

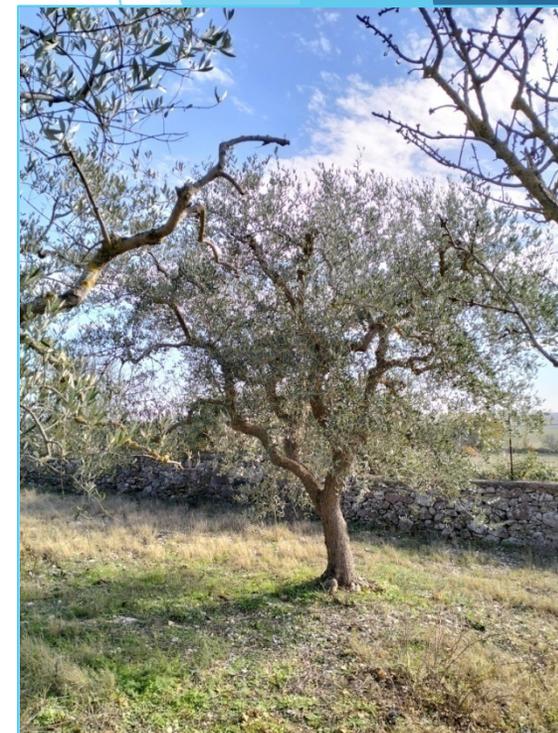
ON DEMAND SERVICES FOR SMART AGRICULTURE (OD4SA)

WP3 - SVILUPPO SERVIZI ONE-TO-ONE A SUPPORTO DEGLI OPERATORI IN AGRICOLTURA

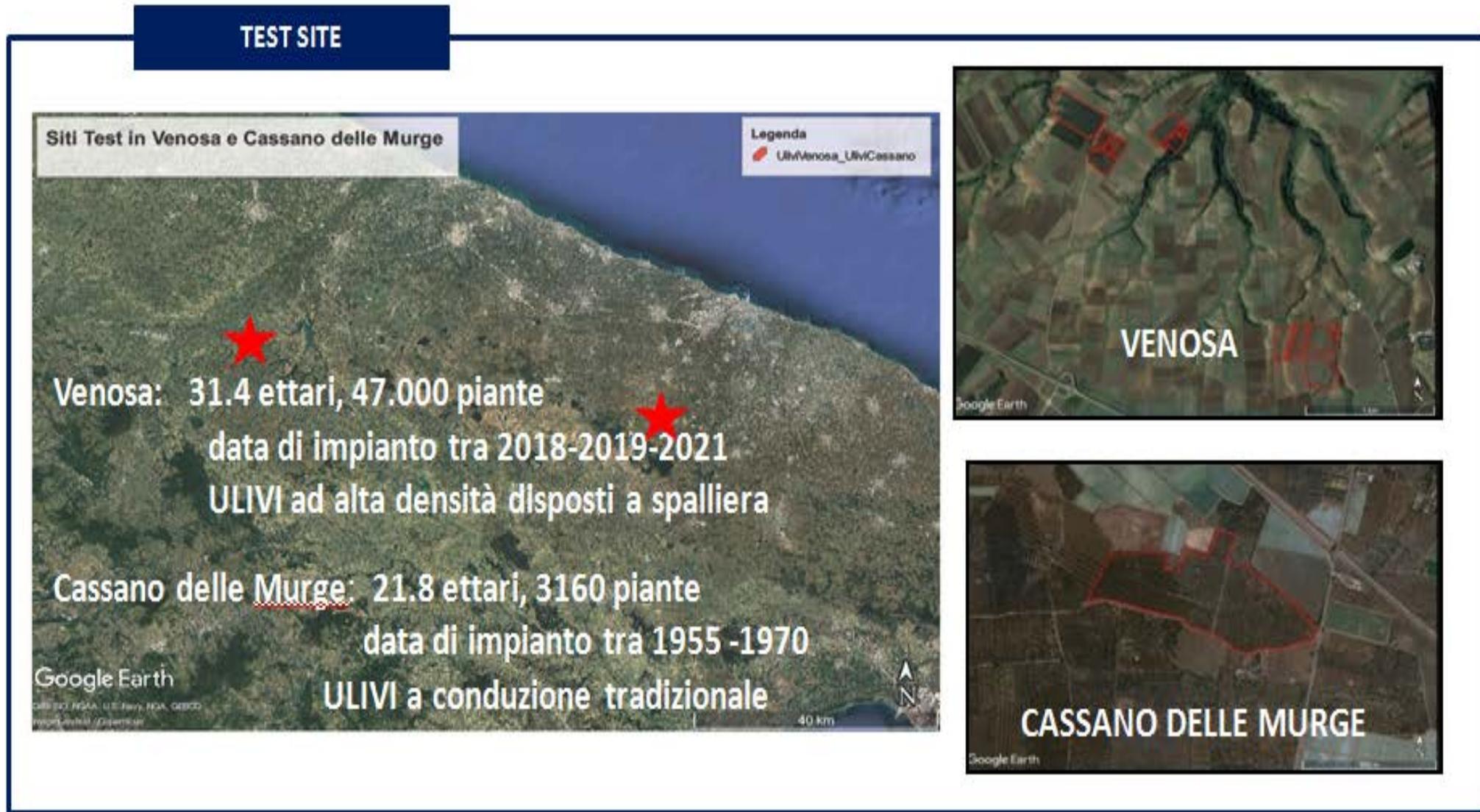
ASSE I - RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del PO FESR 2014-2020 - Azione 1B.1.2.1

