

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/377844927>

# Tecniche di monitoraggio non invasive per la tutela del paesaggio e la conservazione dei muretti a secco: il caso di studio della Puglia.

Conference Paper · October 2023

CITATIONS

0

READS

15

4 authors:



**Juana Mercedes Perlaza**  
Università degli Studi della Basilicata

11 PUBLICATIONS 1 CITATION

SEE PROFILE



**Ruggero Ermini**  
Università degli Studi della Basilicata

58 PUBLICATIONS 155 CITATIONS

SEE PROFILE



**Antonella Guida**  
Università degli Studi della Basilicata

49 PUBLICATIONS 92 CITATIONS

SEE PROFILE



**Carmen Fattore**  
Università degli Studi della Basilicata

16 PUBLICATIONS 57 CITATIONS

SEE PROFILE

**IL SAPERE TECNICO  
ALLA BASE DELLA PREVENZIONE DEI RISCHI:  
l'arte dei muretti a secco per i terrazzamenti**

a cura di  
*Marina Fumo e Francesco Sommesè*

**LUCIANO**EDITORE

Tutti i contributi qui pubblicati sono stati precedentemente valutati dal Comitato Scientifico con un processo di duplice valutazione anonima (double blind peer review) da parte di esperti del mondo accademico nazionale.

I testi sono stati riprodotti dall'editore così come pervenuti ai curatori, i quali declinano ogni responsabilità sui contributi redatti dagli autori, che rispondono in prima persona dei contenuti redatti a proprio nome. È vietata la riproduzione anche parziale senza il consenso degli autori.

Curatela: Marina Fumo e Francesco Somnese

Impaginazione grafica: Francesco Somnese

Copertina: Giuseppe Trinchese

Foto di copertina di Antonio Furchi, vincitore del primo concorso fotografico 2023

Proprietà letteraria riservata

ISBN 978-88-6026-344-5

© 2023 by LUCIANO EDITORE

Via P. Francesco Denza, 7

Pubblicazione n.4 della **collana FORLAND** (Fortification and Rural LANDscapes)  
diretta da Marina Fumo

**Comitato Scientifico:**

Gigliola Ausiello, Alfredo Buccaro, Paolo Budetta, Emma Buondonno, Domenico Calcaterra, Piergiulio Cappelletti, Domenico Caputo, Roberto Castelluccio, Gigliola D'Angelo, Paola De Joanna, Ferruccio Ferrigni, Giovanni Forte, Andrea Maglio, Luigi Maglio, Domenico Pianese, Fabio Pignatelli Leonessa, Giuseppe Pignatelli, Antonio Santo, Marialuce Stanganelli, Domenico Tirendi, Veronica Vitiello.

**Attività culturale realizzata e promossa da:**

*CITTAM Centro Interdipartimentale di ricerca per lo studio delle Tecniche Tradizionali dell'Area Mediterranea  
Università degli Studi di Napoli Federico II*

**In collaborazione con:**

*CUEBC Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, Villa Rufolo, Ravello*

**Con il patrocinio morale di:**

*ICOMOS*

*ARTEC Società Scientifica di Architettura Tecnica*

*DICEA Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli studi di Napoli Federico II*

*DICAM Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento*

*ANIAI Campania*

*Consiglio Regionale della Campania*

*Ordine degli Architetti, Pianificatori, paesaggisti e Conservatori di Salerno e provincia*

*Ordine degli Architetti, Pianificatori, paesaggisti e Conservatori di Napoli e provincia*

*Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno*

*Ordine degli Ingegneri della provincia di Napoli*

## **Guida alla lettura**

### **Presentazione**

*Marina Fumo e Gigliola D'Angelo* ..... pag. 5

### **La valorizzazione ed il ruolo dei muri a secco nell'attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Un Piano d'Ambito Integrato fra i due pasaggi culturali: Cilento e Costa d'Amalfi**

*Anna Pina Arcaro*..... pag. 9

### **Analisi della stabilità dei pendii terrazzati tenendo conto dello stato di conservazione e delle caratteristiche fisiche dei muri a secco**

*Santi Maria Cascone, Lucrezia Longhitano*.....pag. 21

### **Tecniche di monitoraggio non invasive per la tutela del paesaggio e la conservazione dei muretti a secco: Il caso di studio della Puglia**

*Ruggero G. A. Ermini, Juana M. Perlaza, Carmen Fattore, Antonella G. Guida*.....pag. 37

### **Terrazzamenti e muretti a secco della Costiera Amalfitana: studio tecnologico e geotecnico per la conservazione e la sicurezza del patrimonio culturale e ambientale**

*Settimio Ferlisi, Federica Ribera, Alessandra Crescenzo*.....pag. 51

### **Los banales en España. Especial referencia a los de las áreas de Cataluña, Valencia y Mallorca**

*Gregorio García López de la Osa, Pilar Cristina Izquierdo Gracia*.....pag. 75

### **Architetture rurali nel paesaggio della Sicilia Nord-Orientale: il caso delle strutture a secco e delle "turritte" nelle campagne etnee**

