



Valutazione del degrado del suolo tramite telerilevamento

Tecniche e applicazioni avanzate

Nada Mzid
Dipartimento di Agraria - UNINA



Land & Soil Degradation

- Il degrado del suolo è una delle **principali sfide** nelle aree rurali a **livello globale**.
- È causato da una combinazione di **fattori biofisici** e **pratiche gestionali non sostenibili**, che spesso comportano modifiche irreversibili della superficie terrestre.
- Tali processi **si manifestano su scale spaziali variabili**, dal **livello locale a quello globale**.





Land & Soil Degradation

- **Erosione del suolo, diminuzione della sostanza organica, perdita di biodiversità, contaminazione, impermeabilizzazione, compattazione, salinizzazione, frane e cambiamenti climatici** sono solo alcune delle **minacce al suolo** riconducibili al problema complesso del degrado del suolo, come **identificato dall'Parlamento Europeo (2006)**.
- È stato riconosciuto a livello internazionale con la **Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD)** nel 1994.
- È integrato negli **obiettivi di Sviluppo Sostenibile**, in particolare nel concetto di **Neutralità del Degrado del Suolo (Land Degradation Neutrality - LDN)**.

Land & Soil Degradation



- A partire da questo principio, è stato definito un **obiettivo specifico** per affrontare il problema su scala globale.
- L'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile (SDG) **15.3**, mira a **porre fine alla desertificazione** e a **ripristinare le terre degradate**.
- L'Italia ha l'obbligo (come tutti i Paesi firmatari degli SDG) di **quantificare** ogni quattro anni l'indicatore **SDG 15.3.1** a livello nazionale, ovvero la "proporzione di superficie terrestre degradata sul totale della superficie terrestre".



Indicator 15.3.1
Proportion of land that is degraded over total land area

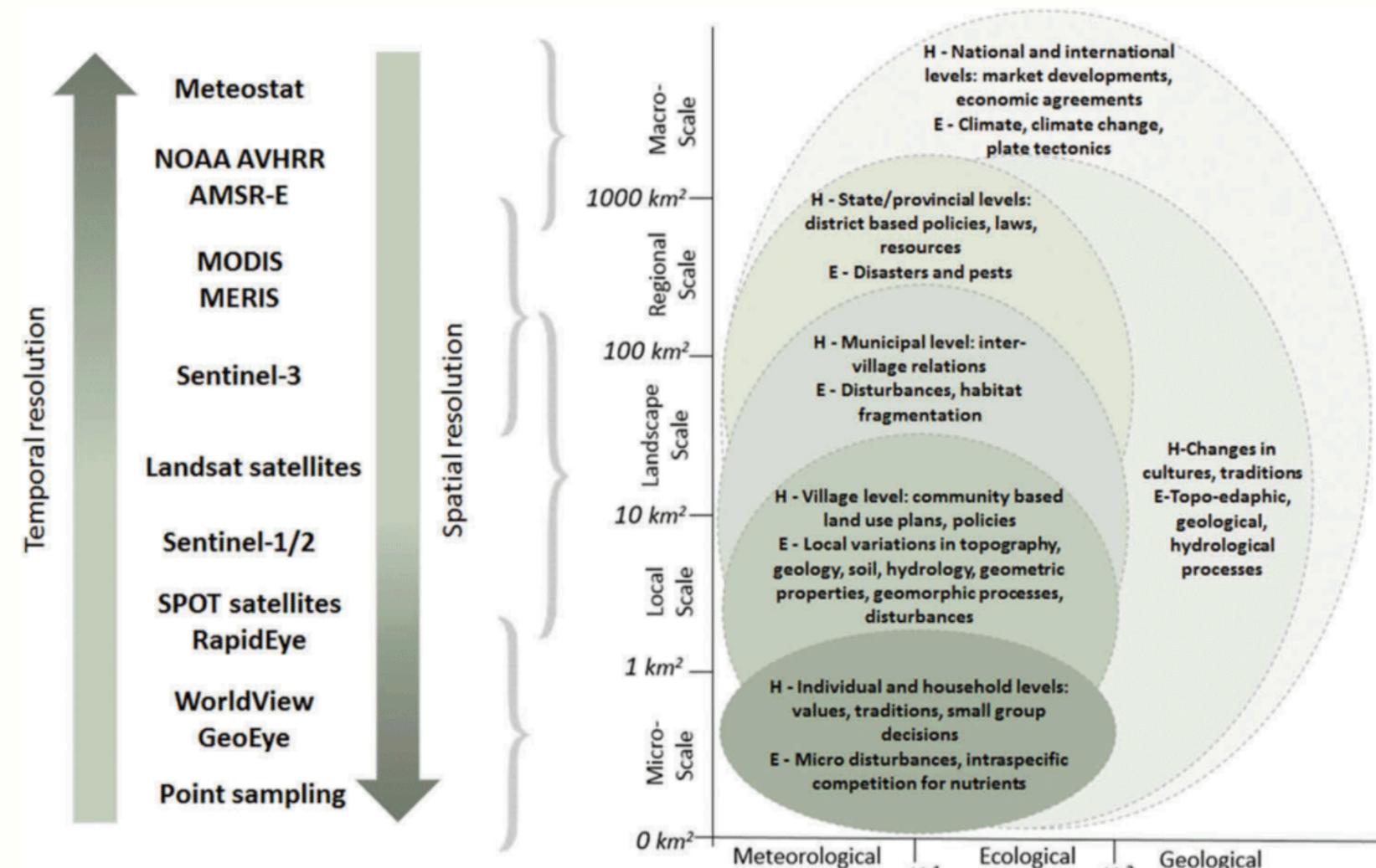
Valutare l'estensione dei processi di LD



Il degrado del suolo si manifesta **su scale diverse**, sia **spaziali** che **temporali**.

Questo diagramma presenta una panoramica delle **fonti satellitari a diversi livelli di risoluzione** e del loro rapporto con i **processi umani e ambientali del degrado del suolo**.

Per una **valutazione** efficace del **degrado del suolo**, è necessario armonizzare la **scelta dei dati di telerilevamento** con la **scala dei processi umani e ambientali** oggetto di studio.



Valutare l'estensione dei processi di LD

Le grandi problematiche legate al **degrado del suolo** richiedono un **approccio** su **più livelli di scala**, in particolare **macro** e **micro**, che affronteremo direttamente nel presente lavoro.

In questa presentazione, desidero condividere con voi il lavoro che ho svolto su due differenti scale:

La scala macro

➤ Confronteremo l'approccio **SDG 15.3.1** proposto dall'**UNCCD** con i **nuovi metodi suggeriti**.

La scala micro

➤ illustreremo l'impiego della **spettroscopia medio-infrarossa** per il monitoraggio della **salute del suolo**.