METODOLOGIE SATELLITARI PER IL CONTROLLO DELLO STATO DI SALUTE DEGLI ULIVI NELLE FASI FENOLOGICHE DELLA PIANTA

- ▶ Conseguenze del cambiamento climatico a cui assistiamo nelle aree meridionali italiane sono le scarse precipitazioni primaverili e le elevate temperature estive, esse vanno a delineare una situazione di carenza idrica che si aggrava di anno in anno e che colpisce in modo preoccupante le coltivazioni con ciclo annuale come l'ulivo.
- ▶ Il presente articolo ha la finalità di descrivere alcune delle risultanze nell'ambito delle attività del progetto ODESSA (WP3 - Task3.1), volte allo sviluppo di servizi di monitoraggio dello stato di salute delle colture utilizzando tecniche satellitari.
- ▶ Il gruppo di lavoro ha scelto di studiare la pianta di ulivo, l'attività di ricerca applicata è stata incentrata sull'informazione spettrale acquisita regolarmente con i satelliti Sentinel-2 di COPERNICUS e il satellite PRISMA analizzando i dati di due test site localizzati in Basilicata (territorio di Venosa) e in Puglia (territorio di Cassano delle Murge) a copertura del periodo 2019-2023. Il percorso di ricerca ha portato a riconoscere delle caratteristiche spettrali peculiari della pianta di ulivo in buona salute per ogni fase fenologica e quindi, a sviluppare come prodotto innovativo, una metodologia di controllo dello stato di salute della pianta volta a rilevare anomalie spaziali e temporali.

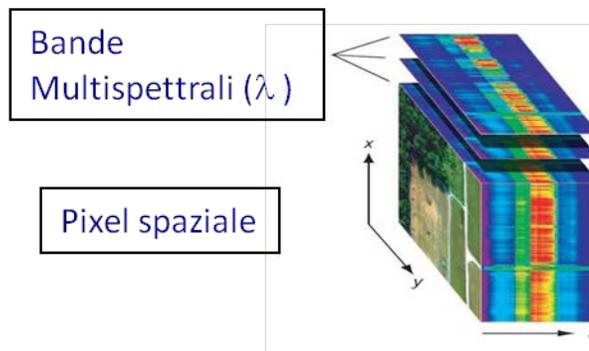
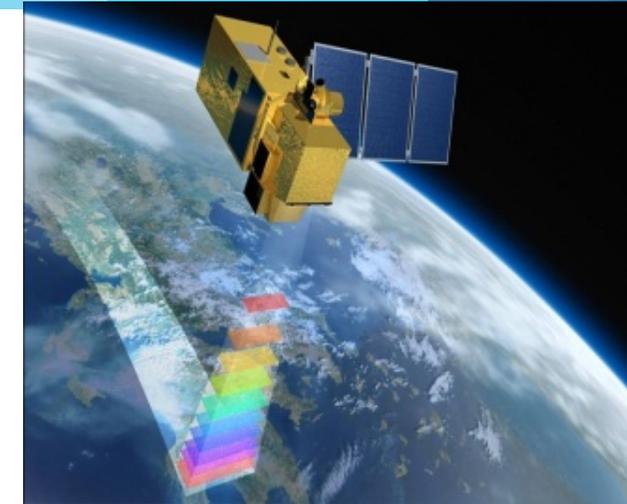