*Giulia Neri, Federica Ribera*..... pag. 97

### **SHORT COMMUNICATION**

### **Genius Loci Therapy: L'energia vitale dei prodotti come sintesi dell'energia dei terrazzamenti. Come una criticità può trasformarsi in opportunità**

*Graziana Santamaria*..... pag. 117

## **Tecniche di monitoraggio non invasive per la tutela del paesaggio e la conservazione dei muretti a secco: Il caso di studio della Puglia**

### ***On the Use of No-Invasive Monitoring Techniques for Landscape Protection and Dry Stone Wall Conservation: The Apulia Case Study.***

Ruggero G. A. Ermini<sup>1</sup>, Juana M. Perlaza<sup>1</sup>, Carmen Fattore<sup>2</sup>, Antonella G. Guida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo (DiCEM), Università della Basilicata, Italia*

<sup>2</sup>*Dipartimento di Ingegneria Civile (DinCi), Università della Calabria, Italia.*

*ruggero.ermi@unibas.it; juana.perlaza@unibas.it; carmen.fattore@unical.it  
antonella.guida@unibas.it*

#### **1. INTRODUZIONE**

La lotta al cambiamento climatico si concentra spesso sulla riduzione dell'inquinamento da carbonio e sulla transizione verso fonti di energia rinnovabili, azioni importanti per tenere sotto controllo la temperatura del nostro pianeta. Tuttavia, spesso si dimentica di considerare un altro elemento cruciale: cambiare il modo in cui utilizziamo le risorse della Terra. Secondo il più recente rapporto dell'EEA sui cambiamenti climatici, gli impatti e la vulnerabilità in Europa, ha rilevato, dagli anni Cinquanta, la perdita di umidità del suolo nella regione mediterranea, mentre è aumentata in alcune parti dell'Europa settentrionale. L'umidità del suolo è essenziale per la crescita della vegetazione, regola la temperatura di esso, la salinità e la disponibilità di nutrienti.

I muretti a secco sono elementi architettonici tradizionalmente utilizzati in molte regioni italiane per delimitare terreni, creare terrazze, tracciare sentieri e muri di contenimento (Manenti, 2014). I muretti sono composti da pietre di diverse dimensioni e diametri, assemblate senza l'uso di malta o altri leganti, creando una porosità naturale che permette di ventilare la superficie del terreno. Oltre al loro valore storico e culturale, i muretti a secco svolgono un ruolo importante nella conservazione del territorio perché proteggono il suolo dall'erosione, favoriscono la biodiversità, mitigano il rischio idrogeologico e contribuiscono alla caratterizzazione del paesaggio (Ermini et al., 2022).

L'obiettivo di questo lavoro è verificare se i muretti a secco, utilizzati nelle aree rurali, siano una tecnica costruttiva che migliori la capacità di permeabilità dei suoli. Grazie a una ricerca sul campo che ha permesso l'analisi diretta dei

manufatti considerati nell'area di studio e all'utilizzo di indici di vegetazione multispettrali come il Normal Difference Vegetation Index (NDVI) e di indici di umidità come il Normal Difference Moisture Index (NDMI) calcolati dalle immagini satellitari del sensore ottico Sentinel-2, sono stati estratti dei parametri metrici della vegetazione e della salute del suolo all'interno dell'area perimetrata dai muretti a secco.

## 2. STATO DELL'ARTE

Da sempre l'uomo ha utilizzato la pietra naturale per le costruzioni a secco, sia per la realizzazione di edifici civili e militari sia per lo sviluppo dei pendii (terrazzamenti). Ad esempio le imponenti "mura megalitiche" delle antiche città degli Ernici o dei Volsci dell'America Centrale e Meridionale, delle città Azteche in Messico o degli Inca in Perù (Machu Picchu e Sacsayhuaman).

La tecnica costruttiva, tramandata fino ai giorni nostri, è stata utilizzata principalmente per il "terrazzamento" di colline e versanti per scopi agricoli e per la protezione del suolo dall'erosione e dalle frane (Ermini et al., 2022). Oggi i terrazzamenti agricoli e i muretti a secco sono diventati protagonisti di un "rinascimento" territoriale attraverso un processo di ri-semantizzazione che li riconosce come risorsa locale (Bertolino et al., 2021).

In base alla morfologia del terreno i muretti a secco assumono forme e funzioni diverse, possono essere utilizzati in terreni con bassa pendenza o in aree geografiche con scarse precipitazioni per trattenere le acque meteoriche e aumentare la fertilità dei suoli; per contrastare la perdita di materiale generata dagli agenti atmosferici, l'alveolizzazione o altri fenomeni di deterioramento del materiale, oppure possono essere utilizzati in terreni con pendenze ripide. Pertanto, la conservazione e il recupero di questi elementi architettonici rappresenta un'importante azione di tutela ambientale e culturale.