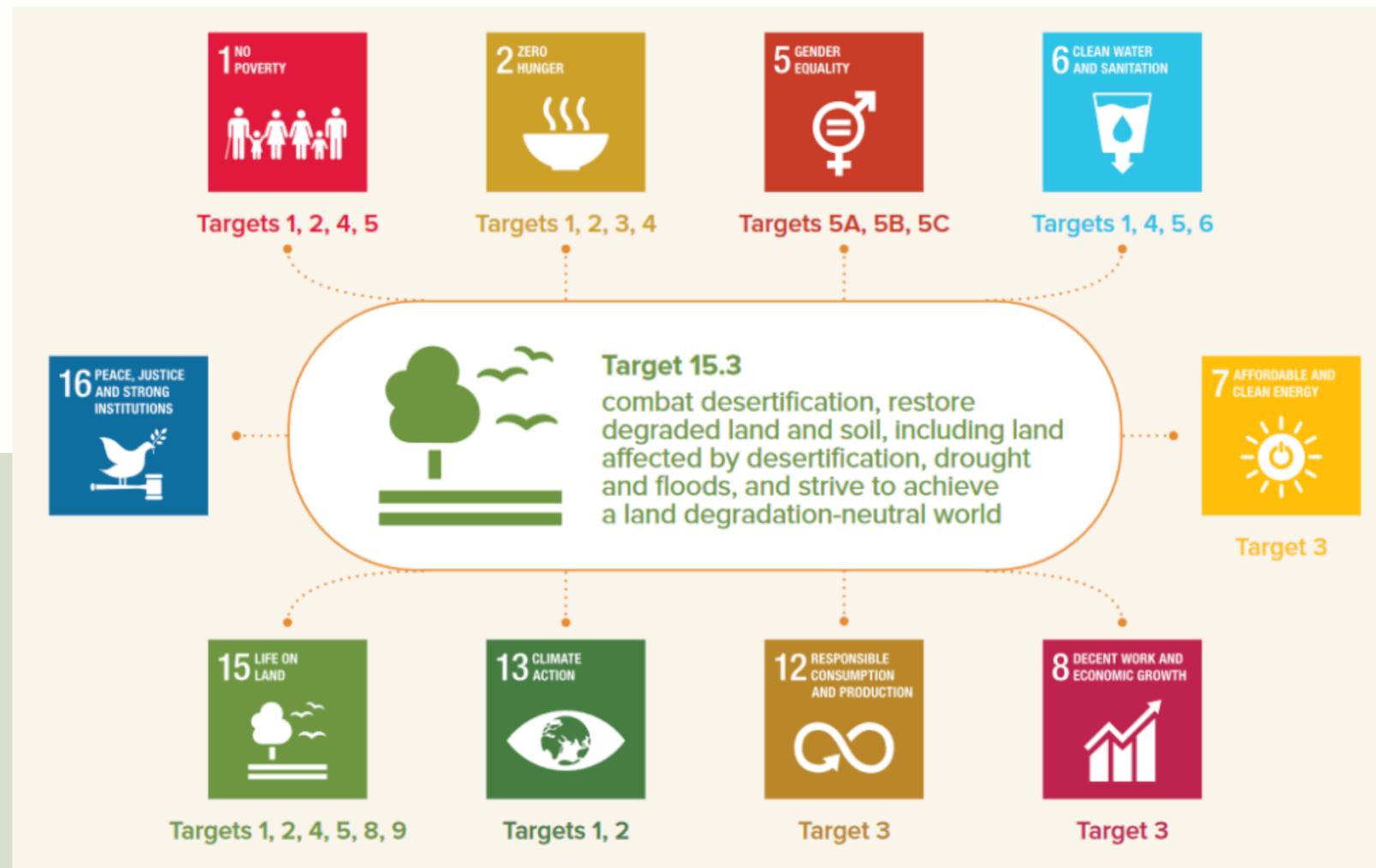


TELERILEVAMENTO & LD

La scala macro



SDG 15.3 - Neutralità del degrado del suolo



Le Nazioni Unite (UNCCD) hanno sviluppato una procedura standardizzata basata sul telerilevamento per calcolare l'indicatore SDG15.3.

- Mantenere o migliorare la fornitura sostenibile dei servizi ecosistemici.
- Mantenere o migliorare la produttività, al fine di rafforzare la sicurezza alimentare.
- Aumentare la resilienza del suolo e delle popolazioni dipendenti dal suolo.
- Cercare strategie che rispondano anche ad altri obiettivi sociali, economici e ambientali.
- Rafforzare una governance responsabile e inclusiva del territorio.

Indicatore SDG 15.3.1

Framework for Monitoring and Reporting on SDG Target 15.3

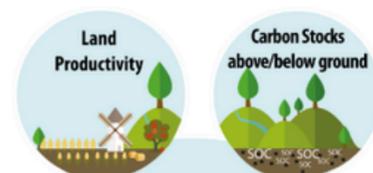
Land Productivity refers to the biological productive capacity of the land, the source of all the food, fiber, and fuel that sustains humans. Land productivity can be calculated across large areas from Earth observation data on net primary productivity (NPP). Estimates of NPP, using vegetation indices, are influenced in the short-term by crop phenology, rainfall, nutrient fertilization and other variables which must be corrected for to accurately interpret trends. National authorities are best able to determine whether declining levels of land productivity are considered land degradation by taking into account local circumstances.

National Data is envisaged to be primarily used, to the greatest extent possible, to derive the sub-indicators and other relevant indicators and information at the country level, covering bio-physical, governance and socio-economic conditions as well as the status of land resources. National Data can be collected through existing sources (maps, databases, reports), including participatory inventories on existing land management systems and their characteristics

Indicator 15.3.1
Proportion of land that is degraded over total land area



Sub-Indicators
UNCCD (CBD, UNFCCC)
Reporting Mechanisms



Data from multiple sources
FAO, GEF and other
Reporting Mechanisms

Official Statistics and Earth Observation



Land Use and Management Practices



Surveys, Sampling and Citizen Sourcing



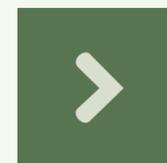
Carbon Stocks (Above and Below Ground) give an indication of the amount of carbon in living and decomposing biomass above and below ground, including soil organic carbon. Carbon stocks are elementary to a wide range of ecosystem services and reflect land use and management practices. These stocks, including for soil organic carbon, can be estimated by applying carbon density values from ground-based measurements or national inventories in conjunction with land cover maps derived from Earth observation data. National authorities are best able to estimate trends in carbon stocks that indicate land degradation by taking into account local circumstances.

Land Cover and Land Cover Change, most often derived from Earth observation, is a fundamental parameter that assists with the interpretation and stratification of the other two sub-indicators. It is also essential for monitoring and reporting on multiple SDG targets focused on natural resource management, food and water security, environmental health and rural/urban planning for sustainable development. For global comparisons, countries are encouraged to use standardized land cover classification systems. National authorities are best able to determine whether land cover change is considered land degradation by taking into account local circumstances.

