

**PROGRAMMA SPERIMENTALE**

**RICOGNIZIONE, APPLICAZIONE, RICERCA FINALIZZATA  
E SPERIMENTAZIONE, DIVULGAZIONE**



# **SIMBIOSI**

**SVILUPPO DI MODELLI ED INDICATORI  
PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE ED IL  
BIO-FITO-RISANAMENTO DI SITI CONTAMINATI**

**REPORT DIVULGATIVO**



**Centro di Geomorfologia  
Integrata per l'Area  
del Mediterraneo**

**FSC**  
Fondo per lo Sviluppo  
e la Coesione



**REGIONE BASILICATA**



## PREFAZIONE DEI SINDACI

*La consapevolezza della presenza di attività antropiche a medio ed alto impatto ambientale sui nostri territori impone l'adozione di adeguati strumenti e innovative metodologie di monitoraggio al fine di rafforzare le azioni a tutela e salvaguardia della salute umana.*

*Con questo obiettivo, come amministrazione comunale di Tito, abbiamo voluto con determinazione ed impegno contribuire affinché le attività previste dal progetto SIMBioSi fossero indirizzate al sito della dismessa discarica di rifiuti solidi urbani in località Aia dei Monaci, che insieme all'area industriale classificata come Sito di interesse nazionale per l'inquinamento, rientra tra le criticità ambientali più significative sul nostro territorio.*

*Un lavoro attento e costante di cura per l'ambiente che ha trovato nella compagine amministrativa una sensibilità accentuata grazie alla dedizione dell'allora Assessore delegata Ing. Luciana Giosa, a cui va il mio personale ringraziamento per l'impegno profuso nell'accompagnare le diverse fasi progettuali, realizzate con professionalità e competenza dal Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo.*

*L'utilizzo delle tecnologie più avanzate, accessibili e a basso costo, per lo sviluppo di sistemi di monitoraggio ambientale insieme alla realizzazione di metodiche bio-sostenibili per la bonifica dei siti contaminati, può rappresentare una nuova area di intervento su cui le amministrazioni locali possono sviluppare un protagonismo autonomo che va ad integrarsi con il complesso delle attività di gestione e monitoraggio ambientale condotte dalle autorità sovracomunali competenti, restituendo quel legame fiduciario in materia di tutela ambientale e della salute troppo spesso messo in discussione dall'assenza di strumenti di monitoraggio a gestione diretta delle municipalità.*

*L'auspicio è che questa sperimentazione, che ha visto il nostro territorio come area pilota insieme a quello di Potenza, possa rappresentare una buona pratica da mutuare in altri contesti territoriali.*

Il Sindaco della Città di Tito  
Graziano Scavone

*L'eredità di attività antropiche potenzialmente inquinanti, presenti sul territorio comunale di Potenza, quali la discarica di Pallareta e l'ex inceneritore di Vallone Calabrese, oggetto di studio nell'ambito del progetto SIMBioSi, è un problema ancora piuttosto rilevante. Norme ambientali meno stringenti di quelle attuali, unite a una minore attenzione e sensibilità per i temi della sostenibilità, hanno portato nel tempo a contaminazioni diffuse dei terreni su cui insistono dette attività e delle falde acquifere. La complessità delle situazioni da risanare, una non sempre chiara identificazione delle competenze e delle responsabilità e la difficoltà a mettere in campo le risorse necessarie (sia pubbliche che private) continuano a ritardare in molte zone gli interventi di bonifica.*

*Ciò nonostante, questi siti, compromessi a livello ambientale, rappresentano per i territori una risorsa in quanto, una volta bonificati, possono essere riutilizzati per nuove attività produttive ed ecosostenibili. Dunque, le attività di bonifica, oltre a essere la soluzione a un problema oggettivo di contaminazione, rappresentano sempre più un'opportunità per il territorio, in termini di ricadute economiche, innovazione e possibilità di riutilizzo delle aree bonificate.*

*Il tema delle tecnologie e delle metodologie innovative, affrontato dal CGIAM nel progetto SIMBioSi, per studiare gli effetti ambientali che attività potenzialmente inquinanti, quali le discariche, possano aver avuto sul territorio, è oggi giorno focale. Inoltre, l'applicazione di metodologie innovative in-situ in tema di bonifiche, quali quelle sperimentate nel sito di Pallareta e nella discarica di Tito, Aia de Monaci, non solo può rappresentare il fattore determinante per (ri)avviare il processo di bonifica, valorizzazione e riutilizzo dei siti, ma determina mediamente costi più bassi e una maggiore sostenibilità, economica, ambientale e sociale.*

*Il CGIAM con questo progetto ha inteso fornire degli strumenti standardizzati, la cui efficienza, in termini di risultato, è nota e acquisita, dunque implementabili a basso costo, non solo ai fini del monitoraggio ambientale, ma anche per far sì che le aree che hanno già ospitato attività antropiche potenzialmente inquinanti, possano ritornare a nuova vita ed essere fonte di sviluppo e di lavoro.*

*Ora è compito delle istituzioni creare il contesto normativo, che consenta di favorire gli investimenti nei siti contaminati, con la prospettiva di realizzare progetti di rilancio delle aree dismesse per restituirne la funzionalità naturale o anche produttiva alla collettività.*

Il Sindaco di Potenza  
Mario Guarente

# SIMBIOSI

Il Programma Sperimentale “SIMBioSi”, acronimo di “Sviluppo di modelli ed Indicatori per il Monitoraggio ambientale ed il Bio-fito-risanamento di Siti contaminati”, nasce a seguito di un Protocollo d’intesa sottoscritto nel Febbraio 2012, tra il Centro di Geomorfologia Integrata per l’Area del Mediterraneo (CGIAM) e i Comuni di Potenza e Tito, che indicano rispettivamente quali aree caratterizzate da situazioni di criticità ambientale e, dunque, di interesse ai fini dello studio sperimentale:

- il complesso di discariche Montegrosso-Pallareta e l’ex inceneritore in località Vallone Calabrese nel Comune di Potenza;
- la discarica Aia dei Monaci nel Comune di Tito.

Il 6 Novembre 2017 il Programma Sperimentale SIMBioSi ha preso avvio a seguito di Determinazione Dirigenziale, Dipar-

timento Ambiente ed Energia della Regione Basilicata. Il programma sopra enunciato prevedeva la realizzazione di attività di “Ricognizione, Applicazione, Ricerca Finalizzata, Sperimentazione e Divulgazione” mediante l’acquisizione e l’elaborazione di dati e informazioni relativi ai livelli di contaminazione delle matrici ambientali al fine di:

- costruire un sistema di monitoraggio da utilizzarsi anche per finalità pre-operative e di pianificazione, attuazione e gestione degli interventi di bonifica;
- favorire l’adozione di tecniche/metodologie di Bio-Fitorisanamento ambientale nell’ambito della realizzazione degli interventi di bonifica di siti contaminati sostenibili sia dal punto di vista ambientale, sia economico.



# INTRODUZIONE

L’inquinamento può essere definito come l’immissione di elementi composti e/o fattori energetici detrattori nell’ambiente a livelli tali da compromettere la funzionalità o presentare un rischio per gli ecosistemi e la salute umana. Tra le varie componenti ambientali potenzialmente affette da contaminazione, i suoli possono inficiare o inibire la crescita di vegetazione a causa dell’effetto fitotossico degli inquinanti presenti e, inoltre, possono incidere sulla qualità delle acque superficiali e/o profonde destinate al consumo umano a seguito di deflusso o percolamento.

Sebbene le cause di contaminazione possono essere molteplici, e di estensione e durata differenti, è possibile annoverare tra le principali le attività connesse con rifiuti, prodotti fitosanitari, acque di scarico, rilascio di metalli pesanti, idrocarburi e scorie radioattive.

Un sito, quindi, può considerarsi inquinato quando si ha un eccesso nella concentrazione di almeno un contaminante rispetto al limite imposto dalla legge e definito in funzione della destinazione d’uso del sito o attraverso procedure di analisi di rischio sito-specifiche. Normalmente, la procedura per valutare eventuali rischi di contaminazione di un sito prevede una iniziale caratterizzazione ambientale che si pone l’obiettivo di:

- definire la struttura geologica e idrogeologica del sito;
- individuare e quantificare i contaminanti presenti;
- definire la distribuzione spaziale degli eventuali contaminanti e individuarne i processi di migrazione verso i potenziali bersagli.

Se si considera l’aspetto della contaminazione dei suoli in relazione al ciclo dei rifiuti, vale la pena ricordare che in Italia lo smaltimento dei rifiuti rappresenta ancora un fattore di elevata criticità di entità rilevante dovuta non solo alla grande quantità pro capite prodotta (ca. 489 kg/ab. anno in Italia, 346 kg/ab. anno in Basilicata - anno 2017, fonte: ISPRA), ma anche alla gestione degli impianti di trattamento e smaltimento. Quest’ultimo, in particolare, ha visto e vede tuttora la discarica come recapito finale che rappresenta un elemento di rilevante complessità ambientale e territoriale. Ad ogni modo, il problema principale non risiede nell’esistenza delle discariche e dei materiali in esse stoccati, ma nelle conseguenze che una gestione inadeguata può ingenerare al territorio limitrofo ed alle componenti ambientali e naturali attigue.

In quest’ottica, il Programma Sperimentale SIMBioSi ha quale obiettivo principale quello di fornire alle istituzioni impegnate a contrastare, controllare e sorvegliare le situazioni di contaminazione ambientale, gli strumenti idonei a garantire il sostegno all’attuazione delle più incisive politiche ambientali, sanitarie e di protezione civile attraverso:

- la definizione di un sistema innovativo ed avanzato di monitoraggio ambientale per l’individuazione di *stress* indotti sull’ambiente e il territorio da attività antropiche potenzialmente inquinanti;
- l’applicazione di tecniche per il fitorisanamento di siti contaminati finalizzate alla mitigazione dei rischi per l’ambiente e per la salute.

**Il presente documento riporta in maniera sintetica, rimandando gli approfondimenti al dettaglio dei contenuti tecnici e scientifici degli elaborati di progetto, la descrizione delle attività e delle azioni intraprese nonché i risultati principali ottenuti, con una finestra sui possibili sviluppi e interconnessioni che possono scaturire nell’ambito della pianificazione territoriale e gestione delle criticità ambientali, sia a scala locale e sia di area vasta**



## Obiettivi generali

- **Definire e implementare metodologie innovative per l'analisi ed il monitoraggio ambientale e territoriale e per l'individuazione di rischi antropici e naturali.** Se da un lato, la possibilità di disporre di dati ed indicatori ambientali su scala globale può rappresentare un valido sostegno alle scelte politiche adottate a livello internazionale, occorre altresì evidenziare la necessità, per gli amministratori regionali e locali, nonché per gli altri decisori istituzionali e gli *stakeholder* in genere, di poter seguire ed interpretare a scala di maggior dettaglio, anche mediante lo sviluppo di indicatori e modelli specifici, l'evoluzione spazio-temporale delle caratteristiche ambientali e territoriali che possono

richiedere l'adozione di misure di prevenzione, così come la realizzazione di interventi di risanamento e/o monitoraggio ambientale.

- **Sviluppare metodologie e tecniche di monitoraggio ambientale, sostenibili sia dal punto di vista ecosistemico che economico, in grado di poter individuare l'effetto di una potenziale contaminazione delle matrici ambientali, riconducibili ad attività antropiche complesse in grado di immettere nei sistemi naturali sostanze pericolose oltre le soglie limite.** Il sistema di monitoraggio *low-cost* messo a punto in SIMBioSi sfrutta le potenzialità del telerilevamento da satellite che fornisce ormai, gratuitamente, *dataset* di buo-

na risoluzione spettrale, geometrica e temporale in grado, se opportunamente trattati, di fornire indicazioni sulla presenza di *stress* vegetazionali in conseguenza di pressioni antropiche o anche naturali. Si pone pertanto, da un lato, come sistema di supporto alle decisioni (DSS) per le funzioni attribuite agli Enti di competenza per la pianificazione territoriale ed ambientale e, dall'altro, considerando la consistenza e la complessità delle basi di dati del sistema di monitoraggio, garantisce la possibilità di utilizzo dello stesso per finalità pre-operative, come quelle, ad esempio, relative alla pianificazione e alla gestione degli interventi di bonifica.

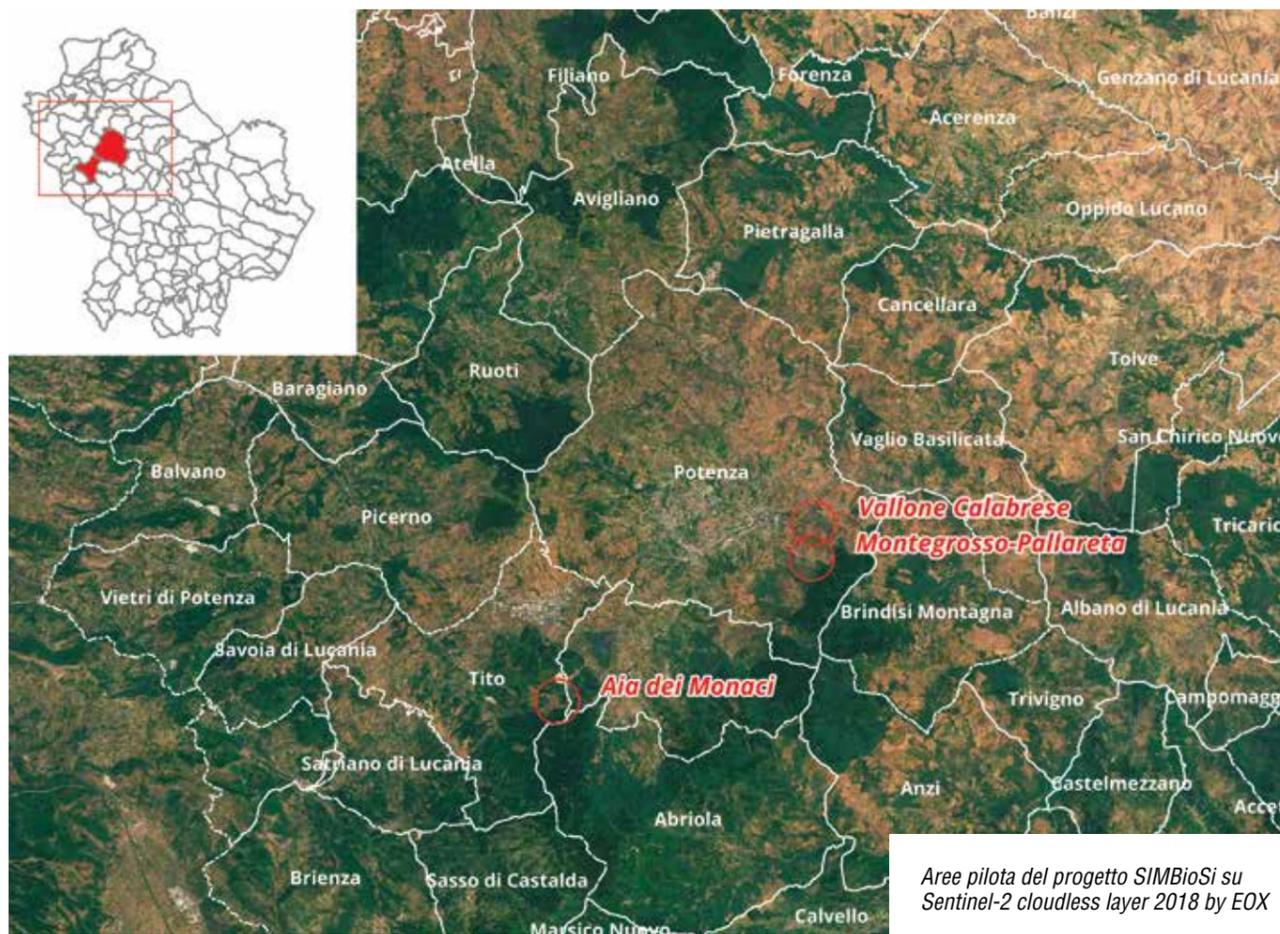
## Obiettivi specifici

- **Promuovere la conoscenza, il miglioramento e la valorizzazione delle tecniche di Bio-Fito-Risanamento ambientale allo scopo di favorirne l'adozione nell'ambito della realizzazione degli interventi di bonifica di siti contaminati.** Il crescente processo di contaminazione delle matrici ambientali è uno dei maggiori problemi a cui sta andando incontro il mondo industrializzato, amplificato anche dalla produzione, su scala sempre più vasta, di composti chimici con struttura molto differente rispetto a quella dei composti organici naturali, causando gravi problemi alla salute degli uomini e rappresentando una grave minaccia anche per l'ambiente.
- **Sviluppare nuove tecnologie per la bonifica dei siti contaminati, volte fonda-**

**mentalmente all'eliminazione e/o alla rimozione dei composti inquinanti.** In particolare, il Bio-Fito-Risanamento si caratterizza per l'utilizzo del potenziale metabolico dei microrganismi e delle piante realizzando rispettivamente la neutralizzazione e l'assorbimento degli agenti contaminanti. Le parcelle pilota nell'ambito del Progetto SIMBioSi sono state realizzate allo scopo di valutare le *performance* di specie erbacee ed arboree, potenzialmente a buona capacità depurativa, in condizioni stagionali diverse. I risultati della sperimentazione sono in grado di fornire indicazioni per l'applicazione di tecniche e di specie in ambito territoriale più vasto, come ad esempio quello regionale.