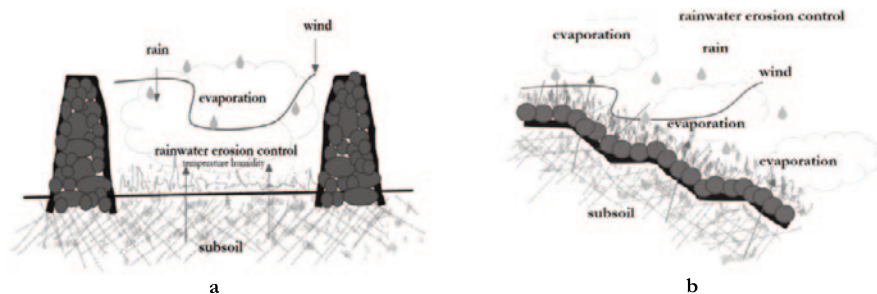


Figura 1: Tipologia di muretti a secco in base alla morfologia del terreno.

Elaborazione grafica: Juana Perlaza

Negli ultimi anni, il telerilevamento attraverso i dati satellitari ha visto un notevole sviluppo e avanzamento tecnologico sempre più utile per la comprensione e la gestione dei cambiamenti climatici (Guo et al., 2015).

L'avvento di piattaforme di elaborazione dati in cloud, come Google Earth Engine (GEE), semplifica notevolmente l'elaborazione dei dati, rendendo possibile l'analisi su larga scala, la creazione di mappe ad alta risoluzione e l'automatizzazione dei processamenti di elaborazione dei dati (Tamiminia et al., 2020).

Il monitoraggio del suolo tramite dati satellitari consente di rilevare i cambiamenti ambientali e di valutare l'impatto delle attività umane sul territorio, identificando e classificando la copertura del suolo (Garcia-Álvarez et al., 2022; Hussain et al., 2022) e analizzando l'uso del suolo nel tempo (la deforestazione, l'urbanizzazione, gli incendi boschivi, le inondazioni e ad altri fenomeni naturali o antropici) (Ennouri et al. 2021), al fine di proteggere i beni culturali e archeologici dai fenomeni naturali, per preservarli nel tempo (Fattore et al., 2021) e guidare i processi di espansione urbana e di pianificazione territoriale (Milesi et al., 2020).

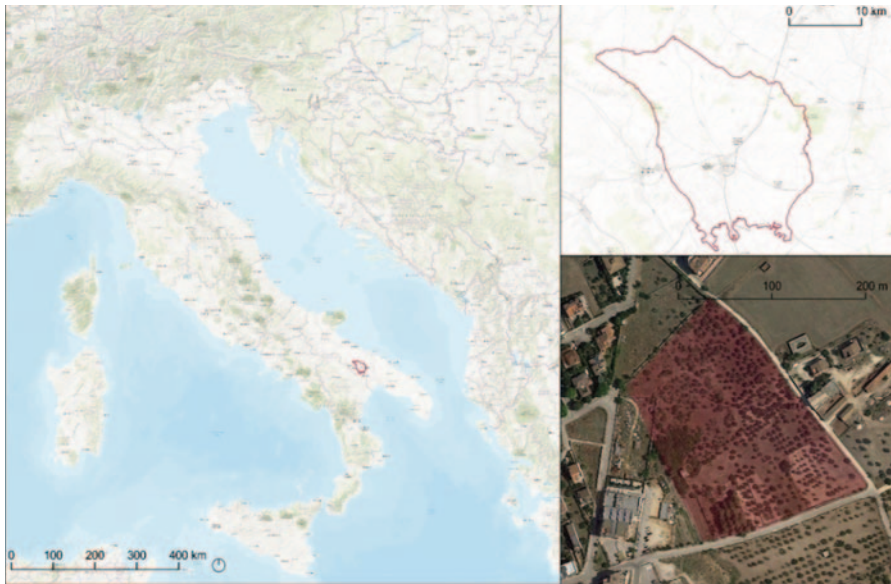


Figura 2: Inquadramento l'area di studio. La linea rossa è il perimetro del comune di Altamura. Il poligono in rosso l'area perimetrata dai muretti a secco



### 3. METODOLOGIA

Google Earth Engine (GEE) è una piattaforma di elaborazione e analisi dei dati geospaziali basata sul cloud che fornisce un accesso facile e rapido a una vasta gamma di dati satellitari e geospaziali (Gorelick et al., 2017). La piattaforma è stata progettata per gestire grandi volumi di dati e per permettere l'analisi di dati storici e in tempo reale, per elaborare e analizzare i dati geospaziali, che possono essere visualizzati su mappe interattive (Tamiminia et al., 2020).

La metodologia proposta fa uso della change detection basandosi sull'analisi di serie temporali di immagini satellitari della piattaforma GEE, al fine di rilevarne eventuali cambiamenti significativi. L'analisi della change detection valuta i cambiamenti nel tempo di una variabile di interesse, come ad esempio la copertura del suolo, la temperatura della superficie terrestre o la concentrazione di un gas nell'atmosfera, utilizzando le informazioni raccolte da sensori a bordo di satelliti.