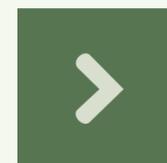
Come richiesto dalla Commissione Europea, la metodologia di calcolo dell'indicatore SDG 15.3.1 è strutturata su tre sottocomponenti chiave:



Cambiamenti della Copertura del suolo.

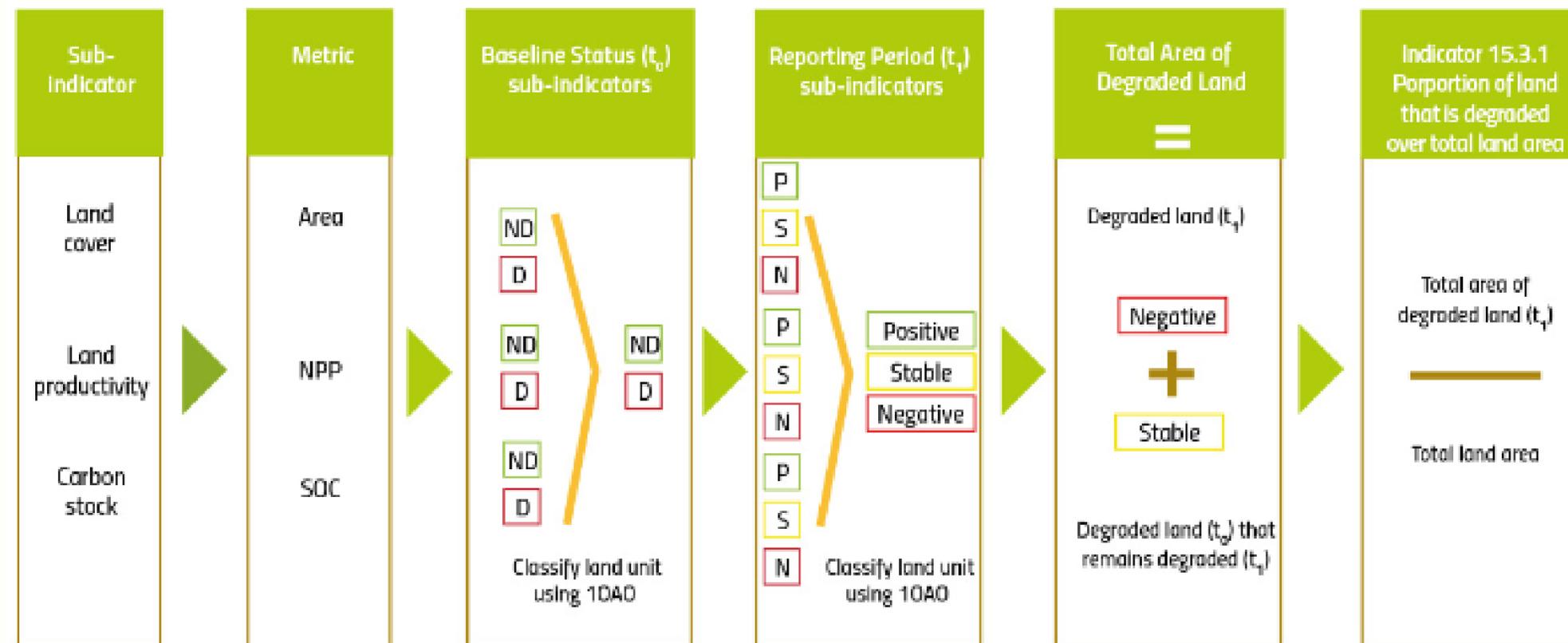


Produttività del suolo.



Variazione del Carbon Stock

Derivazione dell'indicatore 15.3.1 dai suoi sotto-indicatori



L'indicatore 15.3.1 viene determinato integrando i sotto-indicatori utilizzando un approccio 'one-out-all-out' (10AO). In questo metodo, una riduzione significativa o un cambiamento negativo in un singolo sotto-indicatore è considerato come prova di degrado del suolo.

L'affidabilità dell'approccio UNCCD



Risultati dei nostri test di affidabilità condotti su 450 punti di osservazione:



MODIS – Approccio UNCCD Trends.Earth

62 %

Percentuali di aree degradate, stabili e migliorate secondo l'approccio UNCCD:



MODIS – Approccio UNCCD Trends.Earth

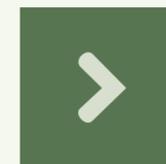
Degraded 2.5 %

Stable 29.7%

Improved 67.8 %

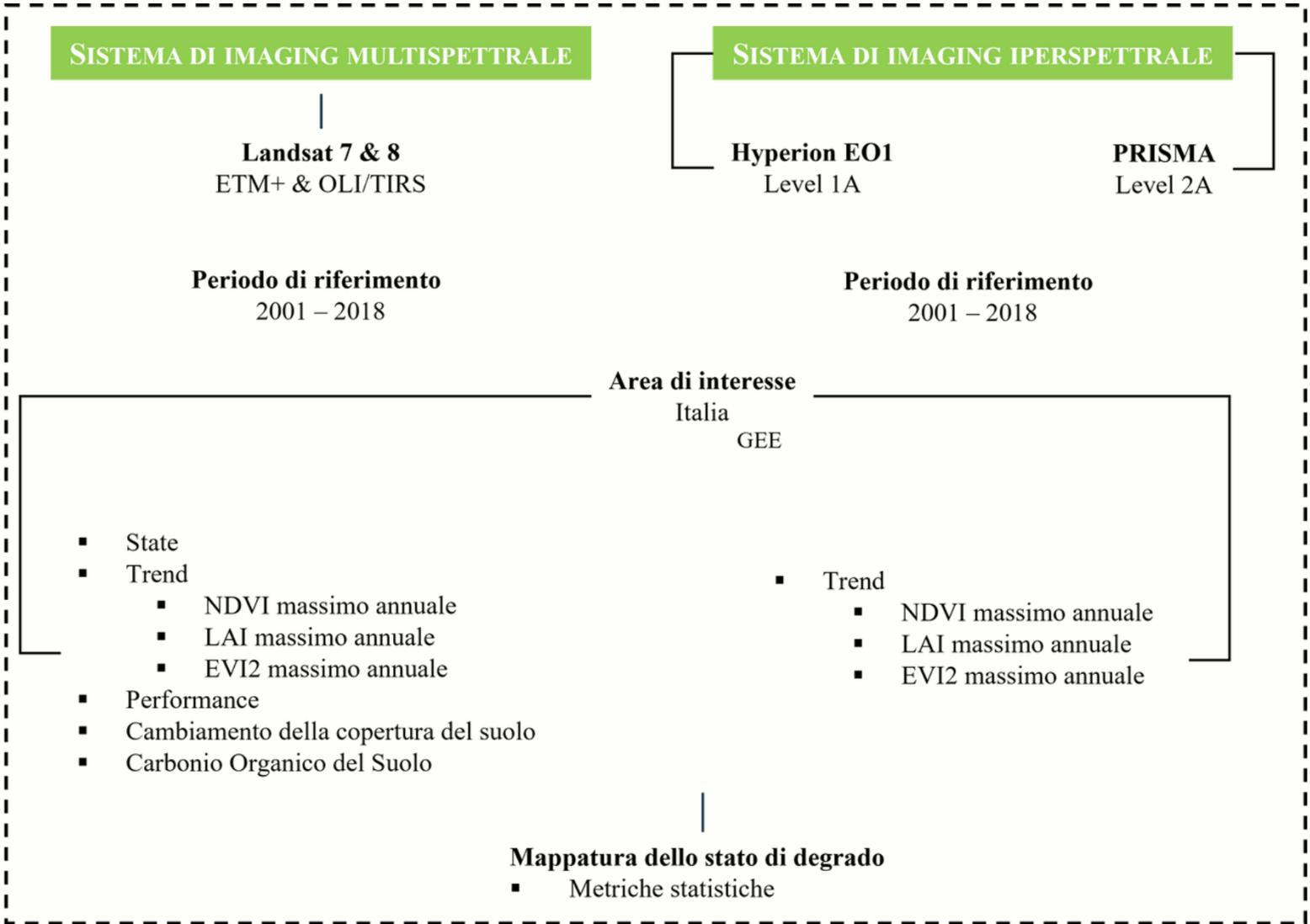
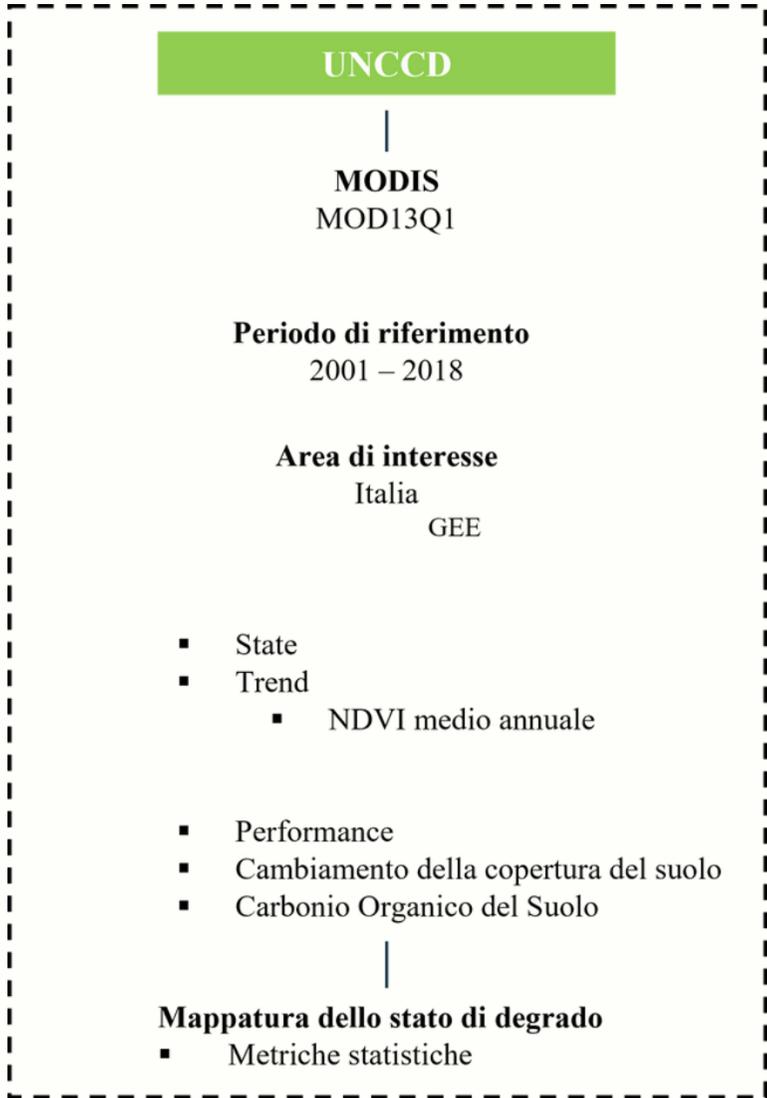


Tuttavia, emerge un problema rilevante: l'affidabilità dell'approccio proposto dall'UNCCD risulta piuttosto bassa nei test che abbiamo condotto nella regione Campania, con un'accuratezza pari solo al 62%.



Un valore evidentemente insufficiente per supportare decisioni politiche o gestionali efficaci.

Oltre l'SDG 15.3.1: Algoritmo utilizzando Google Earth Engine (GEE) per valutare lo stato di LD rilevante per lo studio di caso italiano



L'affidabilità dell'approccio UNCCD



Risultati dei nostri test di affidabilità condotti su 450 punti di osservazione:



MODIS – Approccio UNCCD Trends.Earth

62 %

Percentuali di aree degradate, stabili e migliorate secondo l'approccio UNCCD:

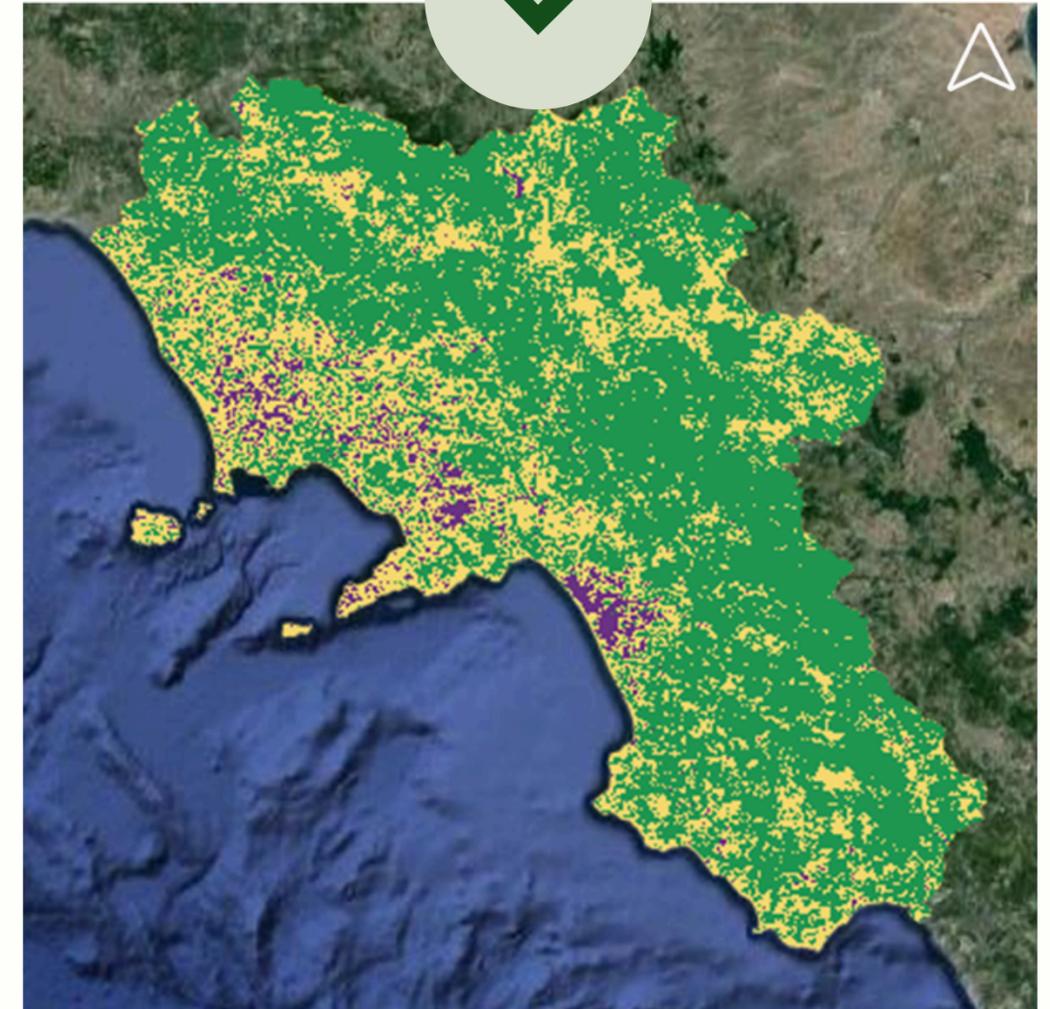


MODIS – Approccio UNCCD Trends.Earth

Degraded 2.5 %

Stable 29.7%

Improved 67.8 %



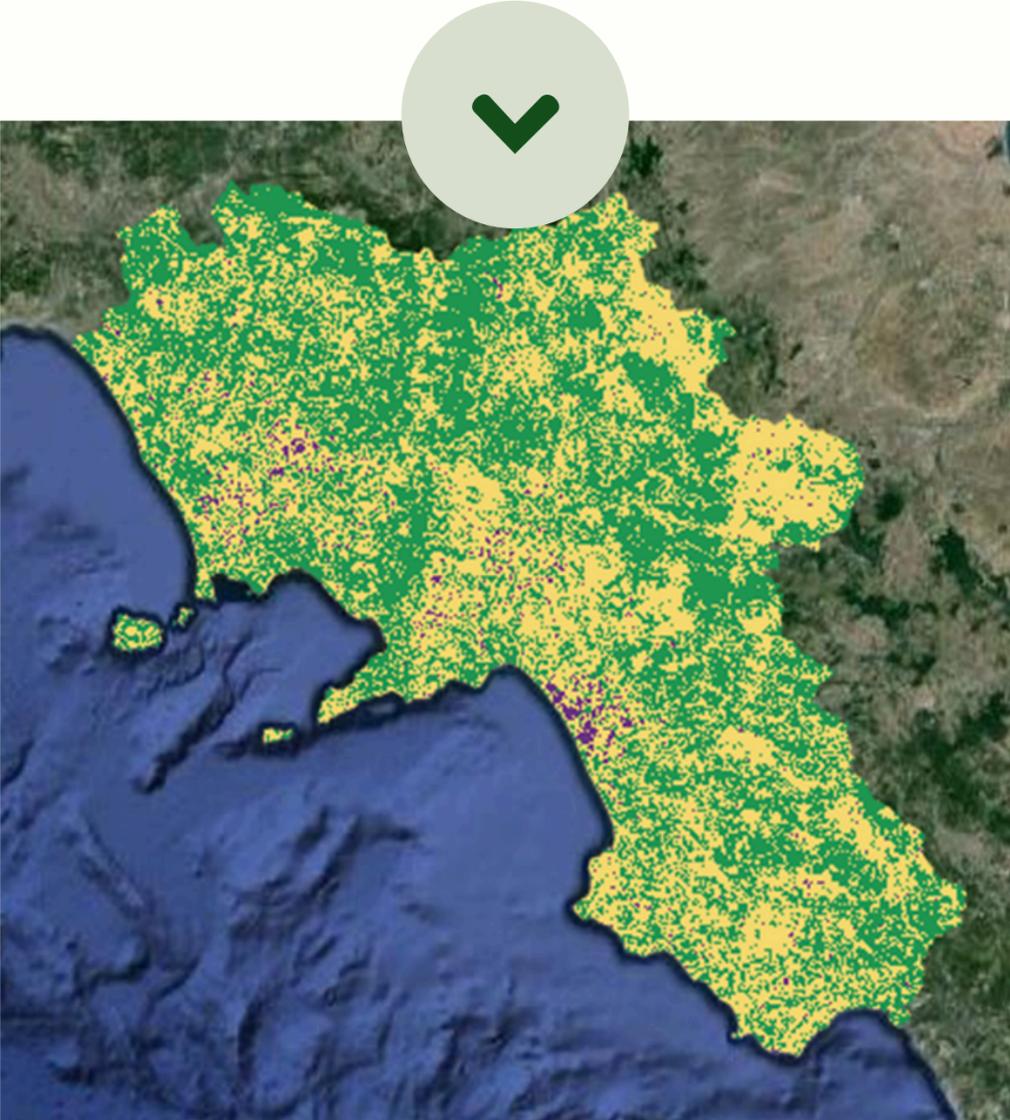
L'affidabilità dei nuovi approcci multi-spettrali

Risultati dei nostri test di affidabilità condotti su 450 punti di osservazione:

➤	Landsat – Max. Annuale NDVI	Landsat – Max. Annuale EVI2	Landsat – Max. Annuale LAI
	96 %	96%	94%

Percentuali di aree degradate, stabili e migliorate secondo l'approccio UNCCD:

➤	Landsat – Max. Annuale NDVI	Landsat – Max. Annuale EVI2	Landsat – Max. Annuale LAI
	Degraded	5 %	19 %
Stable	68 %	59 %	78 %
Improved	28 %	22 %	13 %



I nuovi approcci multi-spettrali proposti presentano **prestazioni migliori** rispetto all'approccio UNCCD (circa il 94% contro il 62% di **test di affidabilità** superati).