Definire e implementare metodologie innovative per l'analisi ed il monitoraggio ambientale e territoriale.  
Promuovere la conoscenza, il miglioramento e la valorizzazione delle tecniche di Bio-Fito-Risanamento

# AMBIENTE

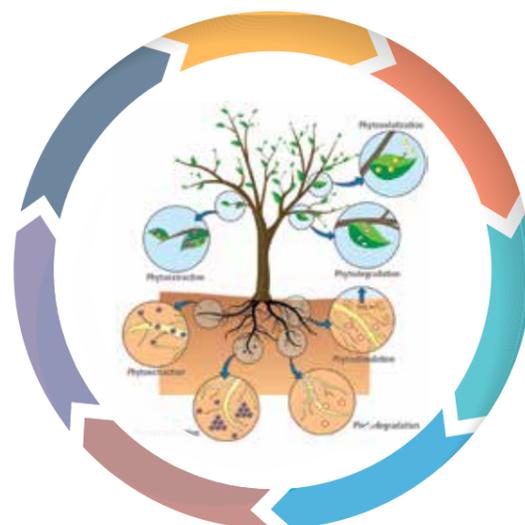


## Le Aree Pilota

Le Aree Pilota per la realizzazione delle attività relative al Monitoraggio e alla Sperimentazione di tecniche di Fitorisanamento sono costituite da areali territoriali interessati da elevata criticità ambientale, tanto in termini di conclamata contaminazione delle matrici ambientali, quanto di potenziale minaccia all'ambiente ed alla salute pubblica. Si tratta, in particolare, di tre siti che rientrano nell'elenco della Regione Basilicata tra quelli segnalati come contaminati:

- l'ex-inceneritore, poi centro di trasferimento, in località Vallone Calabrese, Potenza;
- il complesso di discariche in località Montegrosso-Pallareta di Potenza;
- la discarica in località Aia dei Monaci, situata nel comune di Tito (PZ).

Si tratta dunque di attività che, seppure parzialmente dismesse, risultano particolarmente a rischio di contaminazione ambientale.



## Ex inceneritore in località Vallone Calabrese (Potenza)

L'ex inceneritore è caratterizzato da una storia abbastanza travagliata. Realizzato tra gli anni 1988 e 2003, entra parzialmente in funzione solo a fine 2005 con l'avvio delle procedure di collaudo con le "prove a caldo" degli impianti, in attesa dell'espletamento dell'iter autorizzativo all'esercizio. L'attività, fino a quel momento provvisoria e mai entrata a pieno regime, termina nel 2007. Ad oggi, le strutture che ospitano le parti impiantistiche non sono operative e non vi è gestione e/o movimentazione di rifiuti. L'area è utilizzata come sito di ricovero di mezzi neve e di altre attrezzature per l'ordinario funzionamento dell'Azienda Comunale per la Tutela Ambientale (ACTA).



Ex inceneritore in località Vallone Calabrese (ortofoto anno 2015, Geocart)

## Discarica Montegrosso-Pallareta (Potenza)

Nel sito di Montegrosso-Pallareta è presente un complesso di discariche i cui lavori sono iniziati nel 1986. Nel maggio 1989 il sito è stato preposto allo smaltimento di rifiuti. Da febbraio 2009 ha ospitato al suo interno una Stazione di Trasferimento RSU a servizio di 18 Comuni dell'hinterland di Potenza. Alla data odierna le attività della stazione di trasferimento sono sospese. Le diverse vasche non risultano in esercizio, pertanto sono state chiuse secondo le modalità previste dalle norme in vigore al momento della colmataura dei bacini.



Discarica Montegrosso-Pallareta (ortofoto anno 2015, Geocart)

## Discarica Aia dei Monaci (Tito)

Il complesso sito in località Aia dei Monaci nel Comune di Tito è stato utilizzato prima come discarica per RSU dal 1994 fino al 2004, quando è avvenuto l'esaurimento delle volumetrie autorizzate, e poi come stazione di trasferimento per RSU a servizio dei Comuni del "Bacino Potenza Centro" dal 2007 al 2014. Allo stato attuale, la stazione di trasferimento è inattiva e nel sito non sono svolte attività di trattamento o deposito rifiuti. Il suo Piano di Caratterizzazione è in fase di attuazione.



Discarica Aia dei Monaci, Tito (PZ) (ortofoto anno 2013, RSD/ Regione Basilicata)

# MONITORAGGIO AMBIENTALE



Discarica di Aia dei Monaci: evoluzione nel tempo (Fonte: Geoportale Nazionale e RSDI Regione Basilicata)

Relativamente al monitoraggio ambientale, sono state attuate le seguenti linee, in grado di sfruttare al meglio i *dataset* tele-rilevati da satellite:

- sviluppo di metodologie di analisi per l'individuazione delle condizioni attuali della vegetazione e delle altre matrici ambientali per la verifica delle variazioni spaziali di stress ambientali rispetto alle aree di potenziale emissione di inquinanti. Lo scopo era quello di veri-

ficare, in prossimità dei siti e attraverso l'utilizzo dei dati satellitari, la presenza di evidenti anomalie degli Indici di Vegetazione e degli Indici del Suolo, riconducibili a *stress* indotti sulle matrici ambientali. Il confronto è stato operato rispetto a condizioni analoghe, in termini di tipologia vegetazionale e condizioni stazionali, selezionando aree molto distanti dai punti di potenziale fonte di inquinamento e che non risentissero degli effetti dello stesso;

- messa a punto di una metodologia per l'individuazione di trend temporali di anomalie degli accrescimenti della vegetazione in relazione a possibili fonti di perturbazione delle condizioni eco-fisiologiche che potrebbero essersi verificate nel passato in conseguenza delle attività antropiche nei siti di interesse.

## IL MONITORAGGIO AMBIENTALE NELLE CONDIZIONI ATTUALI

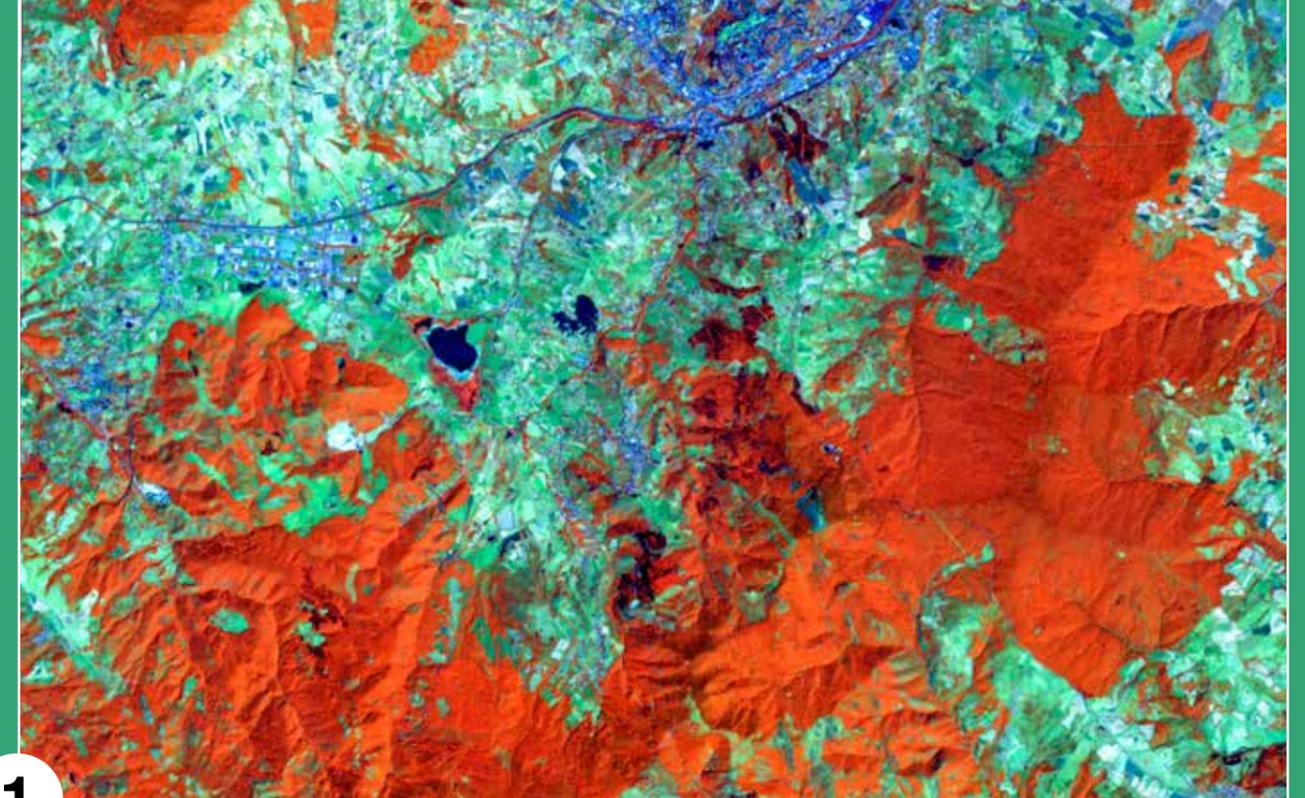
### Analisi dell'andamento fenologico tramite remote sensing

Per questo tipo di indagine sono state utilizzate le immagini Sentinel-2. In virtù della loro buona risoluzione geometrica e temporale è stato possibile ricostruire l'andamento fenologico, riferito all'anno 2017, delle varie tipologie di uso del suolo. La finalità era quella di verificare l'esistenza di differenze spaziali nei trend fenologici delle varie tipologie di *Land Use*, all'aumentare della distanza dal sito fonte di potenziale inquinamento. A questo scopo si sono individuati *buffer* a distanza crescente dai siti e su queste aree è stata condotta un'analisi dei valori mensili di NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ricavati dall'elaborazione dei dati Sentinel-2.

In definitiva, l'intento è stato quello di individuare la distribuzione nello spazio di eventuali variazioni indotte sulla vegetazione da un potenziale inquinamento attraverso la verifica di eventuali anomalie negli andamenti fenologici in prossimità dei siti. Lo studio è stato condotto nei vari *buffer* e stratificando l'analisi per gli usi del suolo presenti nelle diverse aree.

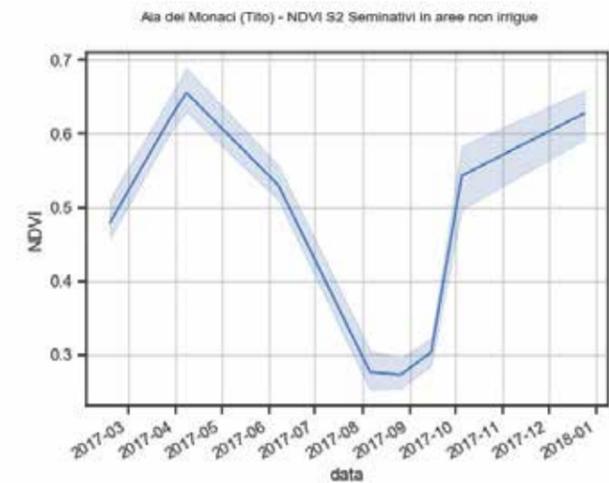


Stack di immagini Sentinel-2A utilizzate per ricostruire il trend fenologico nell'anno 2017

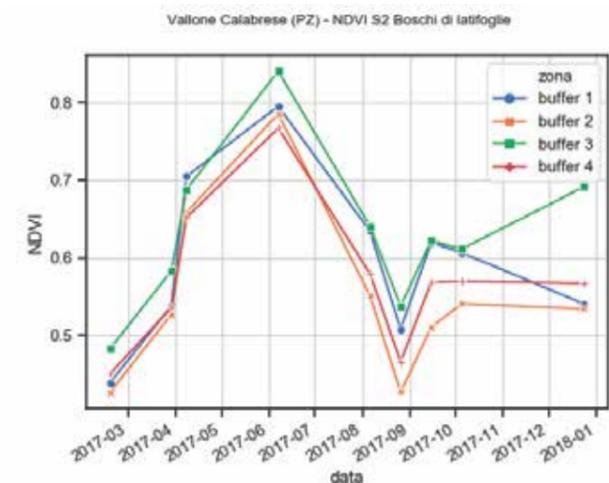


1

2



3



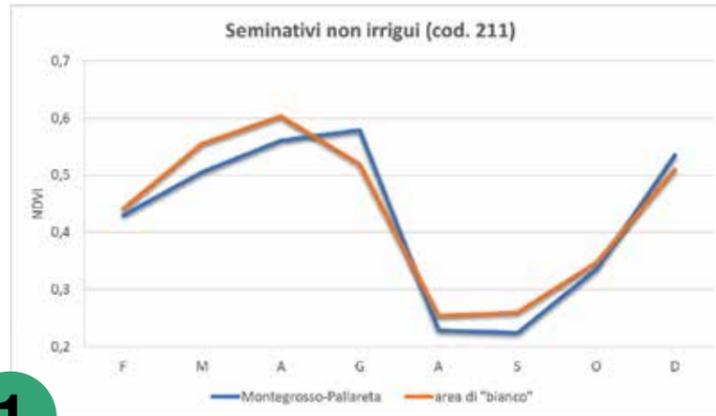
4

- 1 Ripresa Sentinel 2 dell'area di interesse (composizione 8-11-2)
- 2 Buffer a distanza crescente e punti di campionamento considerati
- 3 Andamento mensile di NDVI per la categoria "Seminativi in aree non irrigue" per il sito Aia dei Monaci
- 4 Andamenti mensili di NDVI per la categoria "Boschi di latifoglie" per il sito di Vallone Calabrese, per i vari buffer

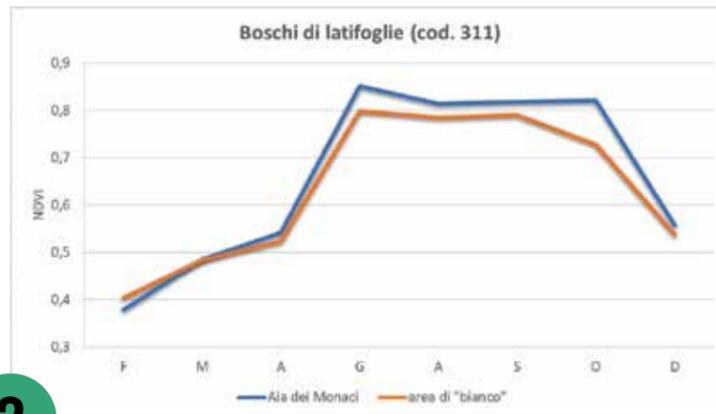
L'analisi delle differenze spaziali dei trend vegetazionali relativi all'anno 2017 non mostra difformità significative via via che ci si allontana dal sito (buffer a distanza crescente dagli stessi), nell'ipotesi che, ovviamente, l'effetto sulla vegetazione di un eventuale inquinamento si riduca con la distanza dalla potenziale fonte inquinante.

Per avvalorare ulteriormente tale risultato, l'analisi sui valori e sui trend stagionali di NDVI per le diverse categorie di Uso del Suolo è stata condotta anche considerando aree molto distanti dai siti di interesse. In sostanza, sono stati confrontati i valori medi dell'indice NDVI considerando tutti i pixel dell'intera area dei tre siti, stratificati per uso del suolo, con altre aree, molto distanti dai siti ma in condizioni analoghe dal punto di vista micro-stazionale. Questi punti possono essere considerati come "punti di bianco", ovvero aree dove il potenziale effetto degli inquinanti immessi nel sistema dalle attività specifiche dei tre siti, non viene risentito in alcun modo.