I dati satellitari sono preliminarmente corretti per eliminare eventuali effetti dovuti alle condizioni meteorologiche o alle variazioni dell'orbita del satellite, successivamente, vengono analizzati utilizzando tecniche di statistica spaziale e temporale (Philipp et al., 2021).



Figura 3: Muretti a secco dell'area di studio. Area periurbana con pendenze minime.

Photo credit: autori

### **3.1 AREA STUDIO**

L'area di studio ricade nel periurbano della città di Altamura in provincia di Bari, posta all'interno del Parco Nazionale dell'Alta Murgia, un'area protetta che si estende su oltre 60000 ha nella parte nord-occidentale della regione Puglia. Altamura è situata su un altopiano calcareo nella parte centrale della Puglia, a circa 45 chilometri a sud-ovest di Bari e a circa 20 km a nord di Matera, a confine con la regione Basilicata. (fig. 2). Il territorio considerato è caratterizzato da coltivazioni di ulivi prevalentemente perimetrata da muretti a secco di diverse altezze che si adagiano seguendo le quote del terreno naturale (fig. 3).

### **3.2 STRUMENTI E DATASET UTILIZZATI**

L'analisi della change detection consiste nell'acquisizione di una serie di immagini satellitari della stessa area geografica, ottenute in diversi periodi. I dati utilizzati sono le immagini delle Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Instrument) L2A. Le Sentinel-2 (S2) sono una serie di satelliti per l'Osservazione della Terra (EO), sviluppati nell'ambito del programma Copernicus dell'Unione Europea, gestito dall'European Space Agency (ESA). La missione Sentinel è stata progettata per fornire dati ad alta risoluzione spaziale e temporale sull'intera superficie terrestre, con l'obiettivo di supportare una vasta gamma di applicazioni, tra cui l'agricoltura, la gestione delle risorse naturali, la pianificazione territoriale e la gestione delle emergenze (Jutz et al., 2018; Phiri et al., 2020). I satelliti S2 sono dotati di sensori ottici passivi multispettrali che acquisiscono 12 bande spettrali (tabella 1).

Le bande del visibile Blue (B2), Green (B3), Red (B4) e nel vicino infrarosso (B8) hanno una risoluzione di 10 m, mentre le altre bande (B5, B6, B7, B8A e B11) nell'infrarosso hanno una risoluzione spaziale di 20 m e 60 m le bande (B1, B9, e B10) (Malenovsky et al., 2012). Le S2 sono presenti nei dataset di GEE nei prodotti: Level-1C orthorectified top-of-atmosphere reflectance ("COPERNICUS/S2") dal 23-06-2015 ad oggi; Level-2A orthorectified atmospherically corrected surface reflectance ("COPERNICUS/S2\_SR") dal 28-03-2017 ad oggi.

Le S2 hanno un tempo di rivisitazione di cinque giorni, la frequenza con cui il satellite transita sulla stessa area della superficie terrestre. Le immagini S2 L2A sono state filtrate in base a dei criteri, come quello spaziale (.filterBounds) secondo il quale viene effettuata una selezione dei dati Sentinel-2 in base alla geometria del perimetro indicato. Un altro criterio utilizzato è quello temporale (.filterDate), attraverso il quale viene effettuato un subset dei dati S2 solo ed

esclusivamente nell'arco temporale indicato dalle date DD-MM-YY. Infine, viene applicato un filtro per la copertura nuvolosa (cloud mask del 20%) e tale criterio è fondamentale in quanto permette di eliminare tutte le immagini che hanno una percentuale di nuvolosità alta in modo tale da avere un'adeguata quantità di immagini satellitari utili all'elaborazione.

Gli indici di vegetazione spettrali sono parametri utilizzati per analizzare e valutare lo stato della vegetazione. Tali indici sono calcolati a partire dalle bande spettrali acquisite dai sensori, e forniscono informazioni sulla salute, lo stato di crescita, la densità e la copertura della vegetazione (Szabo et al., 2016).

Tabella 1: Bande Sentinel-2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>).

