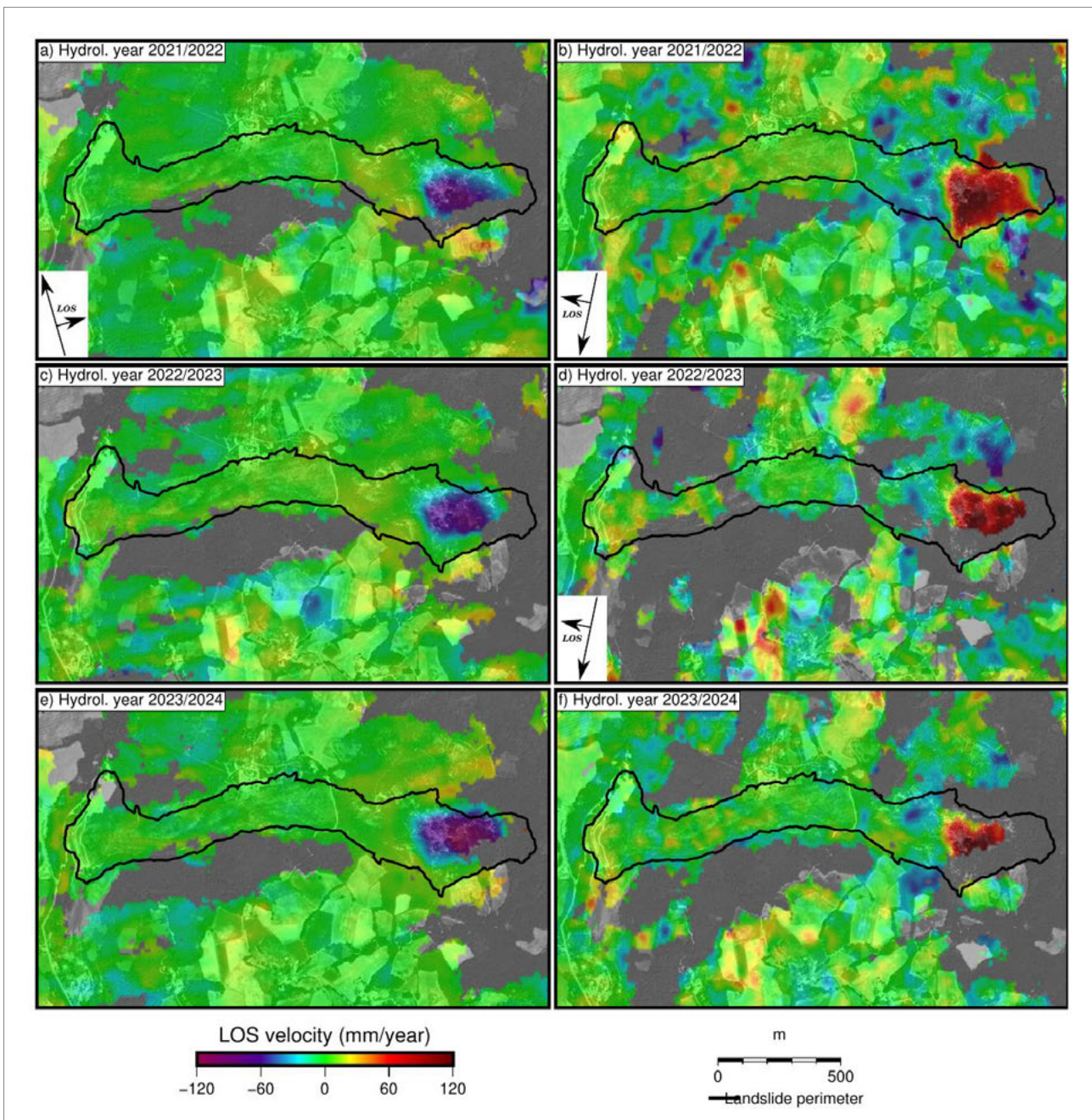


Fig.2 Interferometric stacks for different hydrological years for ascending (left column) and descending geometry (right column).

satellites and consider only temporal baselines of 6 to 24 days. Our analysis goes back to 2015 to investigate the dormant phase of the landslide and includes all phases of movement not exceeding about 20 mm/week (i.e., 1 m/yr) which is our upper limit for 6 days interferograms. Our results show that detectable displacements have been taking place in the upper part of the slope, where the rock slide initially occurred, during the entire dormant phase spanning from 2015 to 2024 and are well visible in interferometric stacks (**Fig. 2**). During the same period, no clear displacement signals were de-

tected along the landslide body nor were detected on the ground and reported to authorities in charge of territorial management.

During the catastrophic reactivation, peak displacement rates were of several meters per day exceeding the detection capabilities of InSAR. However, low-noise interferograms clearly delineated the spatial distribution of the active area with frequent phase jumps and decorrelation soon after the failure. During the later post-failure stage interferograms have high enough coherence to map the deformation field.