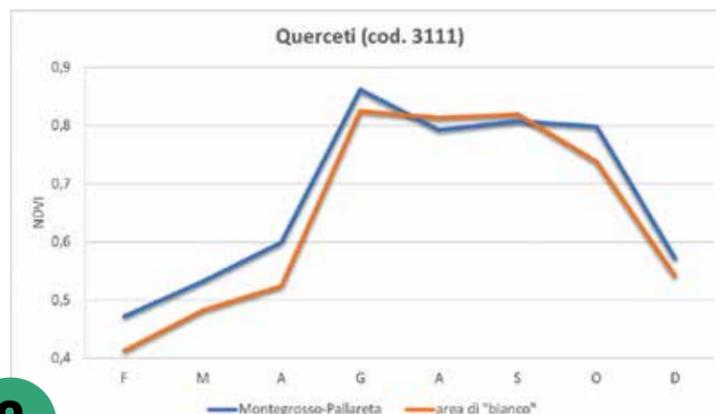
L'analisi ha evidenziato come, per tutte le categorie di Uso del Suolo, non vi è differenza sostanziale tra le aree all'interno del sito di indagine e "aree di bianco" delle stesse categorie opportunamente selezionate in un'area vasta al di fuori del potenziale effetto degli inquinanti. Questo risultato conferma ulteriormente l'inesistenza di stress vegetazionali nelle aree contermini le aree di studio.



1



2



3

1 Andamenti mensili di NDVI per la classe "Seminativi non irrigui" per il sito Montegrosso-Pallareta e per area di bianco

2 Andamenti mensili di NDVI per la classe "Boschi di latifoglie" per il sito Aia dei Monaci e per area di bianco

3 Andamenti mensili di NDVI per la classe "Querceti" per il sito Montegrosso-Pallareta e per area di bianco

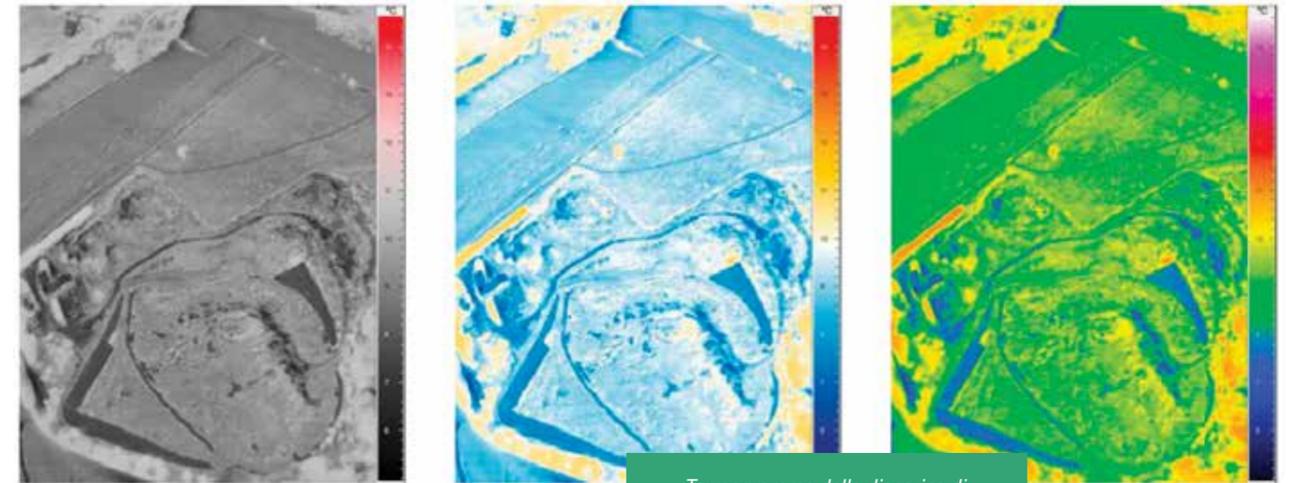
## Analisi delle anomalie termiche mediante sensori aviotrasportati

Per individuare l'esistenza di eventuali anomalie termiche delle aree di indagine, riconducibili a un potenziale inquinamento, sono state realizzate riprese ad alta risoluzione con ausilio di sensori all'infrarosso termico (IR) montati su velivolo aereo.

La mappatura della temperatura della superficie è fondamentale per poter va-

lutare lo stato di conservazione dell'area di indagine. Infatti, anomalie nella distribuzione delle temperature superficiali possono mettere in evidenza particolari situazioni di rischio ambientale, come interramenti abusivi di materiale organico, fuoriuscita di percolato ad alta temperatura, esalazione anomala di biogas, ecc. Le immagini termiche acquisite in forma

di singoli termogrammi (ca. 48.000 frame) sono state elaborate per la ricerca di eventuali anomalie termiche. L'analisi dei dati, svolta in modalità semi-automatica, ha consentito l'individuazione di alcuni hot spot legati all'attività antropica in generale, ma nessuno riconducibile alle attività di gestione dei rifiuti (perdite di biogas, percolato, ecc.).



Termogramma della discarica di Aia dei Monaci in differenti scale di colore

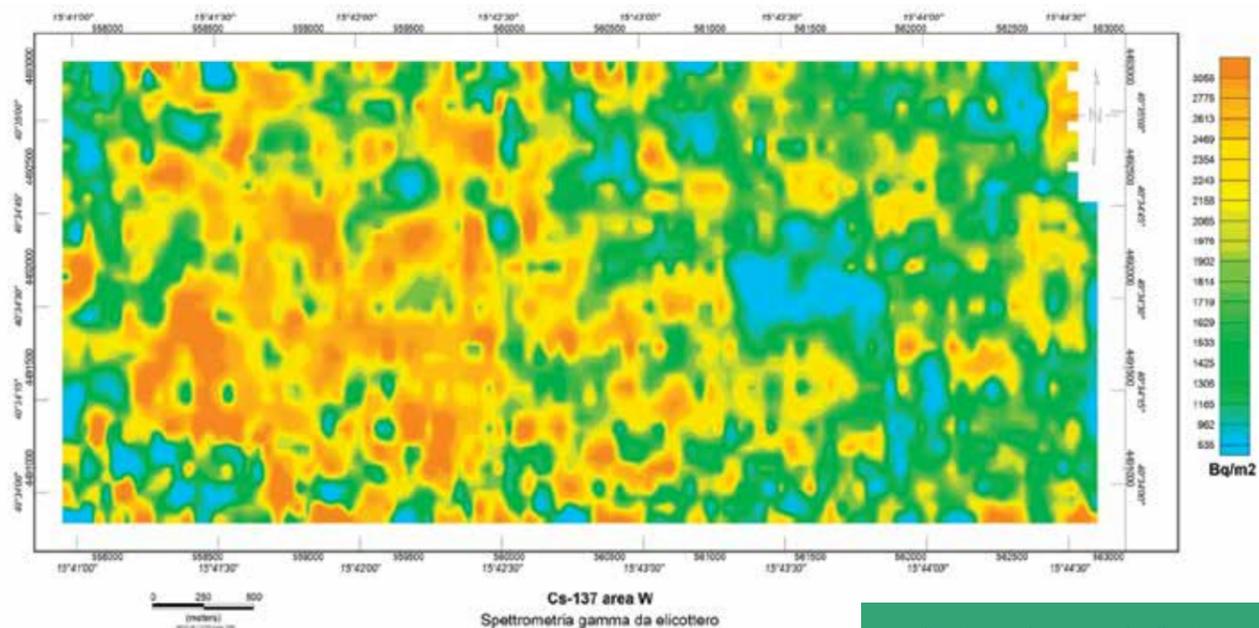
## Studio di eventuali anomalie radiometriche e geofisiche per l'individuazione della presenza di radionuclidi

E' stata realizzata una ricerca multidisciplinare integrata finalizzata a rilevare anomalie significative delle caratteristiche geofisiche nei pressi delle aree di studio, al fine di identificare siti potenzialmente inquinati da diverse tipologie di elementi naturali o artificiali. La ricerca è stata suddivisa in tre fasi complementari tra loro, caratterizzate da un diverso grado di dettaglio:

1. telerilevamento aereo con spettrometro raggi gamma su due aree sensibili dal punto di vista ambientale (Montegrosso-Pallareta e Aia dei Monaci);
2. acquisizione a terra mediante un veicolo equipaggiato con uno spettrometro raggi gamma ad alta risoluzione;
3. prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi in un laboratorio specializzato.

Il rilevamento aero-radiometrico (fase 1) ha avuto lo scopo di caratterizzare le aree di studio fornendo la distribuzione areale dei radionuclidi presenti, sia naturali che di origine antropica, individuando eventuali anomalie. Nella fase 2 sono state individuate aree idonee, sia per la conduzione delle misure spettrometriche sulla superficie, che per il campionamento diretto di terreno. Le misurazioni a terra sono state accompagnate da prelievo di campioni di terreno da sottoporre a successiva analisi in un laboratorio specializzato (fase 3).

A valle delle suddette attività, è possibile affermare che i siti oggetto di studio non sono interessati da particolari fenomeni di contaminazione superficiale da radiazione ionizzante. Sembra inoltre confermarsi il meccanismo di deposizione a terra, ad opera delle precipitazioni, di particolato radioattivo proveniente dall'incidente nucleare di Chernobyl e degli esperimenti nucleari del passato.



Spettrometria gamma da elicottero

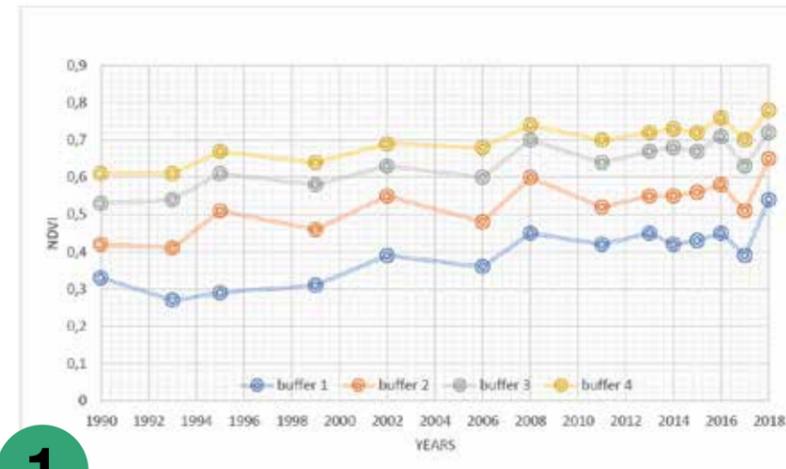
## IL MONITORAGGIO AMBIENTALE TRAMITE ANALISI DEI TREND STORICI

### Analisi multitemporale della vegetazione e mappe di criticità ambientale

Per la *detection analysis* di anomalie nei *trend* storici della vegetazione, da poter correlare con gli eventuali effetti dell'inquinamento dovuto alle attività di smaltimento dei rifiuti, è stata utilizzata l'analisi *time series* di immagini Landsat, procedendo alla intercalibrazione dei sensori TM (*Thematic Mapper*) di Landsat 5, e OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) di Landsat 8. In definitiva, sono state selezionate 14 immagini a partire dal 1990 fino al 2018 e da queste sono stati elaborati diversi Indici di Vegetazione (VI), tra i quali NDVI e NDWI (*Normalized Difference Water Index*) hanno mostrato una maggiore capacità di individuare variazioni di efficienza ecofisiologica della vegetazione. È stata, inoltre, elaborata LST (*Land Surface Temperature*) allo scopo di individuare eventuali anomalie termiche in relazione alle attività antropiche in oggetto (emissioni di biogas, fuoriuscita di percolato, ecc.). Per tutti e tre questi indici è stata condotta l'analisi per l'individuazione della variazione temporale (dal 1990 al 2018) e spaziale, considerando *buffer* a distanza crescente dai siti, degli andamenti della vegetazione. Lo scopo era appurare sia l'eventuale esistenza, nell'arco temporale analizzato, di *stress* della vegetazione, sia lo *stressor* (attività di discarica) che lo ha provocato. Gli andamenti degli Indici di Vegetazione e di LST, per distanze via via maggiori dal sito potenzialmente inquinante, non hanno mostrato anomalie particolari riconducibili alle attività antropiche in oggetto.

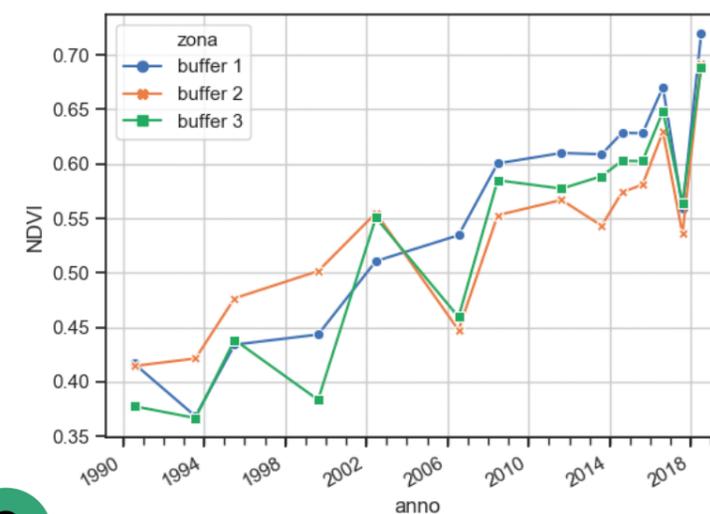


Immagine Landsat OLI (composizione 5-6-2 "Healthy Vegetation")



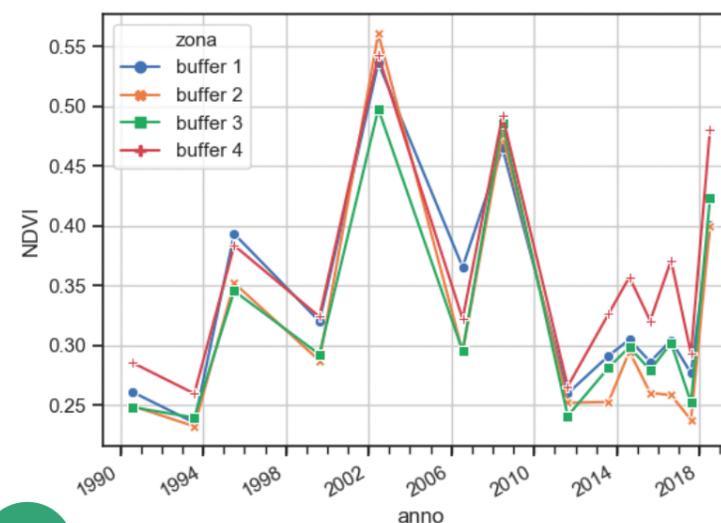
1

Aia dei Monaci (Tito) - NDVI L5-L8 Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione



2

Montegrosso-Pallareta (PZ) - NDVI L5-L8 Seminativi in aree non irrigue



3

Le differenze in valore assoluto di NDVI osservabili negli anni tra i quattro *buffer* sono da ricondursi alle diverse categorie di *Land Cover* o ai diversi Usi del Suolo e sfruttamento delle risorse (cicli colturali, tagli di utilizzazione dei soprassuoli boschivi, ecc.) presenti in essi. Infatti, gli andamenti caratterizzati da indici di correlazione molto elevati seguono in sostanza gli stessi ritmi di incremento/decremento negli anni, a testimonianza dell'inesistenza di *pattern* spaziali legati ad un eventuale inquinamento. Per avere un maggior riscontro, l'analisi sull'andamento multi-temporale di NDVI per i diversi *buffer* è stata stratificata per le varie classi di Uso del Suolo.