Bande	Lunghezza d'onda (nm)	Risoluzione Spaziale (m)
B1	0.443	60
B2	0.490	10
B3	0.560	10
B4	0.665	10
B5	0.705	20
B6	0.740	20
B7	0.783	20
B8	0.842	10
B8A	0.865	20
B9	0.945	60
B10	1.375	60
B11	1.610	20
B12	2.190	20

L'indice spettrale NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) combina informazioni dalla riflettanza del vicino infrarosso (NIR) e dalla riflettanza del rosso delle bande spettrali (Jiang et al., 2010; Szabo et al., 2016) (1):

$$\frac{(Nir-Red)}{(Nir+Red)} \quad (1)$$

L'indice NDVI è particolarmente utile per il monitoraggio della copertura vegetale all'interno del territorio e per l'analisi dei cambiamenti nel tempo della vegetazione, al fine di valutare lo stato di essa. Il valore dell'indice può variare da -1 a +1, dove valori bassi (vicini a -1) indicano aree di suolo esposto (brullo,

con vegetazione scarsa o rada oppure coperto da neve, mentre valori elevati (vicini a +1) indicano aree di vegetazione densa e sana (Jiang et al., 2010). L'indice spettrale NDMI (Normalized Difference Moisture Index) viene utilizzato per stimare la quantità di umidità presente nel suolo e nelle piante ed è in grado di distinguere tra aree con vegetazione stressata dalla mancanza di acqua e aree con vegetazione sana e ben idratata (Xiao et al., 2019). L'indice NDMI combina informazioni dal vicino infrarosso (NIR) e dal medio infrarosso (MIR) delle bande spettrali (Lastovicka et al., 2020) (2):

$$\frac{(Nir-Mir)}{(Nir+Mir)} \quad (2)$$

#### 4. RISULTATI E DISCUSSIONI

L'analisi dei trend temporali analizza la variazione degli indici di vegetazione nel tempo, derivando parametri statistici (minimi e/o massimi) relativi all'arco temporale analizzato.

All'interno dello script di GEE operando su base mensile e annuale i dati sono stati adattati alla finestra temporale considerata. Gli indici spettrali NDVI e NDMI sono stati estrapolati dai valori dei pixel dell'area di studio e confrontati con i pixel di un'altra area non perimetrata da muretti a secco, ma caratterizzata dalla stessa coltivazione di ulivi, esposizione e tipologia di terreno. I risultati ottenuti mostrano i valori dei pixel dal 2016 al 2022 (fig. 4), l'NDVI presenta andamento decrescente, mentre l'NDMI dimostra andamento crescente.

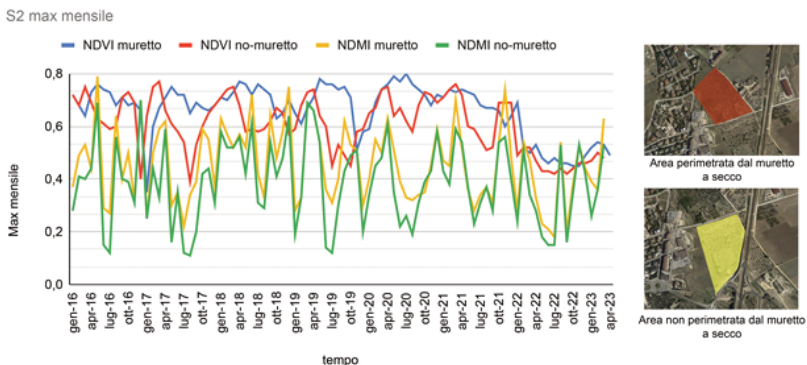


Figura 4 (pag. precedente): Analisi S2 multi-temporale. Sono stati confrontati i valori dei pixel per gli indici spettrali NDVI e NDMI in base all'area perimetrata dai muretti a secco con quella senza muretti

A parità di mm di precipitazioni annuali, nell'area perimetrata dai muretti a secco i valori degli indici NDVI e NDMI mostrano una migliore risposta spettrale della vegetazione con picchi di 0.8, mentre nell'area non perimetrata dai muretti gli indici assumono valori di circa ai 0.7.

Ciò significa, che lo stato vegetativo e l'umidità del suolo presentano risposte differenti e valutabili quantitativamente, tra le aree perimetrata dai muretti a secco e quelle esterne. In tutti i casi, la permeabilità del terreno e il deflusso superficiale possono essere alterati dall'intervento antropico di lavorazione del terreno, come l'aratura, o dallo sviluppo di vegetazione infestante (fig. 5).



*Figura 5: A sinistra il terreno coltivato con presenza di muri. A destra senza la presenza di muri*

## 5. CONCLUSIONI

Tramite l'elaborazione dei dati satellitari è possibile sviluppare un importante strumento di monitoraggio e di valutazione utile per molte applicazioni ambientali. La change detection sottolinea il potenziale e l'affidabilità dell'uso combinato di GEE e delle serie temporali di NDVI e NDMI di S2 per valutare lo stato vegetativo e l'umidità del suolo. L'inserimento dei muretti a secco all'interno del sistema ambientale produce numerosi benefici ecologici, idrogeologici e paesaggistici e risulta essere un elemento per la salvaguardia del territorio. L'analisi dell'andamento temporale della media annuale e mensile sia del NDVI che del NDMI ha permesso di identificare le variazioni osservabili a livello di singolo pixel.

La metodologia utilizzata presenta facilità d'uso e di applicazione a qualsiasi caso di studio, la replicabilità su diverse scale temporali e spaziali e può essere implementata su piattaforma cloud, evitando problemi di time-out computazionale e garantendo l'analisi di migliaia di immagini in tempo reale.