L'applicazione di **metriche massime** per valutare spazialmente le **dinamiche di produttività** mostra, rispetto ai dati UNCCD, **più del doppio delle percentuali di aree degradate e stabili e una drastica riduzione delle aree migliorate.**

L'affidabilità dei nuovi approcci iper-spettrali

Risultati dei nostri test di affidabilità condotti su 150 punti di osservazione:

	Hyperion EO1 & PRISMA Max. Annuale NDVI	Hyperion EO1 & PRISMA Max. Annuale EVI2	Hyperion EO1 & PRISMA Max. Annuale LAI
>	93 %	88 %	93 %

Percentuali di aree degradate, stabili e migliorate secondo l'approccio UNCCD:

	Hyperion EO1 & PRISMA Max. Annuale NDVI	Hyperion EO1 & PRISMA Max. Annuale EVI2	Hyperion EO1 & PRISMA Max. Annuale LAI
>			
Degraded	20 %	21 %	20 %
Stable	53 %	58 %	53 %
Improved	27 %	21 %	27 %

> Benché i risultati ottenuti mediante i nuovi approcci iperspettrali non abbiano raggiunto il livello di accuratezza dei metodi multispettrali (circa l'88%), essi evidenziano comunque un'accuratezza significativamente superiore rispetto all'approccio ufficiale UNCCD.



TELERILEVAMENTO & LD

La scala micro



Efficienza del monitoraggio del suolo tramite spettroscopia MIR

Per affrontare le attuali sfide legate alla gestione sostenibile del suolo, in linea con le recenti normative sul monitoraggio (Soil Monitoring Law), è fondamentale effettuare numerose analisi del suolo al fine di ottenere informazioni spaziali dettagliate su vasta estensione.

Tuttavia, le analisi del suolo comportano costi elevati!



In questo contesto, la spettroscopia MIR promette molto, rendendola particolarmente adatta al monitoraggio della salute del suolo..

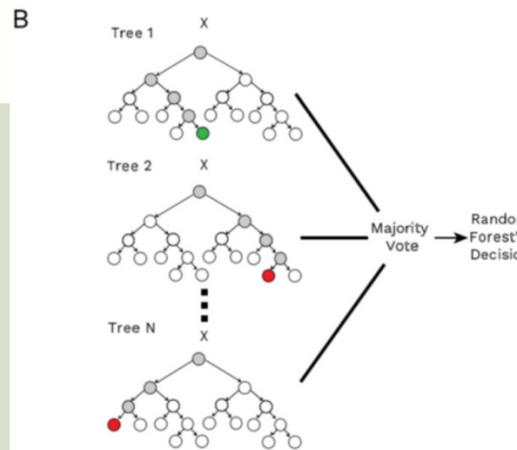
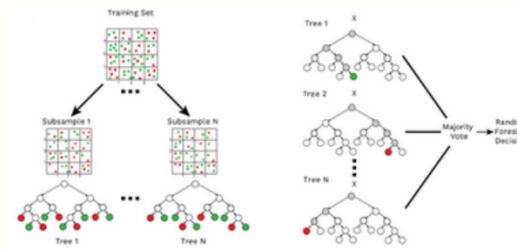
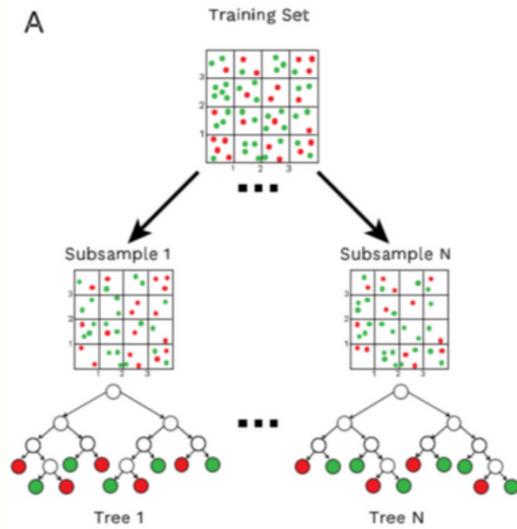


Rispetto alle **analisi classiche**, consente una **significativa riduzione dei costi**, mantenendo una **buona affidibilità**.



Proprio per questo, tra le **tecniche spettroscopiche disponibili** (XRF, NIR, MIR), ci siamo concentrati sul **MIR**.

Algoritmi di Machine Learning



- La combinazione della **spettroscopia nel medio infrarosso (MIR)** e gli **algoritmi di Machine Learning** consente di estrarre **caratteristiche spettrali informative** che riflettono **aspetti critici della salute del suolo**, offrendo uno strumento potente per il monitoraggio e la valutazione.

Casi di studio



Ambiente forestale



- Aree di cedui di castagno.
- Campania.

Ambiente agricolo



- Suoli vulcanici.
- Sicilia.