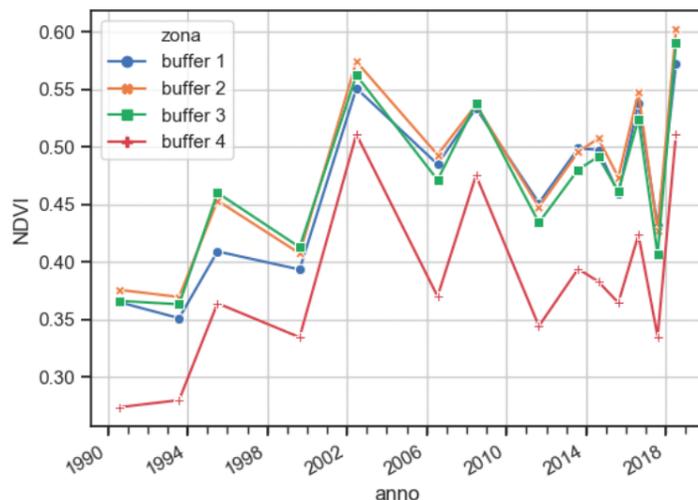
L'analisi multi-temporale, in conclusione, consente di affermare che non si evidenziano *pattern* particolari degli andamenti di NDVI (e degli altri Indici analizzati) tali da poter affermare l'esistenza di decrementi o di variazioni significative dell'efficienza ecofisiologica della vegetazione. Laddove esistono anomalie, queste sono riconducibili in maniera inequivocabile a fattori naturali (in particolare, alle condizioni micro-stazionali, differenze nello stadio evolutivo delle diverse formazioni naturali, ecc.), colturali (cicli delle colture agrarie, utilizzazioni dei boschi, ecc.) o fattori di disturbo (incendi boschivi).

1 Andamenti multi-temporali, per i vari buffer, di NDVI per il sito di Aia dei Monaci

2 Andamento di NDVI per la categoria "Aree a vegetazione arbustiva ed arborea in evoluzione", per i vari buffer, nel sito Aia dei Monaci

3 Andamento di NDVI per la categoria "Seminativi in aree non irrigue", per i vari buffer, nel sito di Montegrosso-Pallareta

Vallone Calabrese (PZ) - NDVI L5-L8 Aree a pascolo naturale



Andamento di NDVI per la categoria "Pascoli naturali", per i vari buffer, per il sito di Vallone Calabrese

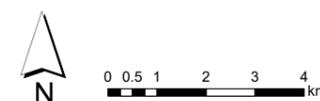
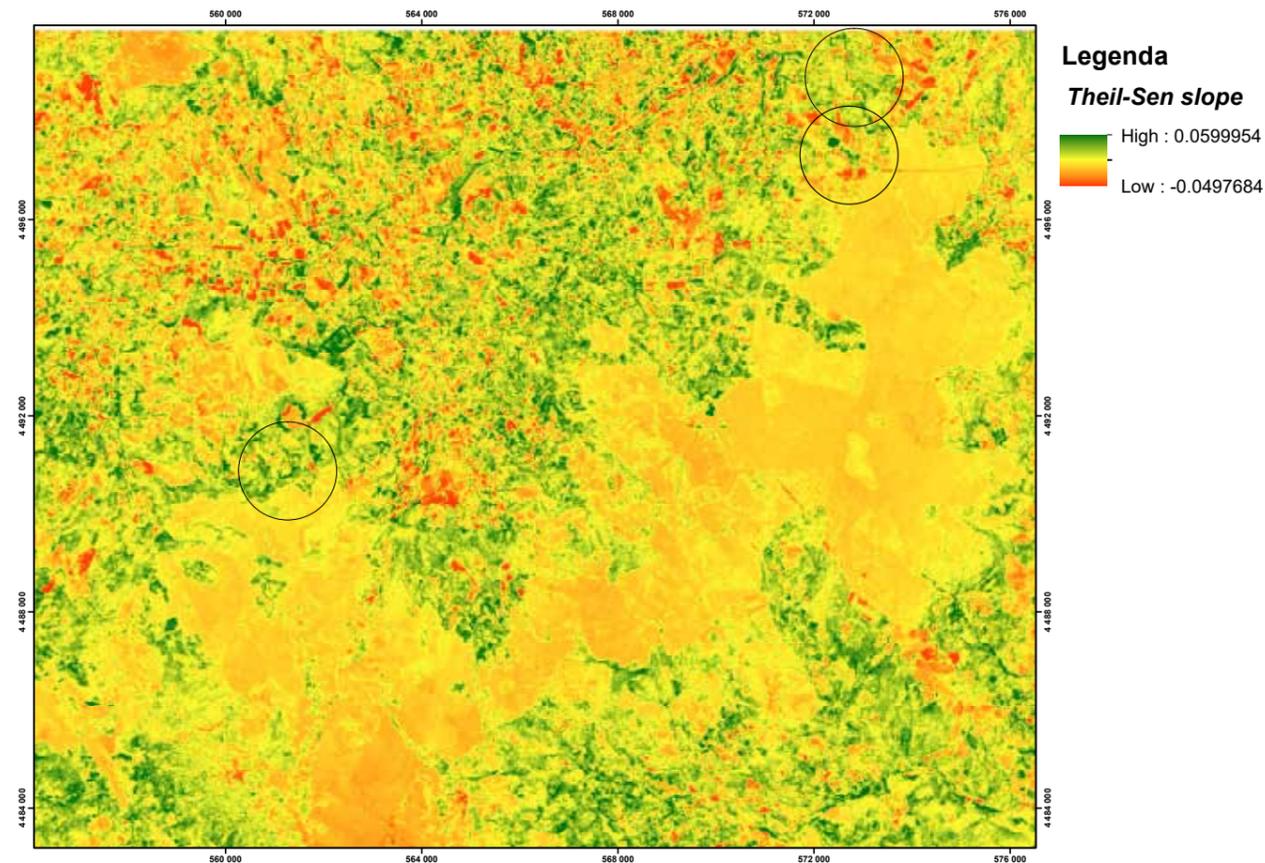
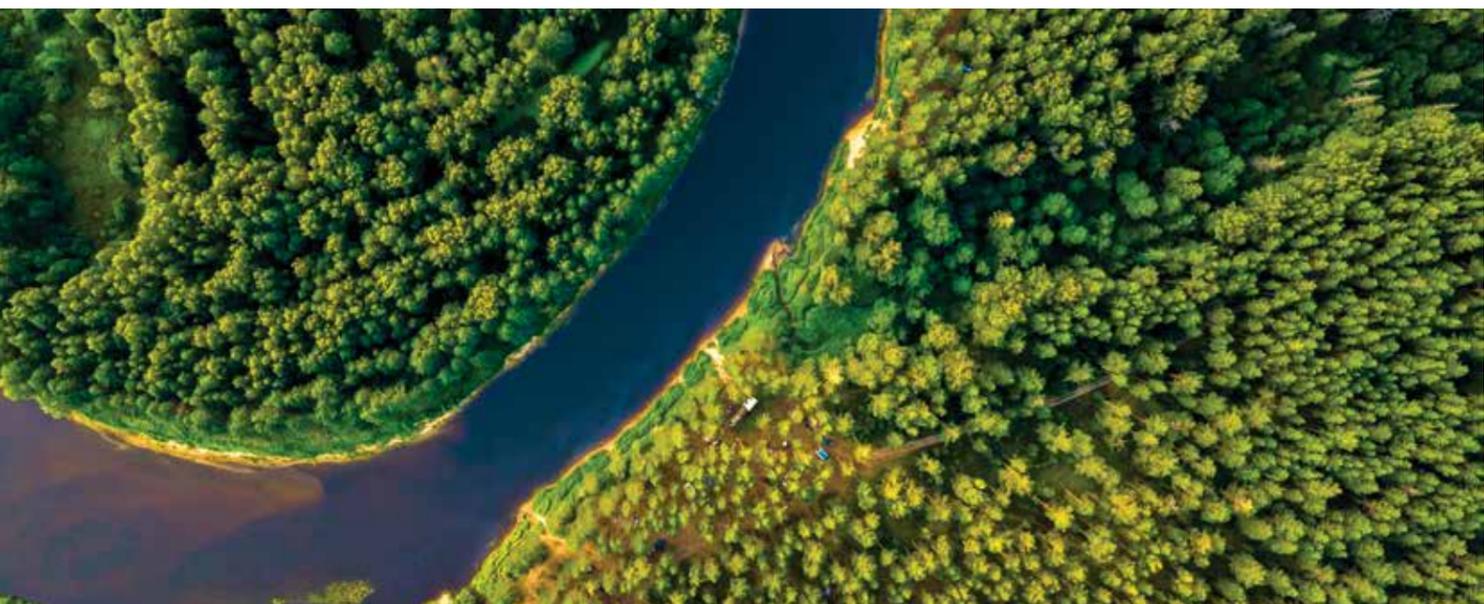
Oltre all'analisi puntuale dei *trend* multitemporali di alcuni Indici di Vegetazione (in particolare, NDVI e NDWI) e di LST, è stata messa a punto una metodologia di analisi dei *trend* temporali degli Indici che consentisse di ottenere **Mappe di evoluzione (o involuzione) della vegetazione** nell'arco temporale 1990-2018 e **Mappe di Criticità ambientale**.

Le mappe forniscono, in definitiva, l'andamento temporale per area unitaria dell'indice analizzato, individuandone la variazione, a diverso grado di intensità, di incremento/decremento della vegetazione. Una procedura di analisi statistica sugli andamenti temporali, infine, ha portato ad individuare quali variazioni, di incremento/decremento, fossero realmente significative. Questo ha consentito l'ottenimento di Mappe di criticità ambientale. Le serie di Mappe di evoluzione/involuzione della vegetazione e

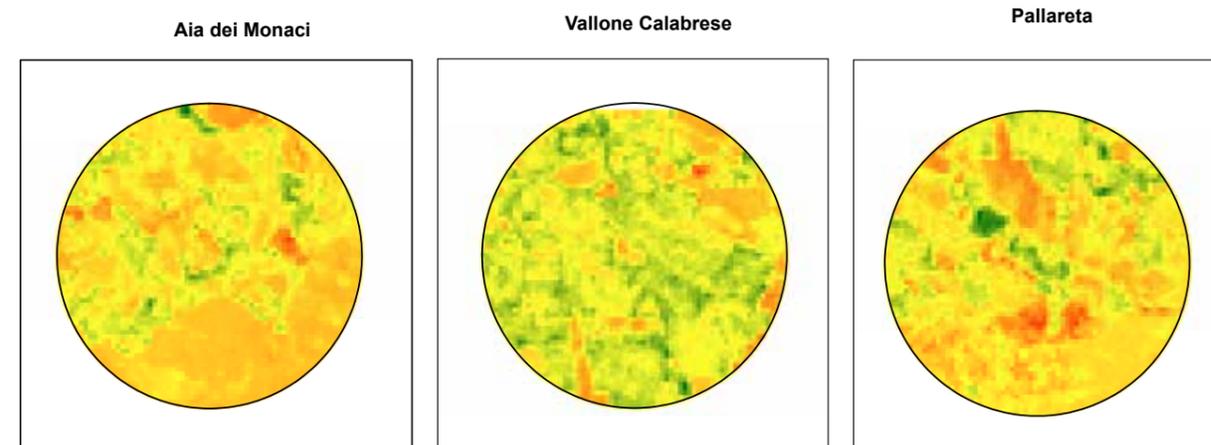
quelle di criticità ambientale rappresentano, dunque, spazialmente, il risultato finale delle analisi condotte sugli andamenti temporali degli Indici di Vegetazione.

La procedura adottata per l'ottenimento delle Carte di evoluzione della vegetazione è il *trend* della mediana di Theil-Sen, particolarmente idonea per il trattamento dei dati telerilevati. Le mappe di evoluzione della vegetazione sono state realizzate per i tre siti di indagine ed esprimono i tassi di incremento o decremento della vegetazione a diversa intensità.

La verifica, infine, della significatività delle pendenze dei *trend* temporali, attraverso l'applicazione del test Z Mann-Kendall, ha portato alla individuazione delle aree che, nell'arco temporale analizzato, hanno mostrato una variazione negativa significativa tale da poterla ricondurre alla presenza di un forte disturbo.