La metodologia è adattabile ad aree di diverse dimensioni ed è quindi perfettamente scalabile.

## **1. INTRODUCTION**

*The climate change challenge is often focused on the reduction of carbon pollution and on the transition to renewable energy sources, which are important actions to keep our planet's temperature below control. Nevertheless, another crucial element is frequently overlooked: we must change the way we use the Earth's resources. According to the most recent report on Climate Change of the EEA into the Mediterranean region the soil moisture has decreased since the 1950s, while it has increased in parts of northern Europe. Soil moisture is essential for the growth of vegetation, regulates its temperature, salinity and nutrient availability. Dry stone walls are architectural elements traditionally used in many Italian regions to surround land, create terraces, trace paths and build retaining walls (Manenti, 2014). They are composed of different sizes and diameters of stone, assembled without the use of plaster or other binders, that creates a natural porosity that allows the ground surface to ventilate. In addition to their historical and cultural value, dry stone walls play an important role in land conservation because they protect the soil from erosion, promote biodiversity, mitigate hydrogeological risk and contribute to landscape characterisation (Ermini et al., 2022). The purpose of this work is to verify whether dry stone walls, used in agricultural land, are a construction technique that improves the permeability of soils. Thanks to field research that allowed direct analysis of the artefacts considered in the study area and the use of multispectral vegetation indices such as the Normal Difference Vegetation Index (NDVI) and moisture indices such as the Normal Difference Moisture Index (NDMI) attached to Sentinel-2 optical sensor satellite images, metric parameters of vegetation and soil health within the area surrounded by the dry stone walls were extracted.*

## **2. STATE OF THE ART**

*Throughout time, human has used natural stone for dry-stone construction, both for civil and military buildings and for slopes arrangement (terracing). examples of this are the impressive 'megalithic walls' of the ancient cities of the Hernicians or the Volscians in Central and South America, the Aztecs cities in Mexico or the Incas ones in Peru (Machu Picchu and Sacsayhuaman). The construction technique handed down to the present day, was mainly used to modify hillsides and slopes for agricultural uses or to protect the soil from erosion and landslides (Ermini et al., 2022). Nowadays, agricultural terracing*

*and dry-stone walls have become the protagonists of a territorial 'renaissance' through a process of re-seeding that recognises them as a local resource (Bertolino et al., 2021). According to the morphology of the territory, dry stone walls take on different forms and functions: they can be used in soils with a low slope or in geographical areas with low rainfall to retain rainwater and increase soil fertility; to contrast the loss of material generated by atmospheric agents, alveolization or other deterioration phenomena; or they can be used in soils with steep slopes. Hence, the conservation and recovery of these architectural elements represents an important environmental and cultural preservation action. In recent years, remote sensing through satellite data has seen considerable development and technological advancement that is increasingly useful for understanding and managing climate change (Guo et al., 2015). The rise of cloud-based data processing platforms, such as Google Earth Engine (GEE), significantly improves data processing, allowing for large-scale analysis, high-resolution map generation and automatization of data processing. (Tamiminia et al., 2020).*

*Soil monitoring by satellite data allows the detection of environmental changes and the assessment of the impact of human activities on the environment by identification and classification of land cover (Garcia-Álvarez et al., 2022; Hussain et al, 2022) and analyse land use over time (deforestation, urbanisation, wildfires, floods and other natural or anthropogenic phenomena) (Ennouri et al., 2021), to protect cultural and archaeological heritage from natural phenomena, to preserve them in time (Fattore et al., 2021) and to lead urban expansion and spatial planning processes (Milesi et al., 2020).*

### **3. METHODOLOGY**

*Google Earth Engine (GEE) is a cloud-based platform for geospatial data processing and analysis that provides a quick and easy access to a wide range of satellite and geospatial data (Gorelick et al., 2017). The platform is designed to manage large volumes of data and to enable the analysis of historical and real-time data, to process and analyse geospatial data, which can be visualised on interactive maps (Tamiminia et al., 2020). The methodology is based on the analysis of time series of satellite images from the GEE platform in order to detect significant changes. The change detection analysis evaluates changes over time of a variable of interest, such as land cover, land surface temperature or the concentration of a gas in the atmosphere, by using information collected by sensors on board satellites.*

*The satellite data are preliminarily corrected to remove any effects due to weather conditions or variations of the satellite's orbit, and are subsequently*

analysed using spatial and temporal statistical techniques (Philipp et al., 2021).

### **3.1 STUDY AREA**

The study area is located in the peri-urban area of the city of Altamura in the province of Bari, within the "Parco Nazionale dell'Alta Murgia", a protected area covering more than 60000 ha in the north-western part of the Apulia region. Altamura is located on a limestone plateau in the central part of Apulia, about 45 km south-west of Bari and about 20 km north of Matera, on the border with the Basilicata region. (fig. 2). The study area is characterised by olive groves mainly bordered by dry-stone walls of varying heights that follow the natural terrain levels (fig.3).