Riferimenti bibliografici

- [1] Bertolini, G., Guida, M., & Pizziolo, M.. *Landslides in Emilia-Romagna region (Italy): strategies for hazard assessment and risk management. Landslides*, 2(4), 302-312 (2005).
 - [2] Berti, Matteo, et al. "Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach." *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 117.F4 (2012).
 - [3] Squarzoni, Gabriela, et al. "Pre-and post-failure dynamics of landslides in the Northern Apennines revealed by space-borne synthetic aperture radar interferometry (InSAR)." *Geomorphology* 369 (2020)..
-

Generation of a Global Reference fire perimeter from PlanetScope Images to validate the regional and global burned area dataset

Forough Rajabi¹, Bhogendra Mishra¹, Rana Hassanpour Pestehbeiglou¹, Martin Brandt², Siyu Liu², M. Lucrecia Pettinari³, E. Chuvieco³, Daniela Stroppiana¹, Clément Albergel⁴

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Milano, Italy. rajabi.f@irea.cnr.it, bhogendra@gmail.com, hassanpour.r@irea.cnr.it, stroppiana.d@irea.cnr.it

² University of Copenhagen, Department of Geosciences and Natural Resource Management, Geography, Land, Environment and Society, Copenhagen, Denmark. martin.brandt@mailbox.org, sliu@ign.ku.dk.

³ Universidad de Alcalá, Environmental Remote Sensing Research Group, Department of Geology, Geography and the Environment, Alcalá, Spain. mlucrecia.pettinari@uah.es, emilio.chuvieco@uah.es

⁴ European Space Agency Climate Office, ECSAT, Harwell Campus, Oxfordshire, Didcot OX11 0FD, UK. Clement.Albergel@esa.int.

Keywords

Fire monitoring, Burned Area mapping, Reference data, Optical data, PlanetScope, Accuracy assessment, Machine Learning models.



1. INTRODUCTION

Biomass burning is considered an important factor in climate change, influencing vegetation productivity, land cover dynamics, soil erosion, hydrological systems, and atmospheric emissions. Additionally, it has significant social consequences, threatening human lives and properties, especially where urban areas are intermixed with forests [1,2].

Fire disturbance is one of the essential variables defined by the Global Climate Observing System (GCOS) program. To support climate modelling, the European Space Agency's (ESA) FireCCI project, under the Climate Change Initiative (CCI) programme, focuses on generating long-term time series of burned area (BA) products [1]. Validation of regional and global BA products is necessary to quantify accuracy by comparison to reference datasets. In this regard, Earth Observation (EO) data are widely recognized as a reliable source for approximating ground truth across different land cover types and fire conditions. This work, which was funded by the FireCCI project, aims to generate reference datasets from high-resolution (3m) PlanetScope imagery to validate global BA products derived from medium-resolution imagery, such as Sentinel-2 and Landsat.

2. METHODOLOGY AND DATA

For the year 2023, we selected 300 sites across biomes and covering different fire regimes; over these sites we acquired pre-fire and post-fire PlanetScope imagery coincident with Sentinel-2 acquisition dates (± 1 day). This criterion was necessary to minimize the effect of temporal mismatches between the reference data and the product to be validated. A temporal interval of 20 days between the first and second dates was also considered to ensure that a significant proportion of burned areas was captured within the PlanetScope scene coverage. Site and date selection were further constrained by the availability of cloud-free PlanetScope imagery and by maximizing the spatial overlap between the two dates. High-resolution fire reference perimeters were generated using a semi-automatic supervised classification approach based on the XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) algorithm. Training data were obtained through photointerpretation of PlanetScope image pairs to identify the burned area between two dates. The classification predictors included spectral reflectance bands in the visible and near infrared and indices, and their temporal differences derived from the pre-fire and post-fire imagery. After XGBboost (XGB) classification, a 5x5 filtering window was applied to remove small pixel clusters, and the classified raster was converted into burned area polygons.