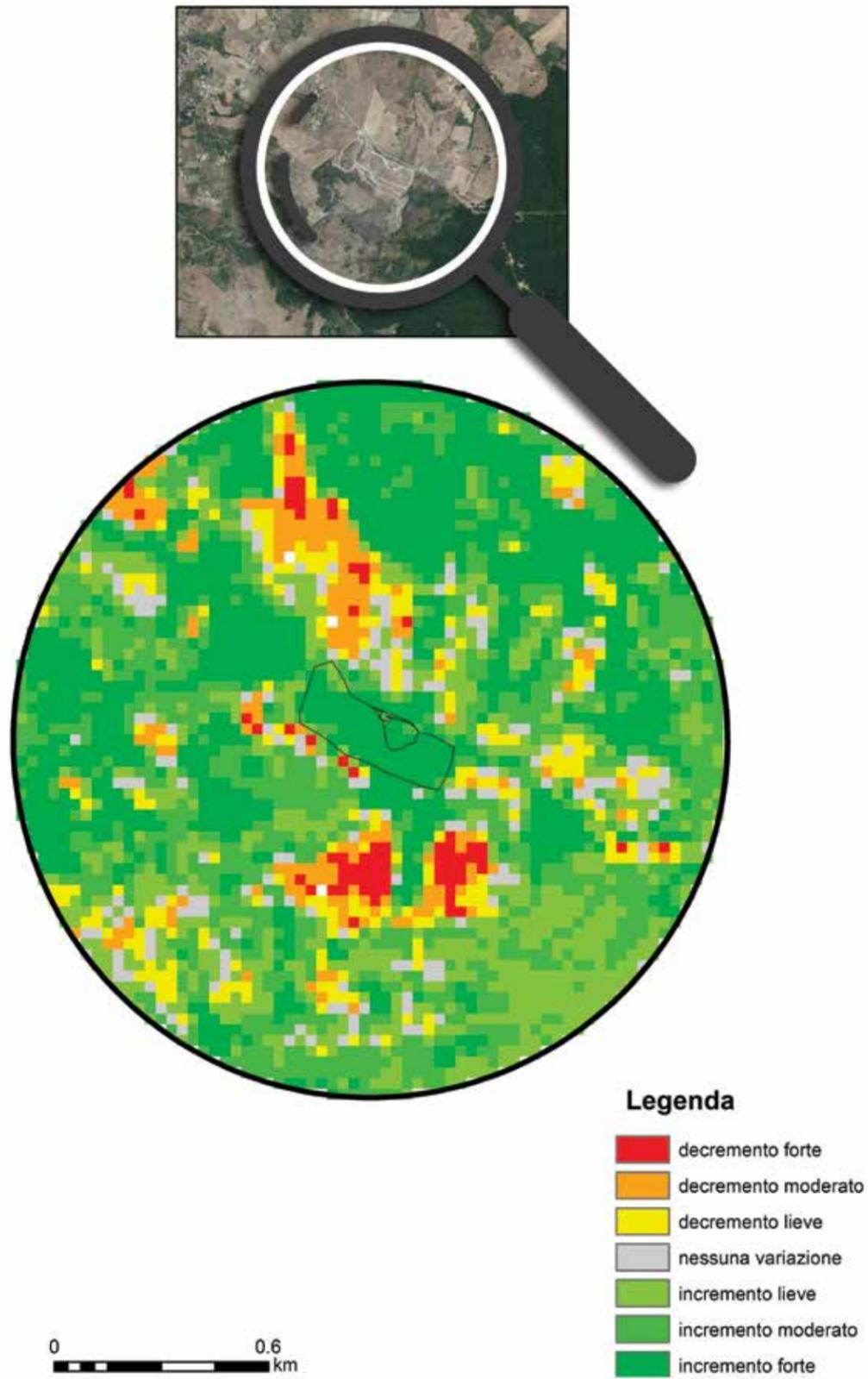
Reference system  
UTM WGS84 - Zone 33N



Trend mediano Theil-Sen della pendenza di NDVI

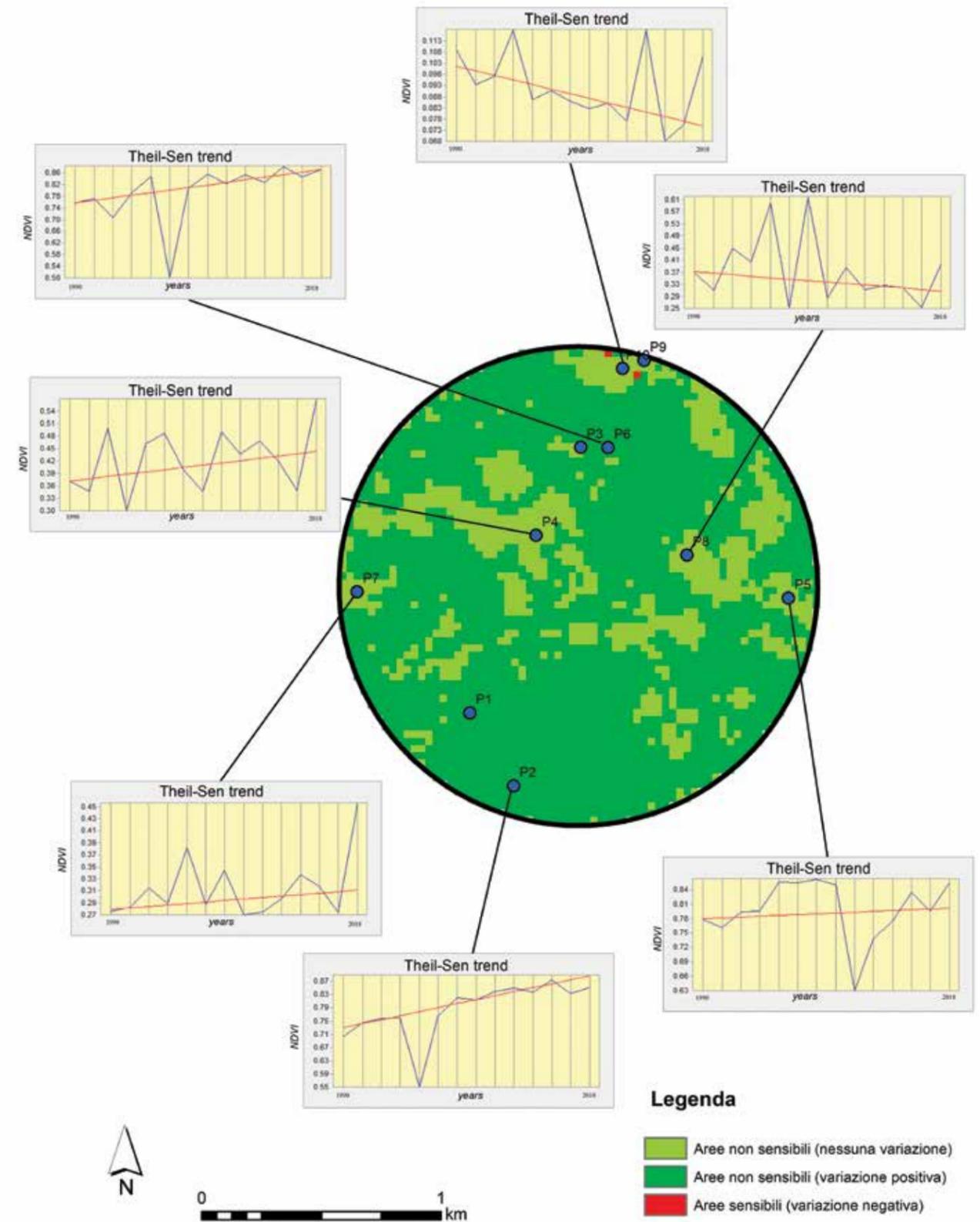
La procedura adottata per l'ottenimento delle Carte di evoluzione della vegetazione è il trend della mediana di Theil-Sen, particolarmente idonea per il trattamento dei dati telerilevati

## SITO MONTEGROSSO-PALLARETA



Mapa di evoluzione/involuzione della vegetazione per il sito di Pallareta

## SITO AIA DEI MONACI



Mapa di Criticità ambientale per il sito Aia dei Monaci

In conclusione, le analisi condotte consentono, in maniera puntuale e significativa, l'individuazione dei trend nell'arco temporale prescelto e la misura della significatività delle tendenze (positive o negative) permettendo di ottenere mappe di evoluzione della vegetazione e delle criticità ambientali. La procedura, in definitiva, ha consentito di individuare la presenza o meno nel

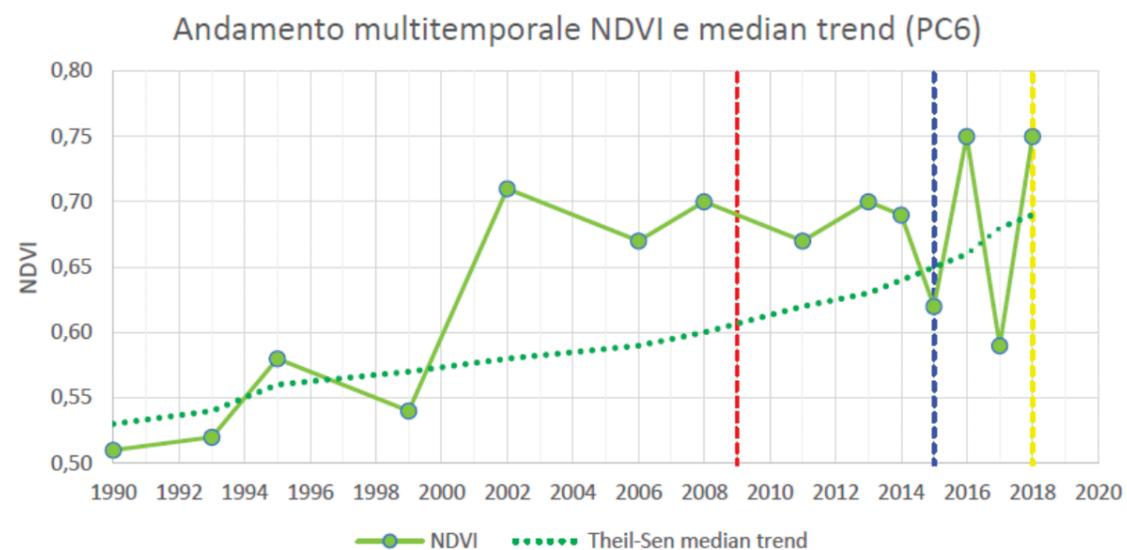
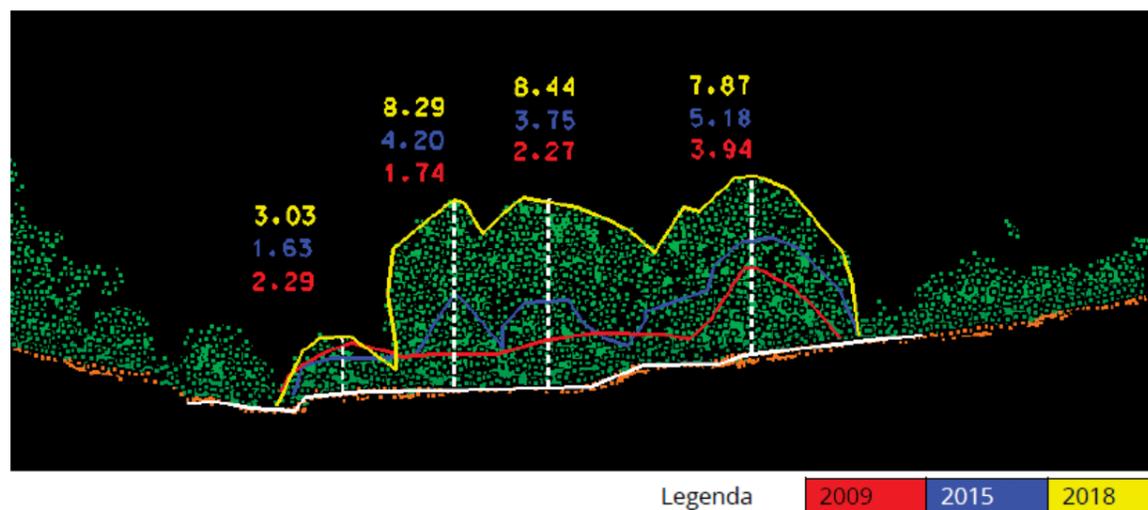
tempo di *stressor* correlati alle attività antropiche di smaltimento dei rifiuti che, in qualche modo, potessero aver influito sull'efficienza ecofisiologica della vegetazione e, dunque, sugli *stress* funzionali della stessa. La metodologia, applicata sui siti di indagine, ha portato ad escludere effetti negativi sulla vegetazione da potenziali concentrazioni di inquinanti. Inoltre, le aree di criticità ambientale sono

fortemente ridotte e comunque riconducibili a fattori esterni rispetto al possibile inquinamento dovuto alle pregresse attività di smaltimento dei rifiuti.

Per comprovare ulteriormente tali risultati, sono state condotte ulteriori indagini, da una parte utilizzando i dati LIDAR, dall'altra eseguendo un'analisi dendrocronologica sulla vegetazione arborea.

### Analisi multitemporale degli Indici di Vegetazione da dati satellitari e integrazione con i dati LIDAR

Per quanto riguarda i dati LIDAR, sono stati acquisiti dati storici delle aree di interesse (anni 2009 e 2015) e condotte nuove campagne di rilievo nel 2018 e 2019. L'analisi sui profili di accrescimento della vegetazione ha confermato gli andamenti dei trend di NDVI elaborati dai dati Landsat.

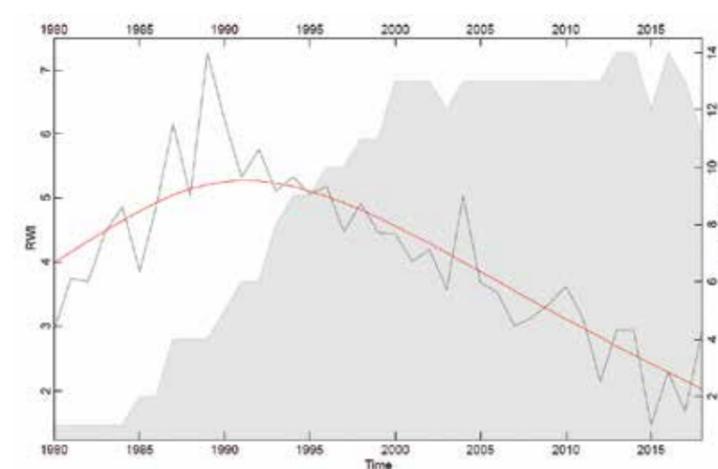


Esempio di profilo LIDAR e trend di NDVI



### Analisi dendrocronologica della vegetazione arborea per l'individuazione di eventuali stress ecofisiologici

L'analisi dendrocronologica, effettuata tramite prelievamento di carotine su elementi arborei presenti nelle aree di indagine, ha avuto lo scopo di verificare se la presenza di attività potenzialmente inquinanti possa aver influito sui normali ritmi di accrescimento delle piante. Infatti, eventuali anomalie sugli andamenti degli incrementi anulari potrebbero confermare, a parità di altre condizioni, l'esistenza o meno, durante il ciclo vitale delle piante, di effetti di riduzione dell'efficienza fisiologica in relazione agli effetti tossici o dannosi di sostanze inquinanti provenienti dai siti di indagine. L'analisi condotta ha confermato l'inesistenza di anomalie incrementali delle piante arboree presenti nelle vicinanze delle discariche oggetto di studio, in relazione ad andamenti valutati su nuclei di piante "testimoni".



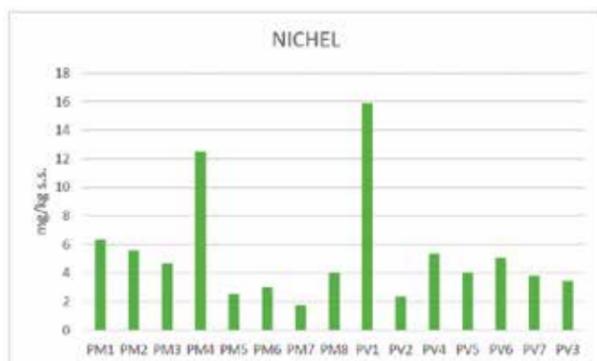
Curva media di accrescimento del Pino d'Aleppo nei pressi della discarica di Montegrosso-Pallareta

# METODOLOGIE PER IL RISANAMENTO AMBIENTALE

In relazione al fitorisanamento dei siti potenzialmente inquinati oggetto di studio, si è proceduto ad una preliminare individuazione degli analiti presenti nel suolo e nella vegetazione, delle aree di studio. In assenza di una robusta caratterizzazione degli inquinanti sulle matrici suolo e vegetazione, e considerando l'inaccessibilità dei siti, si è provveduto ad un campionamento delle aree circostanti allo scopo di verificare i potenziali livelli di inquinamento *ex-situ*.



Bubble plot del nichel nella matrice vegetale



Concentrazioni di nichel nella matrice vegetale

**Il fitorisanamento è una tecnica che sfrutta la capacità depurativa delle piante per la bonifica *in situ* di suoli, sedimenti ed acque contaminate**

## INDIVIDUAZIONE DEGLI ANALITI PRESENTI NEL SUOLO E NELLA VEGETAZIONE

### Individuazione di specie e tecniche di fitorisanamento

In relazione alle metodologie e tecniche di fitorisanamento, considerato che tutte le analisi condotte, sia indirette (elaborazione di immagini da satellite, dati LIDAR, analisi dendrocronologiche, ecc.) e sia dirette (campionamento e analisi di laboratorio della matrice vegetale e del terreno), non hanno individuato l'esistenza di situazioni di particolare rilevanza nelle aree di interesse (ad esclusione della matrice acque sotterranee, non oggetto del Progetto SIMBioSi), sono state realizzate le seguenti operazioni:

- approfondita analisi bibliografica scientifica delle specie arboree, arbustive ed erbacee, utilizzabili per il fitorisanamento di aree sottoposte ad attività antropiche simili a quelle delle aree di studio;
- selezione delle specie potenzialmente idonee rispetto agli elementi chimici (in particolare, metalli pesanti) riscontrabili in aree di discarica;
- individuazione, tra queste ultime, delle specie che presentano caratteri di autoecologia tali da poter essere utilizzate nelle condizioni stazionali dei siti di indagine.

## SPECIE ARBOREE POTENZIALMENTE IDONEE PER IL FITORISANAMENTO

NOME COMUNE	NOME SCIENTIFICO	ANALITI
Acero di monte	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Zn, Cd, Pb
Ontano nero	<i>Alnus glutinosa</i> L.	Zn, Cd, Pb, Cu
Ontano napoletano	<i>Alnus cordata</i> (Loisel.) Duby	Zn, Cd, Pb, Cu
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Contaminanti organici, Cd, Zn, Cu, Pb, As
Frassino maggiore	<i>Fraxinus excelsior</i> L. subsp. <i>excelsior</i>	Contaminanti organici, Cd, Pb, Zn, Cu
Pioppi	<i>Populus</i> spp.	Contaminanti organici
Robinia	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Metalli pesanti, contaminanti organici
Salici	<i>Salix</i> spp.	Contaminanti organici
Tamerici	<i>Tamarix</i> spp.	Contaminanti organici

## SPECIE ERBACEE POTENZIALMENTE IDONEE PER IL FITORISANAMENTO

NOME COMUNE	NOME SCIENTIFICO	ANALITI
Cappellini comuni	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Metalli pesanti, idrocarburi, As
Cappellini di Castiglia	<i>Agrostis castellana</i> Boiss. & Reut.	As, Pb, Mn, Zn, Cu, idrocarburi
Cappellini delle praterie	<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	Cu, Zn, Pb, As
Canna comune	<i>Arundo donax</i> L.	Cd, Ni, As, Pb, Zn, Nutrienti
Colza	<i>Brassica napus</i> L.	Metalli pesanti
Canapa comune	<i>Cannabis sativa</i> L.	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, cont. organici, radionuclidi
Gramigna rampicante	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Contaminanti organici, Cr, Pb, Zn, Cu
Festuca falascona	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Contaminanti organici, metalli pesanti
Festuca rossa	<i>Festuca rubra</i> L.	Contaminanti organici, Cd, Cu, Pb, Zn
Girasole	<i>Helianthus annuus</i> L.	Pb, Cd, Cr, Ni, Radionuclidi
Bambagione pubescente	<i>Holcus lanatus</i> L.	As, Pb, Zn, Cd
Lino comune	<i>Linum usitatissimum</i> L.	Cu, Cd, Pb
Erba medica	<i>Medicago sativa</i> L.	Contaminanti organici, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn
Scagliola palustre	<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Metalli pesanti, cont. organici, nutrienti
Scagliola comune	<i>Phalaris canariensis</i> L.	Diesel
Cannuccia di palude	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Metalli pesanti, cont. organici, nutrienti
Pteride a foglie lunghe	<i>Pteris vittata</i> L.	As
Granturco	<i>Zea mays</i> L.	Metalli pesanti, contaminanti organici