Test Site



Dati satellitari Sentinel-2

- ▶ Le immagini satellitari utilizzate nel progetto sono acquisite dalle missioni di Osservazione della Terra COPERNICUS con i satelliti ottici multispettrali Sentinel-2A e 2B e il satellite iperspettrale-pancromatico PRISMA.
- ▶ COPERNICUS è un programma di Osservazione satellitare della Terra promosso dalla Commissione Europea e dall'Agenzia Spaziale Europea con la finalità di acquisire con continuità sull'Europa dati e/o immagini per mezzo di sistemi radar e ottici montati sui satelliti detti *Sentinelle*.
- ▶ Gli ambiti applicativi dei satelliti Sentinel-2 sono il monitoraggio delle variazioni del territorio di media scala come p.es. la Gestione del Territorio e l'Agricoltura.



Banda	Lunghezza d'onda centrale (nm)	Ampiezza della banda (nm)	Risoluzione spaziale (m)
1	443	20	60
2	490	65	10 Blu
3	560	35	10 Verde
4	665	30	10 Rosso
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8	842	115	10 Vicino IR
8a	865	20	20
9	945	20	60
10	1380	30	60
11	1610	90	20
12	2190	180	20

Dati satellitari PRISMA

- ▶ La missione PRISMA - *PRecursore IpeSpettrale della Missione Applicativa* rappresenta una missione all'avanguardia di proprietà Agenzia Spaziale Italiana di tipo sperimentale per le nuove tecnologie di acquisizione (Payload in cui si integrano sensori iperspettrali e pancromatico) e la produzione di nuovi prodotti: immagini iperspettrali e pancromatiche.



Caratteristiche delle immagini PRISMA

- Immagine iperspettrale e Immagine Pancromatica
- Estensione dell'area acquisita: 30 km x 30 km
- Numero di bande spettrali 66+174 (VNIR-SWIR/400 nm-2500 nm), banda pancromatica nell'intervallo 400-700 nm
- Risoluzione geometrica dell'immagine iperspettrale 30m / Risoluzione geometrica dell'immagine pancromatica 5 m
- Acquisizione on demand vincolata da progetto di approvazione Agenzia Spaziale Italiana
- Lancio della Missione: Marzo 2019
- Copertura nuvolosa frequente nei periodi autunno inverno

Caratteristiche delle immagini Sentinel-2

- Immagine multispettrale
- Estensione dell'area acquisita: 110 km x 110 km
- Numero di bande 13 (VIS-NIR-SWIR - 430 nm 2300 nm)
- Risoluzione geometrica differente per banda (banda 1-9-10 a 60 metri, banda 2-3-4-8 a 10 metri e banda 5-6-7-8a a 20 metri)
- Dato open e free
- Lancio del satellite Sentinel-2A 06/2015 e di Sentinel-2B 03/2017
- **Acquisizione continuativa con frequenza di rivisitazione 3 giorni**
- Copertura nuvolosa frequente nei periodi autunno inverno

Dati satellitari Sentinel-2 / PRISMA

- ▶ Nell'iter delle attività sono state analizzate ed elaborate 134 immagini Sentinel-2 e 5 immagini PRISMA relativamente al periodo 2019-2023 a copertura dei due test site

DATI SATELLITARI SENTINEL-2A/SENTINEL-2B (Livello 2A)