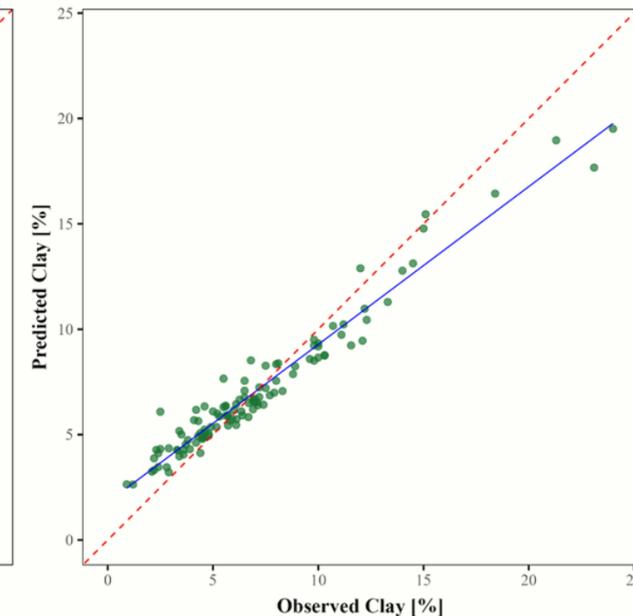
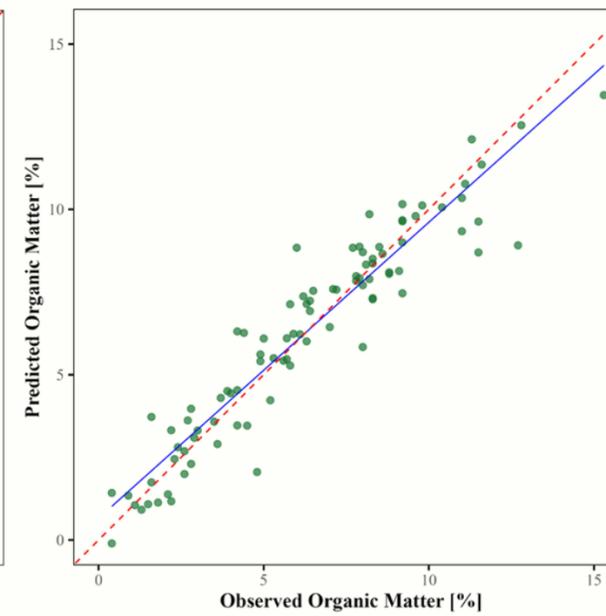
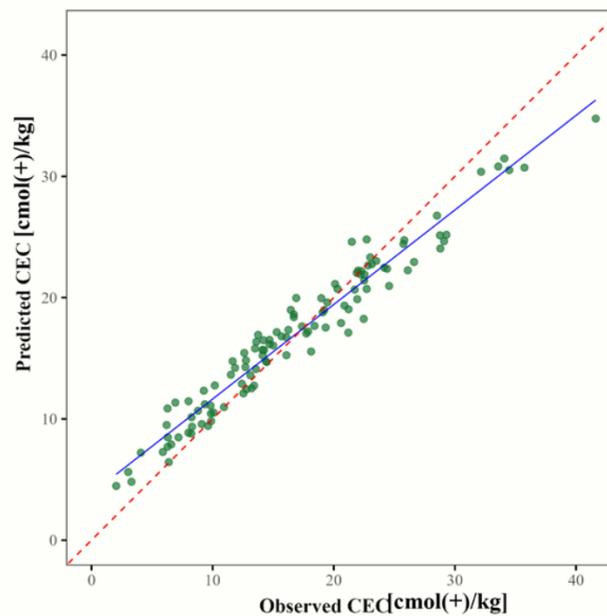
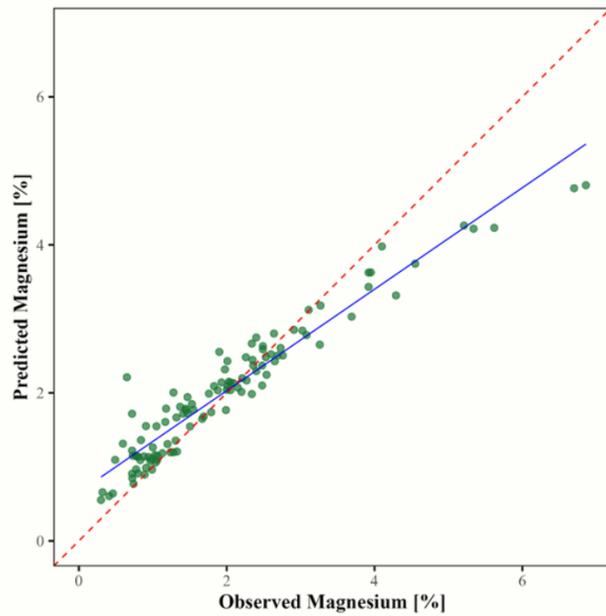
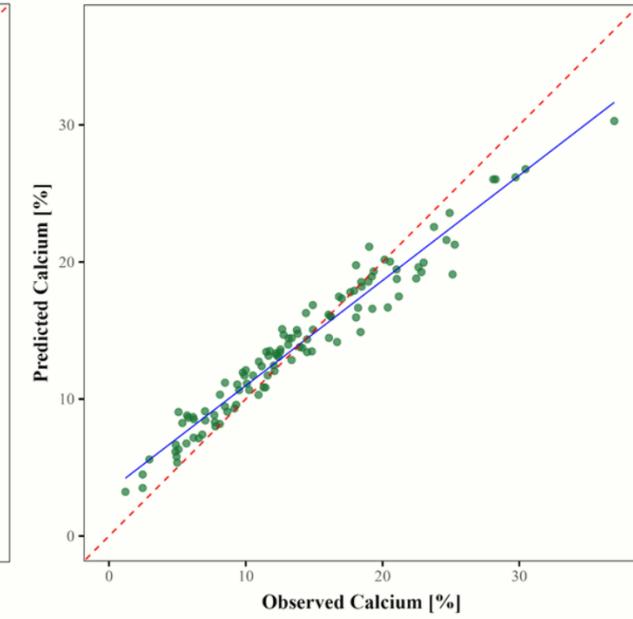
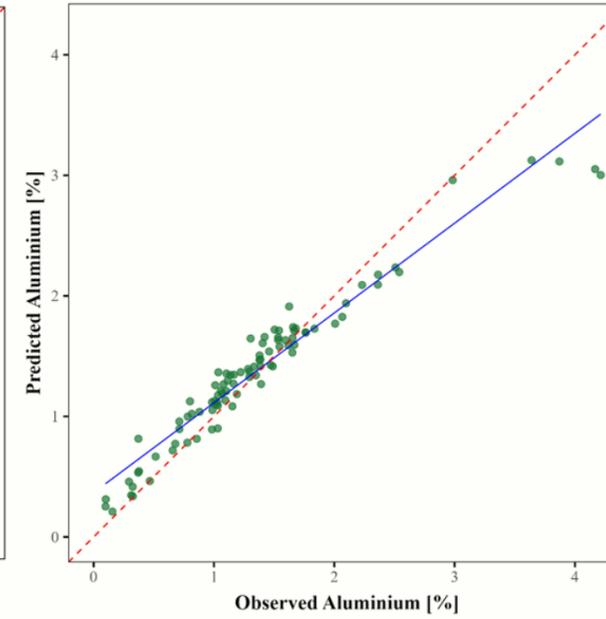
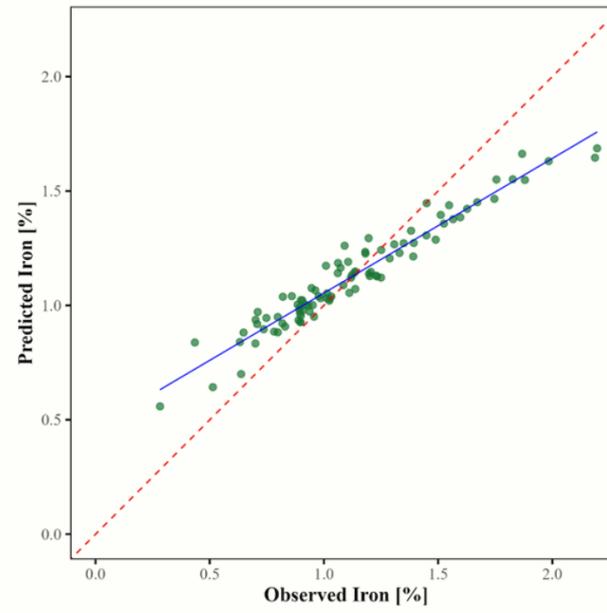
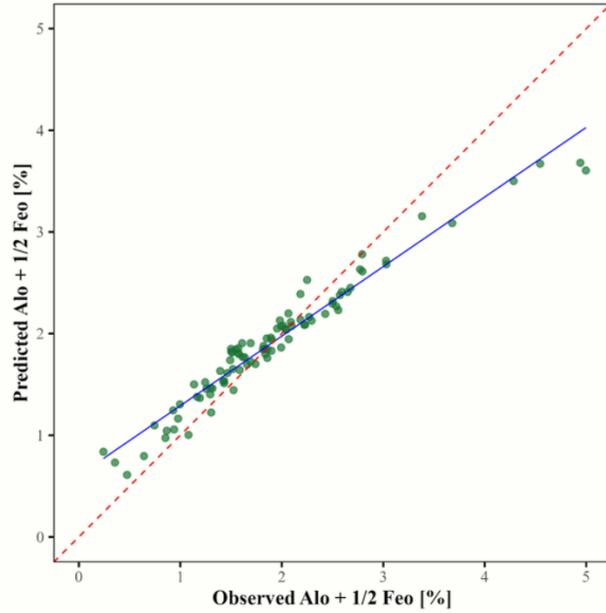