## Realizzazione degli impianti-pilota

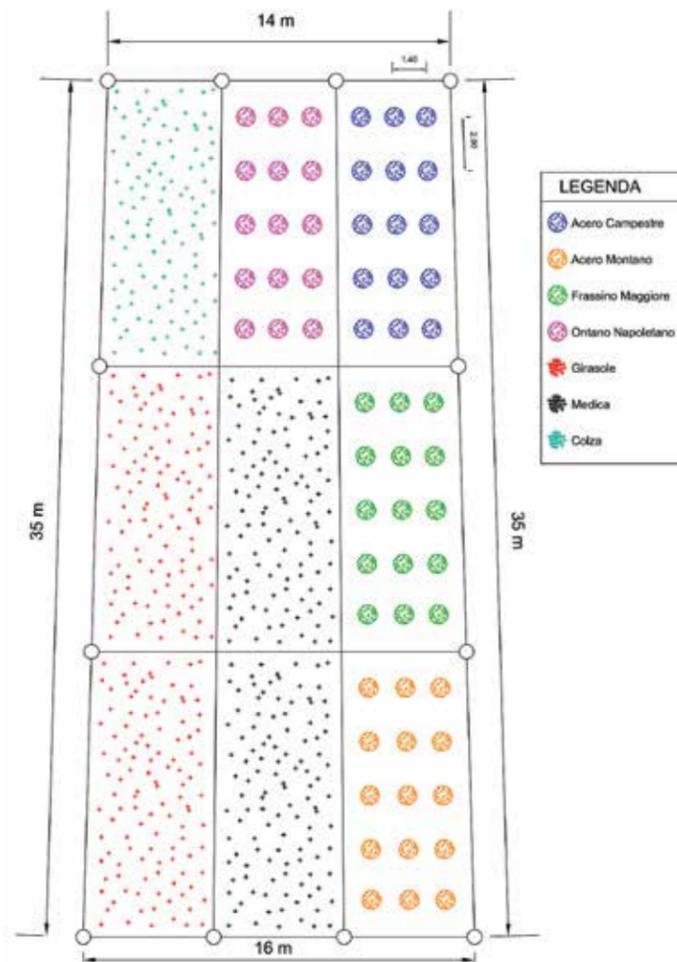
Identificate le specie erbacee ed arboree da utilizzare per la sperimentazione, si è proceduto quindi alla individuazione delle parcelle in cui realizzare gli impianti pilota. In particolare, per il sito della discarica di Montegrosso-Pallareta è stato possibile realizzare l'impianto direttamente al suo interno, in un'area compresa tra due vasche già sottoposte a procedura di *capping*. Per il sito Aia dei Monaci a Tito, invece, è stata individuata una parcella in prossimità dell'area stessa, data l'inaccessibilità dell'area di discarica. Questa scelta, anche se forzata da fattori esterni, ha consentito di operare una sperimentazione in condizioni differenziate, vale a dire *in situ* ed *ex situ*, allo scopo di verificare l'adattabilità delle specie selezionate in ambiti caratterizzati da potenziali differenti condizioni di concentrazione degli elementi inquinanti.

Allo scopo di verificare l'adattabilità delle specie selezionate per la sperimentazione a differenti condizioni micro-stazionali e/o di eventuale differenza di concentrazione degli inquinanti, il sesto di impianto e le specie utilizzate sono identiche per entrambi i siti.

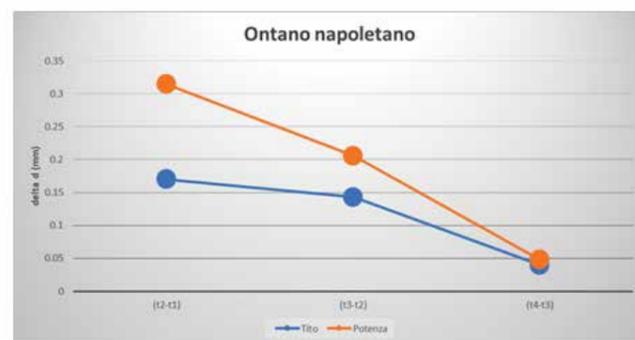
In particolare, le specie forestali impiantate nelle parcelle sperimentali sono: Acero campestre (*Acer campestre* L.), Acero montano (*Acer pseudoplatanus* L.), Frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.) e Ontano napoletano (*Alnus cordata* Loisel). Le specie erbacee, invece, sono: Colza (*Brassica napus* L.), Erba medica (*Medicago sativa* L.) e Girasole (*Helianthus annuus* L.).

Negli impianti si è proceduto, a partire dalla messa a dimora, e con cadenza mensile, alla valutazione di alcuni parametri relativi all'accrescimento, quali il diametro al colletto e l'altezza per le piante arboree. Invece, per le specie erbacee si è proceduto ad una stima della percentuale di germinazione e di ricoprimento dei *subplot*. Per le specie arboree, è stato inoltre considerato un indice di mortalità che esprime la percentuale di specie sopravvissute nel tempo dopo la messa a dimora.

Per verificare le *performance* delle specie nei due siti ed avere un confronto, è stata eseguita l'analisi della significatività della differenza tra medie, con il test t di Student, sui tassi di incremento di diametro ed altezza delle



Schema dell'impianto di Aia dei Monaci



Variazione degli incrementi di diametro, tra i due siti sperimentali, per alcune specie



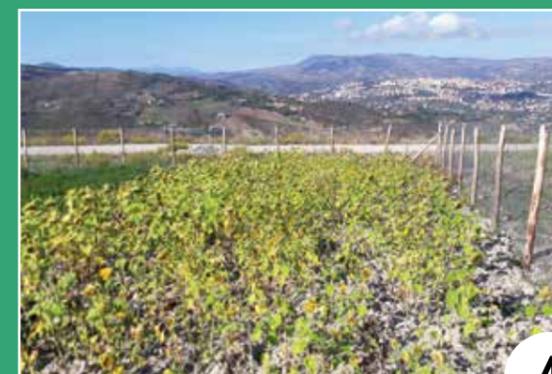
1



2



3



4

1 - 2 - 3 - 4

Impianto presso la discarica "Montegrosso-Pallareta"

piante arboree. Non si evidenziano, allo stato attuale, differenze significative nei tassi di incremento. Le specie erbacee hanno, invece, mostrato capacità di adattamento sufficientemente differenziate tra i due siti: il Girasole ha evidenziato buona capacità di attecchimento e sviluppo in entrambi i siti, mentre Colza ed Erba medica, allo stato attuale, anche in virtù del differente periodo di semina, sono risultati maggiormente idonee alle condizioni stazionali del sito di Potenza.



5



6



7

5 - 6 - 7

Impianto presso "Aia dei Monaci"

# WEBGIS



La piattaforma webGIS del progetto SIMBioSi è un geoportale basato su tecnologie e standard aperti, caratterizzato da un'interfaccia *user friendly* e un layout *responsive*, che consente la pubblicazione, la catalogazione, la visualizzazione, l'interrogazione degli strati informativi (*layer*) prodotti nell'ambito del progetto. Il webGIS è finalizzato essenzialmente alla gestione centralizzata dei principali dati georeferenziati acquisiti e/o prodotti durante le attività del progetto, alla possibilità di interazione in tempo reale e creazione di mappe tematiche risultanti. Il geoportale, *on line* da maggio 2019, è accessibile pubblicamente all'indirizzo [www.webgis-simbiosi.it](http://www.webgis-simbiosi.it) e sarà disponibile fino a 24 mesi dal termine del progetto.

Le principali mappe applicative implementate nel webGIS sono costituite da:

- **mappe sito-specifiche (menù Mappe)** relative ai campioni della matrice vegetale e del terreno prelevati nei pressi delle aree potenzialmente inquinate nel mese di novembre 2018, mediante le quali è possibile osservare dinamicamente la distribuzione degli analiti esaminati al variare dell'estensione spaziale della mappa tramite appositi *widget* grafici (mappa 1);

- **mappe di analisi relative all'intera area di studio (menù Mappe di analisi)**, comprendenti:

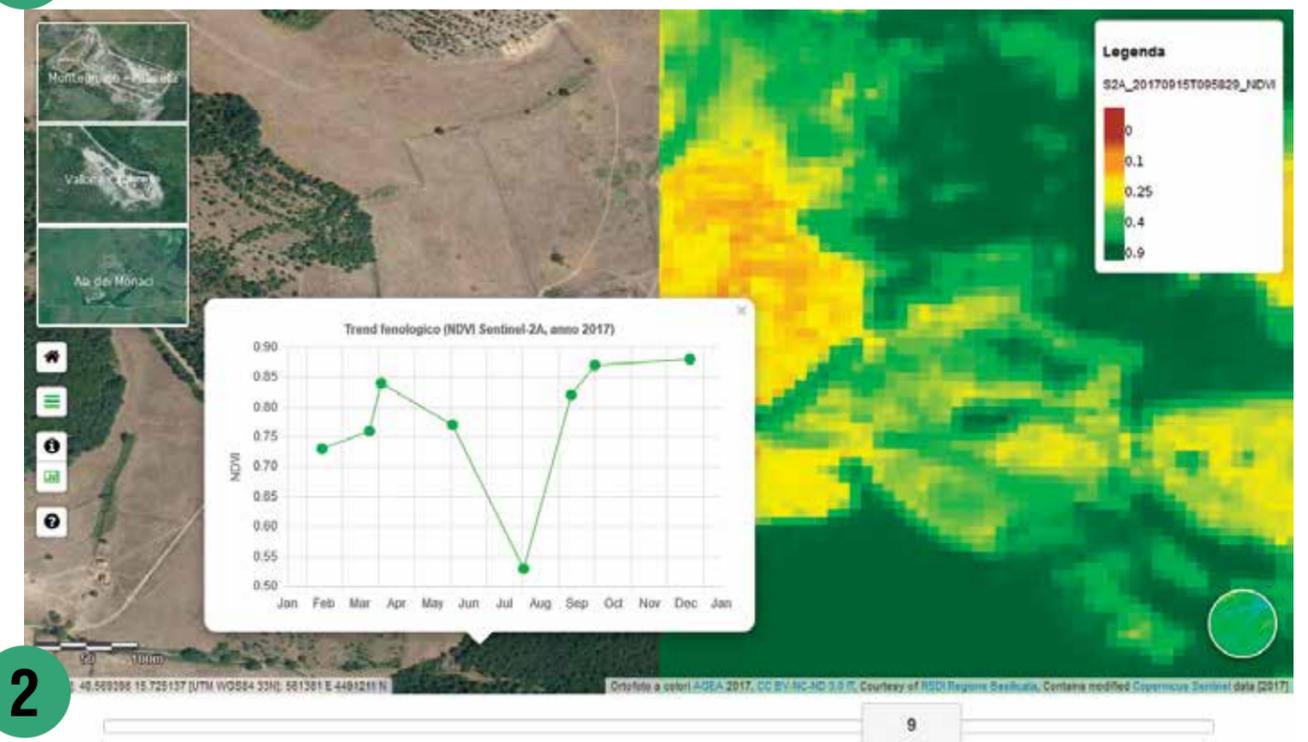
- il *trend* fenologico della vegetazione;
- il *trend* multi-temporale degli indici di vegetazione NDVI e NDWI e della tem-

- peratura superficiale del terreno (LST);
- il *trend* della mediana di Theil-Sen di NDVI, NDWI e LST;
- la mappa di evoluzione/involuzione della vegetazione;
- la mappa di criticità ambientale.

In particolare, la mappa di analisi 2) è a scala annuale ed è basata sull'elaborazione di dati satellitari Sentinel-2A (anno 2017), mentre le rimanenti, di tipo multi-temporale, sono basate su immagini satellitari Landsat 5 e 8 (anni 1990-2018) opportunamente elaborate.

Le peculiarità principali delle mappe 2) e 3) sono rappresentate, da un lato, dalla possibilità di consultare i *layer* (ortofoto, indici di vegetazione, ecc.) in base:

- alla loro collocazione temporale, azionando un apposito controllo (*slider*)



1 Mappa "Montegrosso-Pallareta" 2 Aia dei Monaci: trend fenologico (anno 2017)

posto inferiormente alla mappa, il cui valore rappresenta il mese o l'anno a seconda della mappa;

- alla loro collocazione spaziale operando su un intuitivo "divisorio" di mappa

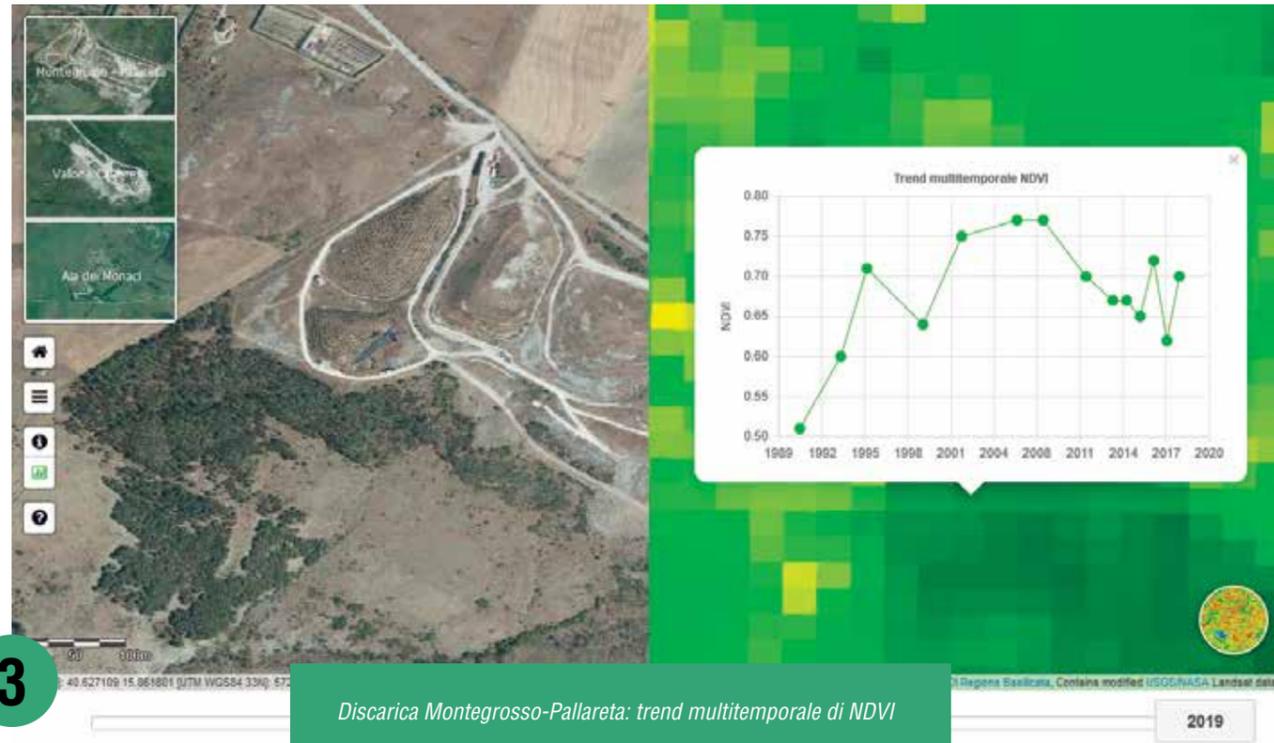
che consente un agevole confronto tra due *layer* in tempo reale. D'altro canto, è possibile interrogare non solo i valori del singolo *layer* in forma puntuale (ovvero in una specifica posi-

zione spaziale a parità di data di acquisizione dell'immagine satellitare da cui il *layer* stesso è stato derivato), ma addirittura dell'intera *time series* dello stesso *layer* (NDVI, NDWI o LST) nel periodo di

osservazione considerato (1990-2018), generando dinamicamente in tempo reale un grafico che rappresenta il *trend* temporale della variabile considerata.