### **3.2 TOOLS AND DATASET**

The change detection analysis consists of the acquisition of a series of satellite images of the same geographic area, obtained at different periods. The data used are Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Instrument) L2A images. The Sentinel-2 (S2) is a set of Earth Observation (EO) satellites developed as part of the European Union's Copernicus Programme, managed by the European Space Agency (ESA). The Sentinel mission is designed to provide high spatial and temporal resolution data over the entire Earth's surface, with the purpose of supporting a wide range of applications, including agriculture, natural resource management, land-use planning and emergency management (Jutz et al., 2018; Phiri et al., 2020). The S2 satellites are equipped with multispectral passive optical sensors that acquire 12 spectral bands (Table 1). The bands in the visible Blue (B2), Green (B3), Red (B4) and in the near-infrared (B8) have a resolution of 10 m, while the other bands (B5, B6, B7, B8A and B11) in the infrared have a spatial resolution of 20 m and 60 m the bands (B1, B9, and B10) (Malenovský et al., 2012). S2 are present in the GEE datasets in the products: Level-1C orthorectified top-of-atmosphere reflectance ("COPERNICUS/S2") from 23-06-2015 to present; Level-2A orthorectified atmospherically corrected surface reflectance ("COPERNICUS/S2\_SR") from 28-03-2017 to present. The S2 have a revisit time of five days, the frequency with which the satellite transits over the same area of the Earth's surface. The S2 L2A images used have been filtered according to some criteria, such as the spatial one (.filterBounds) according to which a selection of Sentinel-2 data is made according to the geometry of the specified perimeter. Another criteria used is the temporal one (.filterDate), through which a subset of the S2 data is made only and exclusively in the time frame shown by the dates DD-MM-YY. Finally, a cloud cover filter (cloud mask



of 20%) is applied, and this criteria is essential as it allows all images with a high percentage of cloudiness to be removed in order to have an sufficient amount of satellite images useful for processing.

Spectral vegetation indices are parameters used to analyse and evaluate the health of vegetation. These indices are calculated from spectral bands acquired by sensors, and provide information on the health, growth status, density and cover of vegetation (Szabo et al., 2016).

The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) spectral index combines information from the near-infrared (NIR) and red reflectance of spectral bands (Jiang et al., 2010; Szabo et al., 2016) (1):

$$\frac{(Nir-Red)}{(Nir+Red)} \quad (1)$$

The NDVI index is especially relevant for monitoring vegetation cover within the territory and analysing changes in vegetation over time in order to assess its health. The index value can range from -1 to +1, where low values (close to -1) indicate areas of exposed soil (barren, with sparse or sparse vegetation or covered by snow), while high values (close to +1) indicate areas of dense and healthy vegetation (Jiang et al., 2010).

The NDMI (Normalised Difference Moisture Index) spectral index is used to estimate the level of moisture in soil and vegetation and is able to distinguish between areas with vegetation stressed by lack of water and areas with healthy, well-hydrated vegetation (Xiao et al., 2019). The NDMI combines information from the near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectral bands (Lastovicka et al., 2020) (2):

$$\frac{(Nir-Mir)}{(Nir+Mir)} \quad (2)$$

#### 4. RESULT AND DISCUSSION

Time trend analysis evaluates the variation of vegetation indexes over time, deriving statistical parameters (minima and/or maxima) relative to the time window investigated. Within the GEE script, operating on a month-to-month and year-to-year basis, the data have been adapted to the time frame considered. The NDVI and NDMI spectral indices have been extrapolated from the pixel values of the study area and compared with the pixels of another area not surrounded by dry-stone walls, but characterised by the same olive cultivation, exposure and soil type. The results obtained show the pixel values from 2016 to 2022 (Fig. 4), the NDVI shows a decreasing trend, while the NDMI shows an increasing trend.

*At the same amount of annual precipitation, the NDVI and NDMI indices in the dry stone walls show a better spectral response of the vegetation, with peaks of 0.8, while in the non-dry stone walls area, the indices have values of around 0.7. Thus, the vegetation state and soil moisture show different responses, which can be evaluated in quantitative values, between the areas bordered by the dry stone walls and those external to them. In all instances, soil permeability and surface runoff may be affected by anthropic tillage, such as ploughing, or by the development (fig. 5).*

## **5. CONCLUSION**

*Through processing satellite data, it is possible to develop an important monitoring and assessment tool useful for many environmental applications. Change detection highlights the potential and reliability of the combination use of GEE and S2's NDVI and NDMI time series to assess vegetation health and soil moisture. The integration of dry-stone walls within the environmental system produces numerous ecological, hydrogeological and landscape benefits and appears to be an element for land preservation. The analysis of the temporal trend of the annual and monthly mean of both the NDVI and the NDMI made it possible to identify the variations observable at the singular pixel level.*