SITO VENOSA

Anno 2021	Anno 2022	Anno 2023	Anno 2019	Anno 2020	Anno 2021	Anno 2022	Anno 2023
26/02	11/02	02/01	19/02	25/01	03/02	19/01	24/01
03/03	23/03	16/02	01/03	09/02	30/03	03/02	18/02
28/03	12/04	18/03	06/03	24/02	09/05	25/03	21/02
02/04	27/04	27/04	20/04	20/03	24/05	14/04	13/03
02/05	22/05	21/06	09/06	09/04	03/06	19/04	18/03
26/06	01/06	11/07	14/06	24/04	13/06	14/05	23/03
06/07	06/06		29/06	09/05	23/06	19/05	29/04
31/07	26/06		09/07	24/05	28/06	24/05	07/05
10/08	16/07		24/07	13/06	03/07	13/06	21/06
15/08	21/07		08/08	08/07	08/07	03/07	03/07
20/08	15/08		13/08	23/07	13/07	18/07	08/07
24/09	14/09		18/08	28/07	23/07	23/07	
04/10	9/10		28/08	02/08	28/07	28/07	
19/10	24/10		17/09	12/08	07/08	02/08	
23/12	29/10		27/09	22/08	12/08	07/08	
	08/11		02/10	27/08	17/08	06/09	
			12/10	06/09	22/08	11/09	
			27/10	21/10	27/08	14/09	
			01/12	31/10	26/09	19/09	
			31/12	15/12	21/10	04/10	
					10/12	16/10	
					20/12	24/10	
						31/10	
						25/12	

Totale 37

DATI SATELLITARI PRISMA (Livello 2D)

SITO VENOSA

Anno 2021	Anno 2022	Anno 2023
25/03		
	26/10	

SITO CASSANO DELLE MURGE

Anno 2019	Anno 2020	Anno 2021	Anno 2022	Anno 2023
19/02	25/01	03/02	19/01	24/01
01/03	09/02	30/03	03/02	18/02
06/03	24/02	09/05	25/03	21/02
20/04	20/03	24/05	14/04	13/03
09/06	09/04	03/06	19/04	18/03
14/06	24/04	13/06	14/05	23/03
29/06	09/05	23/06	19/05	29/04
09/07	24/05	28/06	24/05	07/05
24/07	13/06	03/07	13/06	21/06
08/08	08/07	08/07	03/07	03/07
13/08	23/07	13/07	18/07	08/07
18/08	28/07	23/07	23/07	
28/08	02/08	28/07	28/07	
17/09	12/08	07/08	02/08	
27/09	22/08	12/08	07/08	
02/10	27/08	17/08	06/09	
12/10	06/09	22/08	11/09	
27/10	21/10	27/08	14/09	
01/12	31/10	26/09	19/09	
31/12	15/12	21/10	04/10	
		10/12	16/10	
		20/12	24/10	
			31/10	
			25/12	