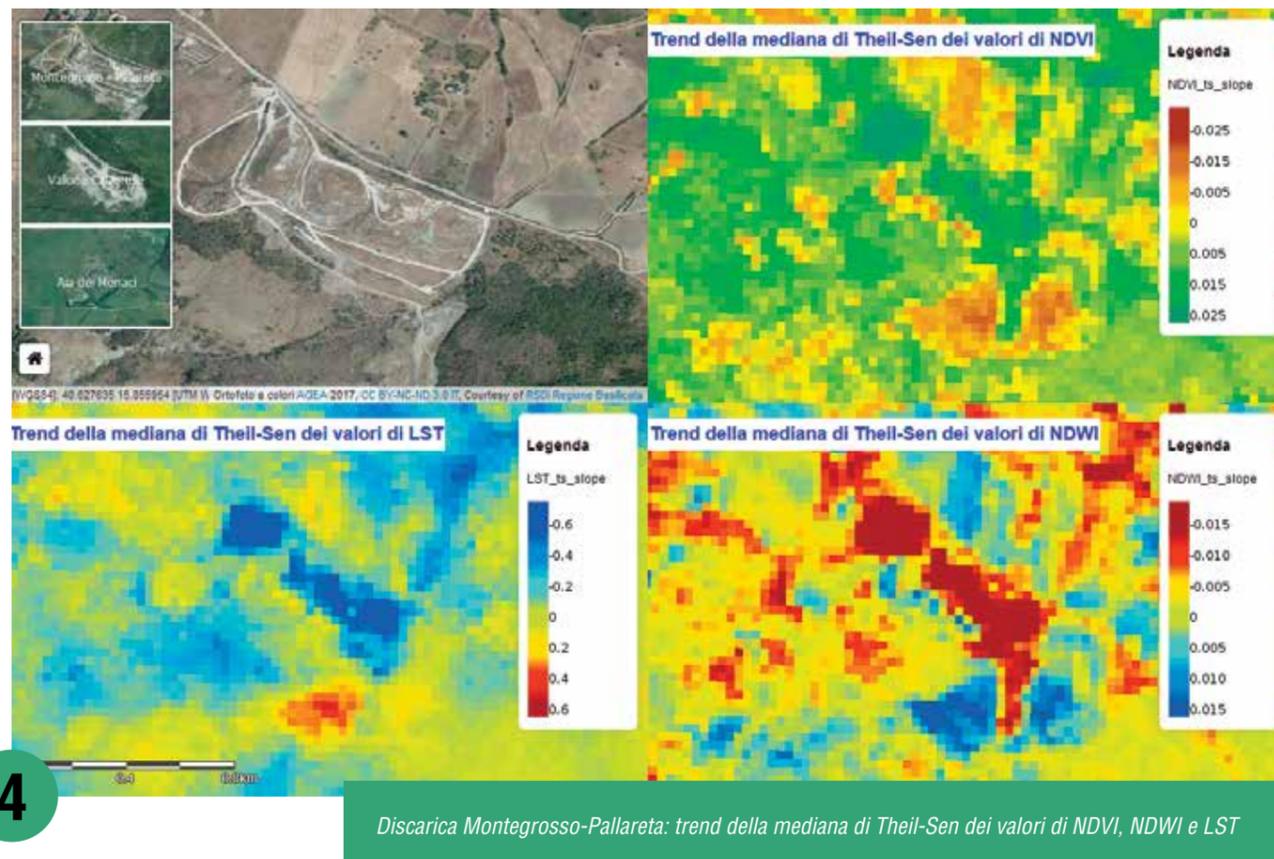
Le mappe 4), 5) e 6) condividono invece un differente approccio, basato sul confronto in tempo reale di più *layer* "sincronizzati" in relazione alla stessa

estensione spaziale, ovvero si tratta di mappe cosiddette "multi-finestra" o "multi-vista".



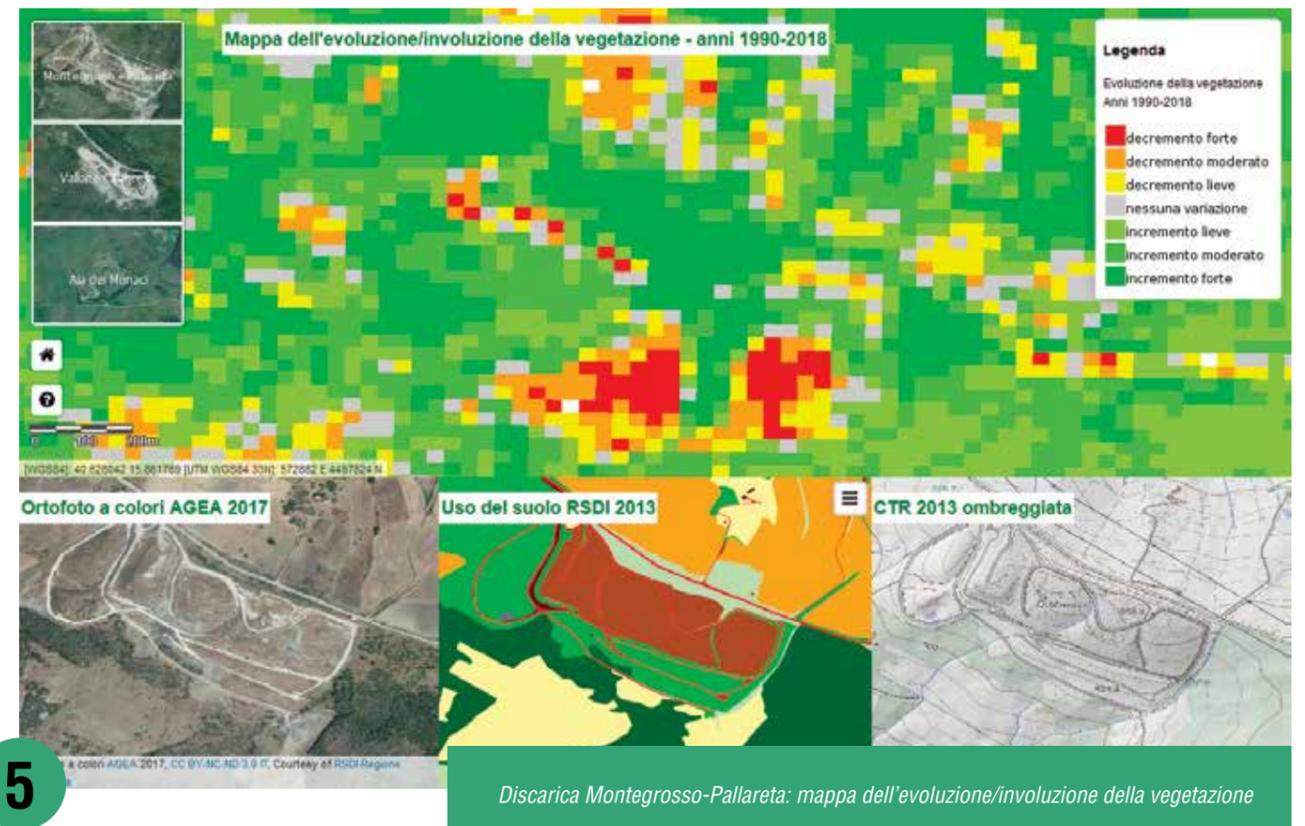
3

Discarica Montegrosso-Pallareta: trend multitemporale di NDVI



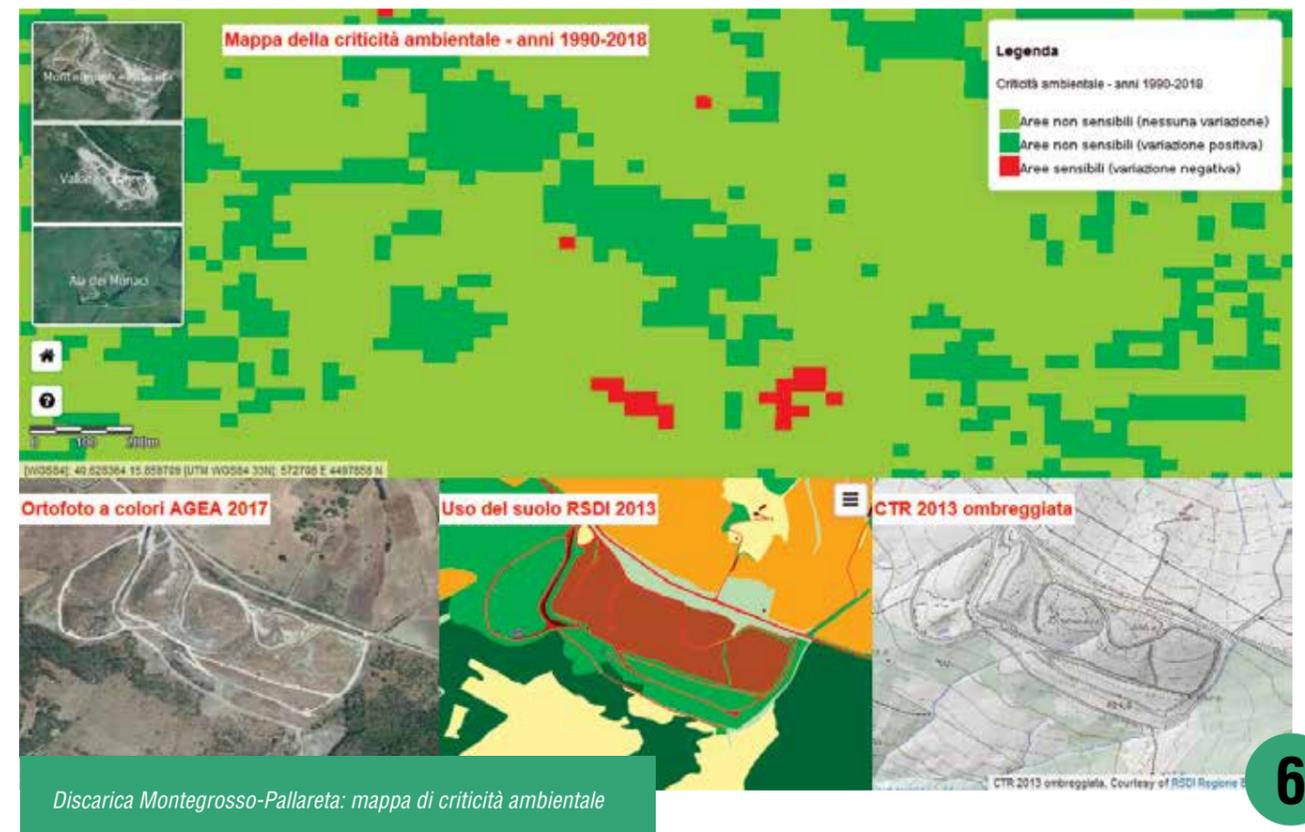
4

Discarica Montegrosso-Pallareta: trend della mediana di Theil-Sen dei valori di NDVI, NDWI e LST



5

Discarica Montegrosso-Pallareta: mappa dell'evoluzione/involuzione della vegetazione



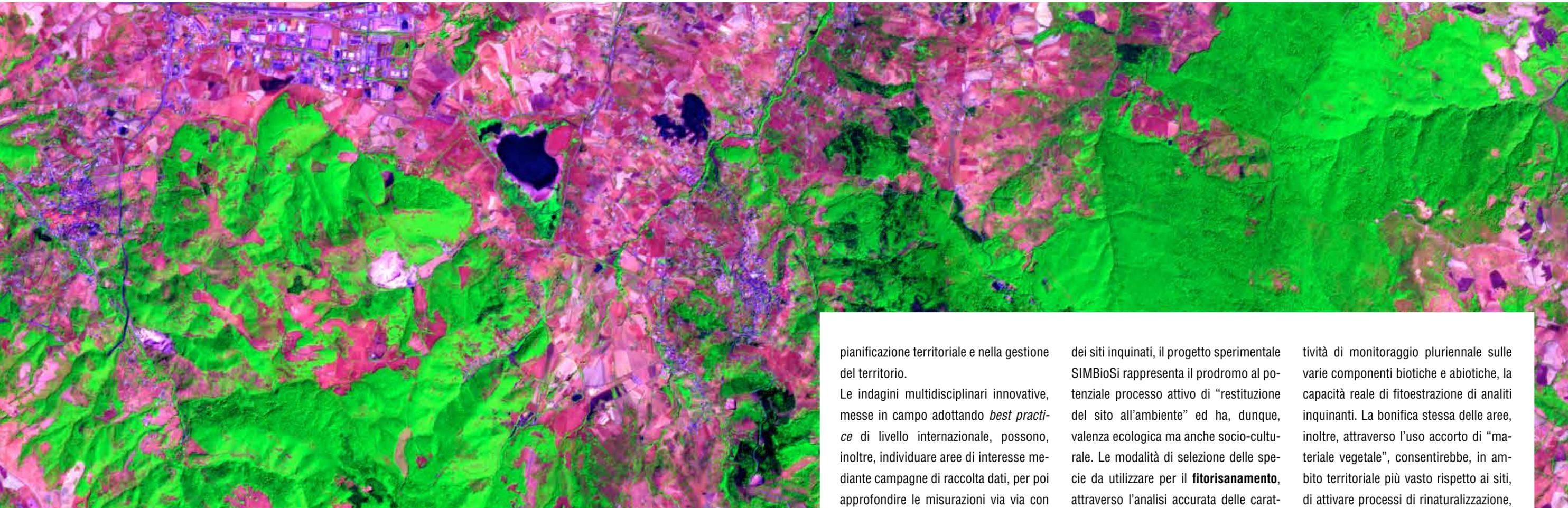
6

Le mappe e i relativi strumenti implementati nel progetto SIMBioSi possono rappresentare un utilissimo e valido supporto a servizio sia di operatori spe-

cializzati nelle Scienze di Osservazione della Terra, sia di *stakeholder* e *policy maker*, rispetto al tema del monitoraggio ambientale di attività antropiche poten-

zialmente impattanti sull'ambiente e il paesaggio, quali discariche, inceneritori, attività estrattive, attività a rischio di incidente rilevante, ecc.

# CONCLUSIONI



Il progetto SIMBioSi nasce nell'ottica di sviluppare ed implementare metodologie innovative, a basso costo ed impatto, per l'analisi ed il monitoraggio ambientale e territoriale, in grado di poter individuare l'effetto di una potenziale contaminazione delle matrici ambientali, riconducibili ad attività antropiche complesse.

La procedura integrata di analisi implementata nel progetto SIMBioSi per il monitoraggio ambientale di alcuni siti adibiti allo smaltimento dei rifiuti, allo scopo di verificare gli impatti delle attività antropiche sulla vegetazione e l'ambiente, ha caratteristiche generalizzabili ed esportabili in altri ambiti territoriali e per altre attività.

Dunque, da un lato, la metodologia *low*

*cost* adottata in SIMBioSi potrebbe essere estesa all'intero territorio della Regione Basilicata senza particolari oneri aggiuntivi (escludendo la maggior mole di dati da gestire), in quanto non risente di un effetto scala (il costo marginale si riduce all'aumentare dell'area geografica considerata) e, a regime, necessita essenzialmente dell'acquisizione e elaborazione di nuovi dati satellitari *open data* al fine di accrescere il numero di osservazioni e conseguentemente aggiornare le *time series* da analizzare, aggiornando così le carte di evoluzione ecofisiologica della vegetazione e delle criticità ambientali che ne scaturiscono grazie al *workflow* implementato.

Dall'altro, i settori di applicazione sono

piuttosto variegati e trasversali rispetto ai principali assi delle politiche regionali di governo e gestione del territorio (ambiente, infrastrutture e energia): si va dal settore dei rifiuti (discariche e inceneritori) a quello dell'estrazione di idrocarburi, dagli incendi boschivi al dissesto idrogeologico, dal consumo del suolo al rischio di desertificazione. In ogni caso, il potenziale impatto sugli ecosistemi naturali e il paesaggio, prodotto da una qualsivoglia attività antropica, potrebbe essere monitorato frequentemente nel tempo, man mano che si aggiungono nuove acquisizioni di dati, restituendo utilissime informazioni sulle perturbazioni ambientali indotte dall'azione antropica a supporto del decisore politico nella

pianificazione territoriale e nella gestione del territorio.

Le indagini multidisciplinari innovative, messe in campo adottando *best practice* di livello internazionale, possono, inoltre, individuare aree di interesse mediante campagne di raccolta dati, per poi approfondire le misurazioni via via con sempre maggiore dettaglio. Tale approccio integrato potrebbe essere esteso non solo alle aree considerate sensibili dal punto di vista ambientale, ma addirittura, anche in questo caso, all'intero territorio regionale, in modo da verificare la presenza di contaminazioni e caratterizzare il territorio dal punto di vista radiometrico in modalità speditiva.