*The methodology used shows simplicity of use and application to any case study, replicability on different temporal and spatial scales and can be implemented on a cloud platform, thereby overcoming computational time-out problems and guaranteeing the analysis of thousands of images in real time. The methodology is suitable for areas of different sizes and is therefore perfectly scalable.*

## **Riferimenti**

- [1] Bertolino, M.A.; Corrado, F. Rethinking Terraces and Dry-Stone Walls in the Alps for Sustainable Development: The Case of Mombarone Alto Eorediese in Piedmont Region (Italy). *Sustainability* **2021**, *13*, 12122. <https://doi.org/10.3390/su132112122>
- [2] Ermini R., Guida A., Spilotro G., Porcari V. **2023**. Dry-stone walls in Apulia and Basilicata. Materials and building art: from the function to the language of the culture of socioenvironmental conservation. Convegno Nazionale, Ravello, 2022, CITTAM Università degli Studi di Napoli Federico II
- [3] Ennouri, K., Smaoui, S. & Triki, M.A. Detection of Urban and Environmental Changes via Remote Sensing. *Circ.Econ.Sust.* *1*, 1423–1437, **2021**. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00035-y>
- [4] Fattore, C.; Abate, N.; Faridani, F.; Masini, N.; Lasaponara, R. Google Earth Engine as Multi-Sensor Open-Source Tool for Supporting the Preservation of Archaeological Areas: The Case

- Study of Flood and Fire Mapping in Metaponto, Italy. *Sensors* **2021**, *21*, 1791. <https://doi.org/10.3390/s21051791>
- [5] García-Álvarez, D., Nanu, S. 2022. Land Use Cover Datasets: A Review. In: García-Álvarez, D., Camacho Olmedo, M.T., Paegelow, M., Mas, J.F. (eds) *Land Use Cover Datasets and Validation Tools*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7_4)
- [6] Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, Vol. **202**, **2017**, 18-27, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- [7] Guo H. D., Zhang L., Zhu L. W., Earth observation big data for climate change research. *Advances in Climate Change Research*. Vol. **6**, Issue **2**, **2015**, 108-117, <https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.09.007>.
- [8] Hussain, S. et al. Monitoring the Dynamic Changes in Vegetation Cover Using Spatio-Temporal Remote Sensing Data from 1984 to 2020. *Atmosphere* **2022**, *13*, 1609. <https://doi.org/10.3390/atmos13101609>
- [9] Jiang, Z.; Huete, A.R. Linearization of NDVI Based on Its Relationship with Vegetation Fraction. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **2010**, *76*, 965–975, doi:10.14358/PERS.76.8.965.
- [10] Jutz S., Milagro-Pérez M.P. 1.06 - Copernicus Program. Editor(s): Shunlin Liang, *Comprehensive Remote Sensing*, Elsevier, **2018**, 150-191, ISBN 9780128032213. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10317-3>.
- [11] Kumar, L.; Mutanga, O. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 1509, doi:10.3390/rs10101509.
- [12] Lastovicka, J.; Svec, P.; Paluba, D.; Kobliuk, N.; Svoboda, J.; Hladky, R.; Stych, P. Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1914. <https://doi.org/10.3390/rs12121914>
- [13] Malenovský, Z.; Rott, H.; Cihlar, J.; Schaepman, M.E.; García-Santos, G.; Fernandes, R.; Berger, M. Sentinels for Science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 Missions for Scientific Observations of Ocean, Cryosphere, and Land. *Remote Sens. Environ.* **2012**, *120*, 91–101, doi:10.1016/j.rse.2011.09.026.
- [14] Manenti, R. Dry stone walls favour biodiversity: a case-study from the Appennines. *Biodivers Conserv* **23**, 1879–1893 **2014**. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0691-9>
- [15] Milesi, C.; Churkina, G. Measuring and Monitoring Urban Impacts on Climate Change from Space. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 3494. <https://doi.org/10.3390/rs12213494>
- [16] Philipp, M.; Dietz, A.; Buchelt, S.; Kuenzer, C. Trends in Satellite Earth Observation for Permafrost Related Analyses-A Review. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 1217. <https://doi.org/10.3390/rs13061217>
- [17] Phiri, D.; Simwanda, M.; Salekin, S.; Nyirenda, V.R.; Murayama, Y.; Ranagalage, M. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- [18] Szabo, Szilard & Gácsi, Zoltán & Bertalan-Balazs, Boglarka. 2016. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Landscape & Environment*. 10.194-202.10.21120/LE/10/3-4/13.
- [19] Xiao, C.; Li, P.; Feng, Z. Monitoring annual dynamics of mature rubber plantations in Xishuangbanna during 1987-2018 using Landsat time series data: A multiple normalization approach. *Int. J. Appl. EarthObs. Geoinf.* **2019**, *77*, 30–41.

*Finito di stampare nel mese di settembre 2023  
per conto della Luciano Editore - Napoli da [www.darcoprint.it](http://www.darcoprint.it)*