Accuratezza dei Modelli per la Stima delle Proprietà del Suolo



Proprietà		Pre-elaborazione	Modello	RMSE	R ²	RPD	RPIQ
Componenti della Tessitura del Suolo							
Argilla	[%]	Raw	RandomForest	1.273	0.951	3.31	3.06
Limo	[%]	Absorbance	Cubist	5.653	0.814	1.87	2.35
Sabbia	[%]	Raw	PLSR	6.97	0.812	1.89	2.24
Proprietà Chimiche del Suolo							
Capacità di Scambio Cationico	[cmol(+)/kg]	Abs+SG+CR	RandomForest	2.224	0.951	3.54	5.06
Sostanza Organica	[%]	Absorbance	RandomForest	0.951	0.937	3.44	4.91
pH in sospensione 1:2		Abs+SG+CR	Cubist	0.216	0.849	1.97	2.77
Basi Scambiabili							
Calcio	[%]	Abs+SG+CR	RandomForest	1.979	0.952	3.46	4.92
Potassio	[%]	Abs+SG+CR	RandomForest	1.563	0.926	2.53	0.28
Magnesio	[%]	Abs+SG+CR	RandomForest	0.496	0.920	2.60	3.00
Sodio	[%]	Abs+SG	RandomForest	0.267	0.961	2.61	0.91
Estrazione con Ossalato di Ammonio (Proprietà Andiche)							
Alluminio	[%]	Abs+SG+CR	RandomForest	0.609	0.848	2.12	2.45
Ferro	[%]	Raw	RandomForest	0.188	0.833	1.97	2.23
Silicio	[%]	Abs+SG	Cubist	0.256	0.784	1.81	1.54
Al _o + 1/2Fe _o	[%]	Raw	RandomForest	1.376	0.821	2.38	3.40

Prestazioni Predittive dei Modelli MIR per le Diverse Proprietà del Suolo



Lavoro in Corso

Il lavoro futuro includerà:

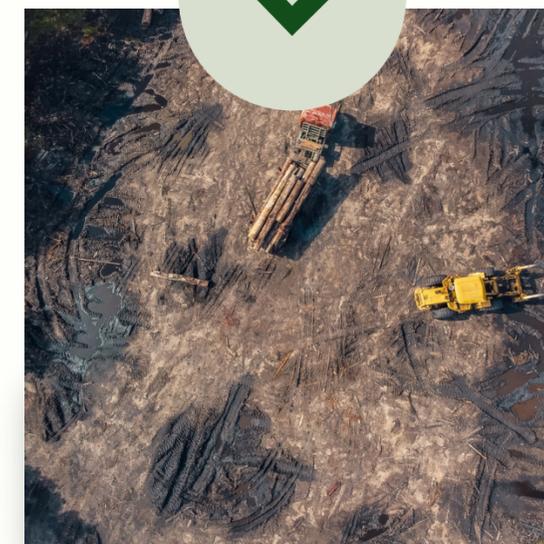


Creazione di librerie spettrali MIR mirate:

Costruire dataset di riferimento che colleghino bande specifiche del MIR a minerali e composti organici noti, al fine di migliorare l'interpretabilità e la trasparenza dei modelli.



Sviluppo di un approccio trasferibile a livello nazionale (in collaborazione con ISPRA) per la quantificazione del degrado del suolo secondo l'SDG 15.3.

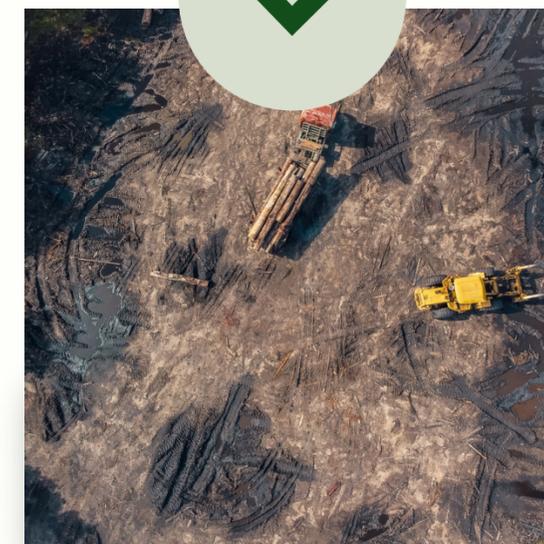


Lavoro in Corso



Ad oggi, dopo diciotto mesi di attività presso il Dipartimento di Agraria (nell'ambito del progetto RTD-A PNRR RETURN), ritengo che la mia ricerca sia pronta per nuove collaborazioni.

In particolare, il mio desiderio è quello di consolidare e ampliare le collaborazioni con altri gruppi di ricerca, sia nell'ambito forestale che in quello del telerilevamento — per quanto riguarda il lavoro condotto su scala macro — sia nell'ambito della chimica agraria, per le attività svolte su scala micro (MIR).





Referenze Bibliografiche



- Akinyemi, F.O., Ghazaryan, G., Dubovyk, O., 2021. Assessing UN indicators of land degradation neutrality and proportion of degraded land for Botswana using remote sensing based national level metrics. *Land Degrad Dev.* 32, 158–172. <https://doi.org/10.1002/ldr.3695>.
- Fao, 2022. Overview of land degradation neutrality (LDN) in Europe and Central Asia. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7986en>.
- GEO-LDN Initiative, 2020. Review of data, analytical systems and code for calculating SDG Indicator 15.3.1: Proportion of land that is degraded over total land area. Technical Note. Group on Earth Observation Land Degradation Neutrality (GEO-LDN) Initiative, Geneva, Switzerland.
- Giuliani, G., Chatenoux, B., Benvenuti, A., Lacroix, P., Santoro, M., Mazzetti, P., 2020. Monitoring land degradation at national level using satellite Earth observation time-series data to support SDG15 – exploring the potential of data cube. *Big Earth Data* 4 (1), 3–22. <https://doi.org/10.1080/20964471.2020.1711633>.
- Xoxo, S., Mantel, S., De Vos, A., Mahlaba, B., Le Maître, D., Tanner, J., 2022. Towards SDG 15.3: The biome context as the appropriate degradation monitoring dimension. *Environmental Science & Policy*, Volume 136, October 2022, Pages 400-412. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.008>.

Grazie!