Il risultato generale ottenuto, data la modularità delle attività e la graduabilità spaziale, nonché la disponibilità di serie storiche di dati satellitari alle diverse risoluzioni, ha lodevoli possibilità di esportabilità in ambiti e settori diversi che possono vedere la componente vegetale quale attivo e significativo indicatore di qualità ambientale e paesaggistica. Per quanto attiene alla bonifica

dei siti inquinati, il progetto sperimentale SIMBioSi rappresenta il prodromo al potenziale processo attivo di "restituzione del sito all'ambiente" ed ha, dunque, valenza ecologica ma anche socio-culturale. Le modalità di selezione delle specie da utilizzare per il **fitorisanamento**, attraverso l'analisi accurata delle caratteristiche ambientali dei siti e dell'autoecologia delle specie, rappresenta un approccio metodologico che è possibile implementare in altri ambiti territoriali. I primi risultati ottenuti dagli impianti sperimentali, infatti, suggeriscono che, in termini di capacità di adattamento delle specie erbacee ed arboree, la procedura individuata è in grado di fornire risultati efficaci in termini di incremento della biomassa vegetale e, dunque, di potenziale capacità di sottrarre al sistema sostanze inquinanti. Gli sviluppi successivi potrebbero essere relativi all'applicazione delle tecniche di fitodepurazione in altri siti ove le concentrazioni degli inquinanti risultino considerevolmente oltre la soglia di rischio, in maniera tale da verificare, attraverso un'intensa at-

tività di monitoraggio pluriennale sulle varie componenti biotiche e abiotiche, la capacità reale di fitoestrazione di analiti inquinanti. La bonifica stessa delle aree, inoltre, attraverso l'uso accorto di "materiale vegetale", consentirebbe, in ambito territoriale più vasto rispetto ai siti, di attivare processi di rinaturalizzazione, in maniera tale da innalzare il livello della qualità ambientale, garantendo una struttura paesaggistica che sia in grado di ripristinare le funzioni ecosistemiche, creando una vera e propria rete ecologica e limitando così gli effetti negativi della frammentazione che le discariche hanno rappresentato. Il passaggio, dunque, da un ambito ristretto di sperimentazione all'intera area di discarica dismessa può diventare un'occasione di recupero ambientale dei territori in funzione di un utilizzo socio-culturale di lungo periodo. Tale auspicabile processo richiede una convergenza sinergica di indirizzo politico, di progettazione tecnico-scientifica e di connessione con il mondo della formazione e dei processi di diffusione culturale.

# SVILUPPI FUTURI

In una prima analisi di affinità, la metodologia di monitoraggio ambientale e le procedure di selezione delle tecniche di fitorisanamento potrebbero essere applicate nei seguenti ambiti:

**Monitoraggio in aree ove sono presenti altri siti di discarica in ambito regionale** allo scopo di constatare se si sono verificati nel passato o sussistono all'attualità *stress* ambientali a seguito delle attività di smaltimento dei rifiuti.

**Analisi dei trend spatio-temporali della evoluzione ecofisiologica della vegetazione**, in aree della Regione Basilicata, individuate come "Siti segnalati come contaminati" o per la verifica della efficienza delle azioni messe in atto per la bonifica in aree individuate come "Siti bonificati".

**Individuazione degli stress vegetazionali, in ambito regionale, in conseguenza dei Cambiamenti Climatici**, anche allo scopo di fornire al decisore strumenti per mettere in atto politiche territoriali di contrasto degli effetti negativi del *Global Change*.

**Applicazione della metodologia nelle aree di estrazione petrolifera**, attività molto presente nel territorio regionale e ad elevato impatto ambientale. È possibile applicare l'analisi sia su aree di estrazione "storica" verificando come, tramite *time series*, le attività di estrazione abbiano potuto incidere sugli equilibri funzionali della vegetazione in area vasta, sia sui nuovi impianti di attività mineraria, partendo dunque da un "anno zero" e verificando i *trend* di efficienza ecofisiologica della vegetazione pre e post-impianto.

**Verifica della capacità di resilienza dei popolamenti forestali in conseguenza del passaggio del fuoco**. Il problema, particolarmente presente nelle aree del bacino del Mediterraneo e in molti ambiti della Regione Basilicata, necessita di un particolare approfondimento della capacità naturale di *recovery* delle aree percorse da incendio. Il metodo messo a punto in SIMBioSi è in grado di individuare le aree percorse da fuoco e, soprattutto, di verificare la capacità di resilienza delle stesse, vale a dire i tempi e le modalità di recupero naturale in funzione delle caratteristiche fisionomico-strutturali della vegetazione.

**Monitoraggio della funzionalità degli Habitat**. La regione Basilicata ha una capillare diffusione delle aree Rete Natura 2000

(aree SIC e ZPS) con la presenza di Habitat comunitari anche di notevole pregio. La procedura messa a punto in questo studio può applicarsi a queste aree, sia per l'individuazione di eventuali *stressor* che influiscono negativamente sulla vegetazione, sia per la verifica dell'efficienza delle Misure di conservazione o dei Piani di gestione relativi a queste aree.

**Individuazione, quantificazione e analisi dei pattern temporali di consumo del suolo**, vale a dire di espansione di aree urbanizzate (centri urbani, poli industriali, infrastrutture, ecc.). Pur avendo la Regione Basilicata percentuali di aree di questo tipo ridotte rispetto ad altre regioni, negli ultimi anni i tassi di incremento sono simili, se non addirittura superiori, ad altre regioni particolarmente urbanizzate. La questione è di peculiare interesse soprattutto per i problemi di impermeabilizzazione che alterano il ciclo dell'acqua in relazione, in particolare, ad eventi meteorologici estremi.

**Verifica e monitoraggio di alterazioni/danni alla vegetazione in conseguenza della realizzazione di grandi opere o attività a rischio di incidente rilevante** che possano contaminare le falde acquifere o immettere nell'aria particolati in grado di provocare stress vegetazionali.

**Monitoraggio di aree regionali particolarmente sensibili, in relazione soprattutto al rischio di desertificazione**. La procedura utilizzata in SIMBioSi è applicabile a aree ESA (*Environmental Sensitive Areas*) allo scopo di verificare le tendenze evolutive della vegetazione in aree sensibili anche con l'obiettivo di individuare misure di contrasto alla progressiva perdita di funzionalità ecosistemica di queste aree.

**Diagnostica ambientale che consenta di riferire sullo stato di salute del territorio**, con l'obiettivo di fornire un *early warning* in caso di emergenza ambientale.

**Applicazione della procedura, utilizzata in SIMBioSi, a scopo di fitorisanamento in altri ambiti territoriali di conclamato inquinamento**. L'approccio utilizzato consiste nella caratterizzazione degli analiti presenti nell'area di indagine, nella selezione delle specie idonee per la fitoestrazione degli elementi rilevati, nella definizione dei fattori ecologici delle aree e nell'approfondimento accurato dell'autoecologia delle specie a capacità fitodepurativa. Questo modello concettuale consente l'individuazione

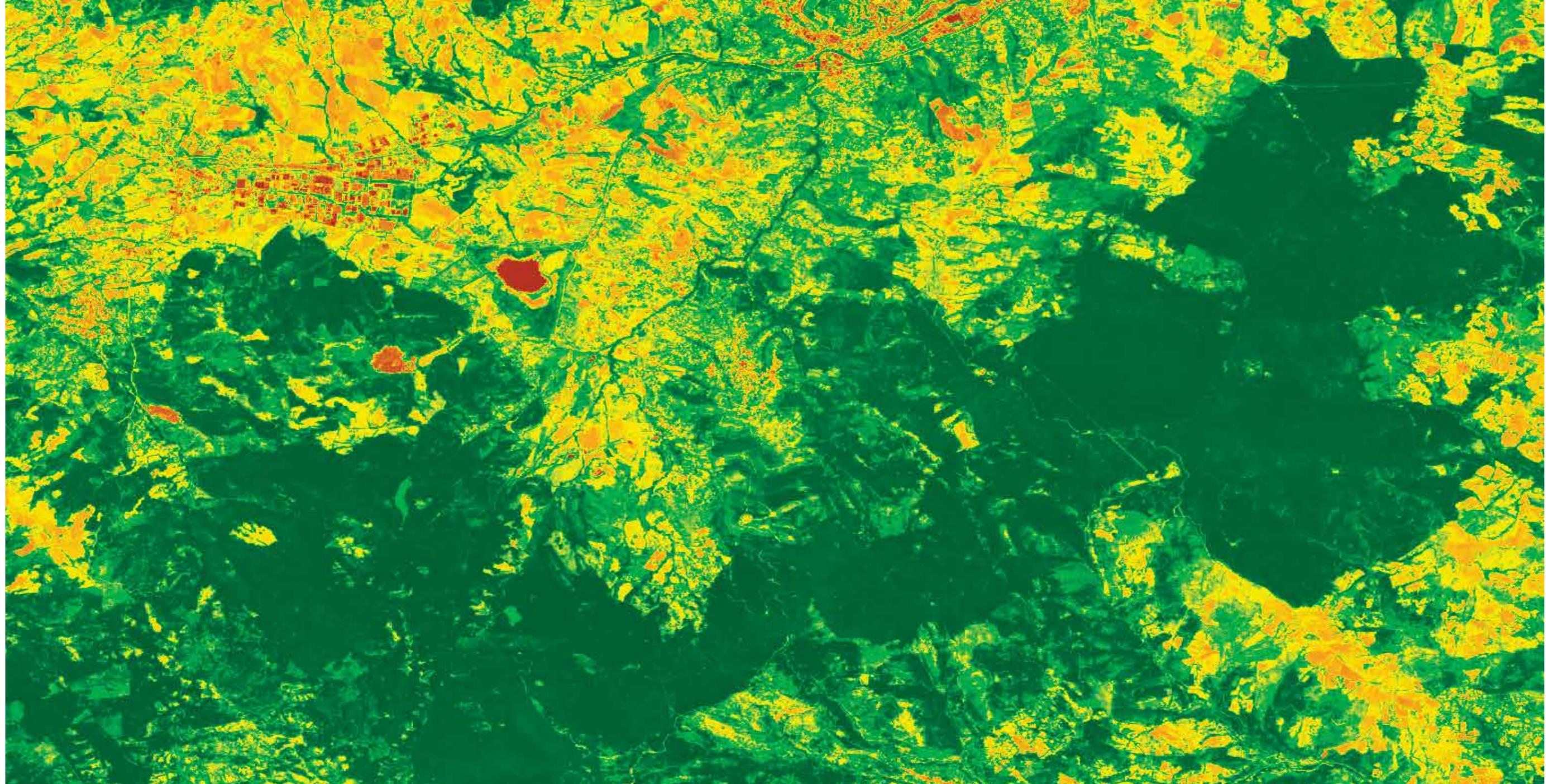
ottimale, sito-specifico, delle specie vegetali *best performance*.

**Individuazione di un possibile recupero funzionale delle aree a discarica, dismesse e bonificate**. La valutazione del *trend* storico della qualità vegetazionale, e quindi ambientale e paesaggistica, può dare utili indicazioni circa la resilienza degli

ecosistemi naturali e la capacità di ripresa a valle di eventi di *stress* indotti dalle attività di coltivazione e gestione del sito di discarica, dando la misura di un possibile recupero e di un reale restauro funzionale del sito per usi coerenti con la vocazione dei territori circostanti, fino a divenire possibili aree ludico ricreative a beneficio delle comunità locali.



**“Minimizzare i carichi inquinanti nei suoli, nei corpi idrici e nelle falde acquifere, tenendo in considerazione i livelli di buono stato ecologico dei sistemi naturali” (Obiettivo II.3 della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile)**



SVILUPPO DI MODELLI ED INDICATORI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE  
ED IL BIO-FITO-RISANAMENTO DI SITI CONTAMINATI



Comune di Potenza



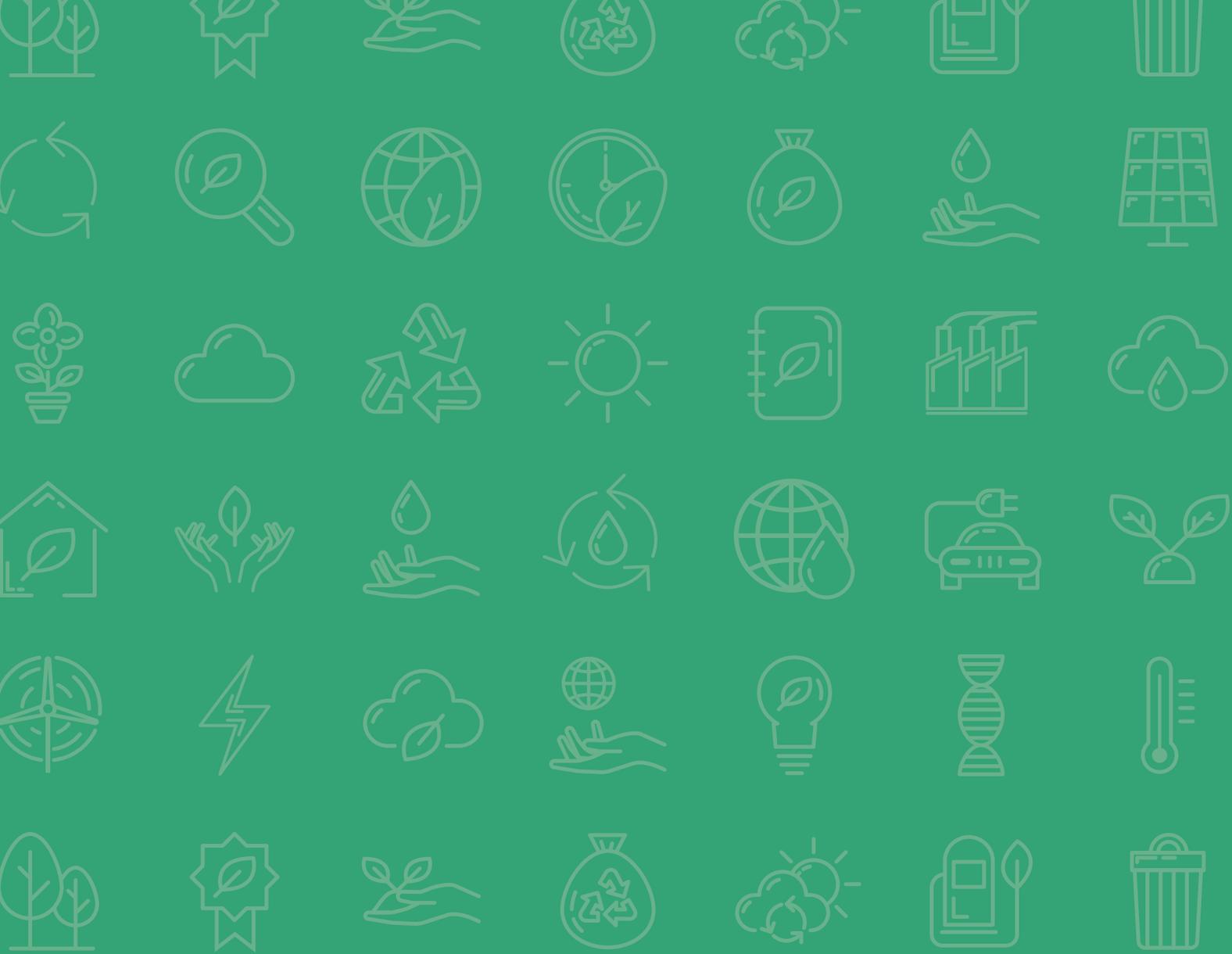
Comune di Tito





Tutti i materiali informativi e divulgativi prodotti nell'ambito del progetto SIMBioSi sono stati realizzati utilizzando carta e/o materiali riciclati

La presente pubblicazione è stata stampata su carta riciclata ottenuta con l'utilizzo del 50% di fibre di riciclo conformi alla direttiva FSC-DIR-40-004 EN1 e il 50% di pura cellulosa certificata FSC®



# SIMBIOSI

Contatti:

**Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo**

Via Francesco Baracca, 175 | 85100 Potenza

[info@cgiam.org](mailto:info@cgiam.org)

[www.cgiam.org](http://www.cgiam.org)

Referenti di progetto:

**Giuseppe Mancino** | [g.mancino@cgiam.org](mailto:g.mancino@cgiam.org)

**Maria Lucia Trivigno** | [l.trivigno@cgiam.org](mailto:l.trivigno@cgiam.org)

[www.webgis-simbiosi.it](http://www.webgis-simbiosi.it)

Concept e elaborazione grafica:

IDmakers