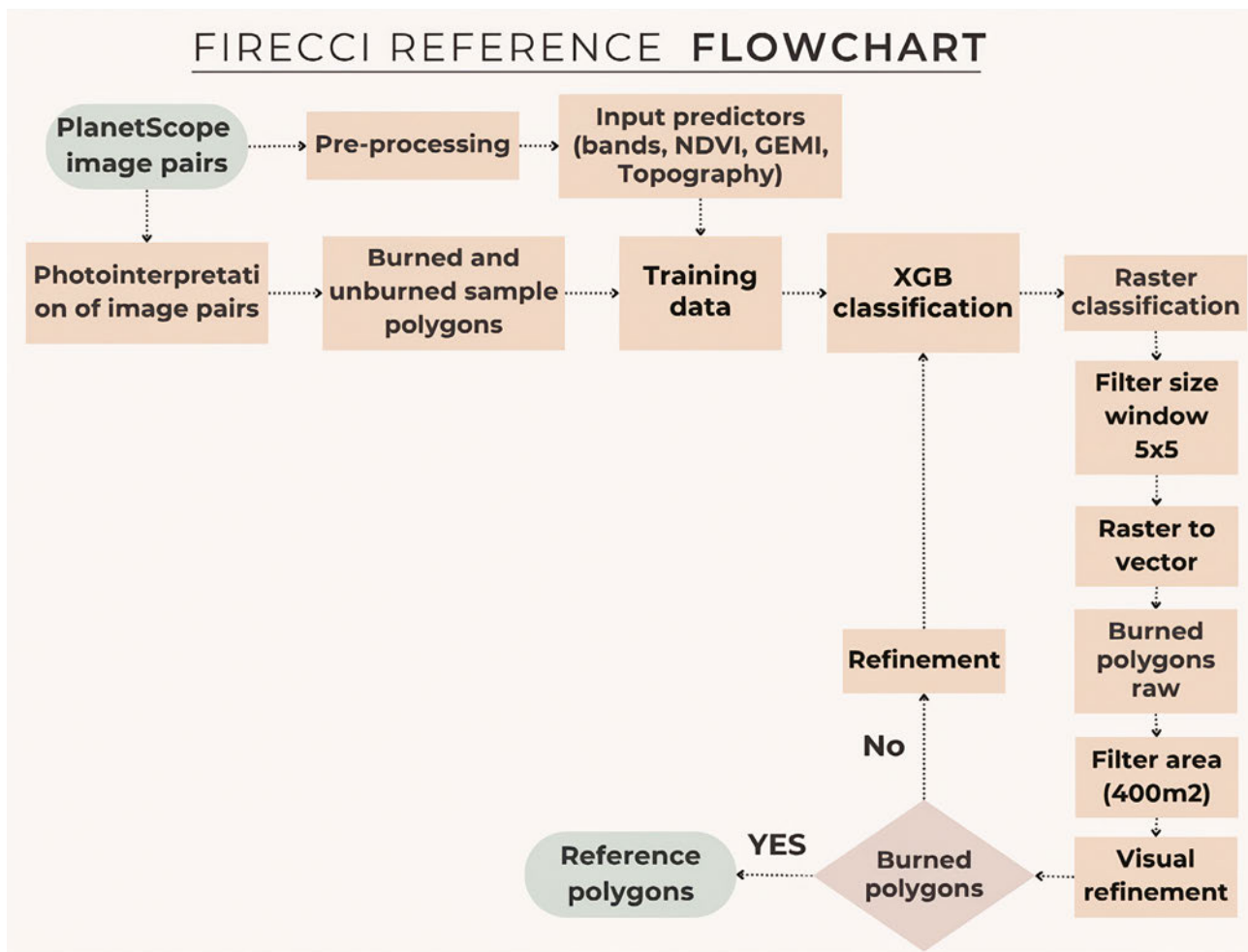


Fig.1 Methodological framework adopted for the generation of reference fire perimeters from PlanetScope imagery.

Small polygons were removed, and the final post-processed output was visually inspected to ensure the highest possible reliability of the generated reference perimeters (see **Fig. 1**).

3. RESULTS

At present, 40 sites were processed to derive high-resolution fire perimeters from PlanetScope imagery. Although PlanetScope imagery provides enhanced spatial resolution and the potential for more detailed burned area mapping, several limitations must be considered. These include the absence of Short-Wave Infrared (SWIR) bands, variability in image characteristics (such

as acquisition time and geometry), and uncertainties related to sensor calibration accuracy. Such factors may reduce the reliability of automatic burned area detection across diverse biomes. Therefore, the XGB algorithm was trained site by site, although in the future will test a general model (trained with samples from different sites) to investigate the possibility of calibrating an algorithm applicable across regions. Moreover, high-resolution perimeters will be used to train and test deep learning models.

This work was supported by the FireCCI project (Contracts No. 4000115006/15/I-NB and 4000126706/19/I-NB), funded by the European Space Agency (ESA).

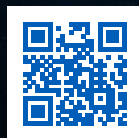
Bibliographical references

- [1] Chuvieco, E., Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M. L., Ramo, R., Padilla, M., Tansey, K., Mouillot, F., Laurent, P., Storm, T., Heil, A., and Plummer, S.: Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 2015–2031, <https://doi.org/10.5194/essd-10-2015-2018>, 2018.
- [2] FireCCI, <https://climate.esa.int/en/projects/fire/about/>.

ENEA - Promotion and Communication Service
enea.it

Printed in June 2026 at the ENEA Technographic Laboratory - Frascati

enea.it



ISBN 978-88-8286-542-9