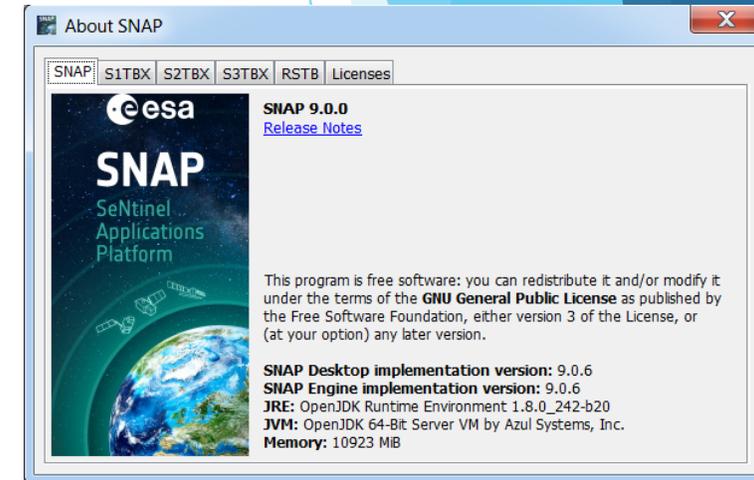
Totale 97

Elaborazione dei dati Satellitari Sentinel-2

- ▶ Per l'immagine Sentinel-2 alla fase iniziale di preparazione del dato (lettura, ricampionamento e ritaglio) è seguita la fase di produzione delle informazioni qualitative sullo stato di salute (NDVI e NDWI) e la crescita della vegetazione (LAI, FPAR, FCOVER).
- ▶ NDVI *Normalized Difference Vegetation Index*
- ▶ NDWI *Normalized Difference Water Index*
- ▶ LAI *Leaf Area Index*
- ▶ FAPAR *Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*
- ▶ FCOVER *Fraction of vegetation cover*

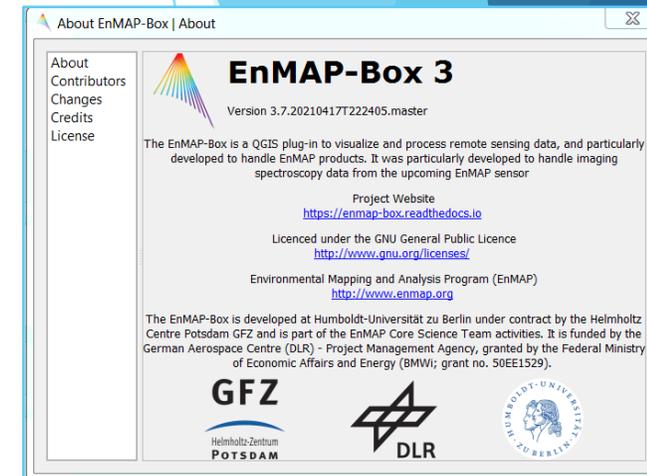
- ▶ I software utilizzati sono stati principalmente SNAP *SeNtinel Application Platforms*, QGIS ed Excel.

➔ **PRODOTTI PER LA RILEVAZIONE DI ANOMALIE SPAZIALI**

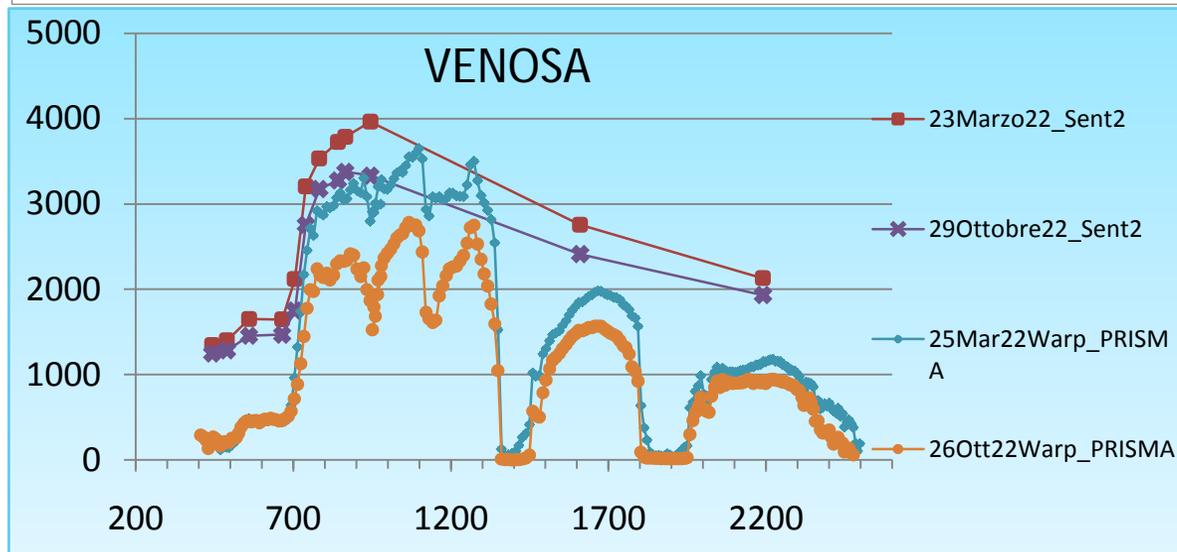
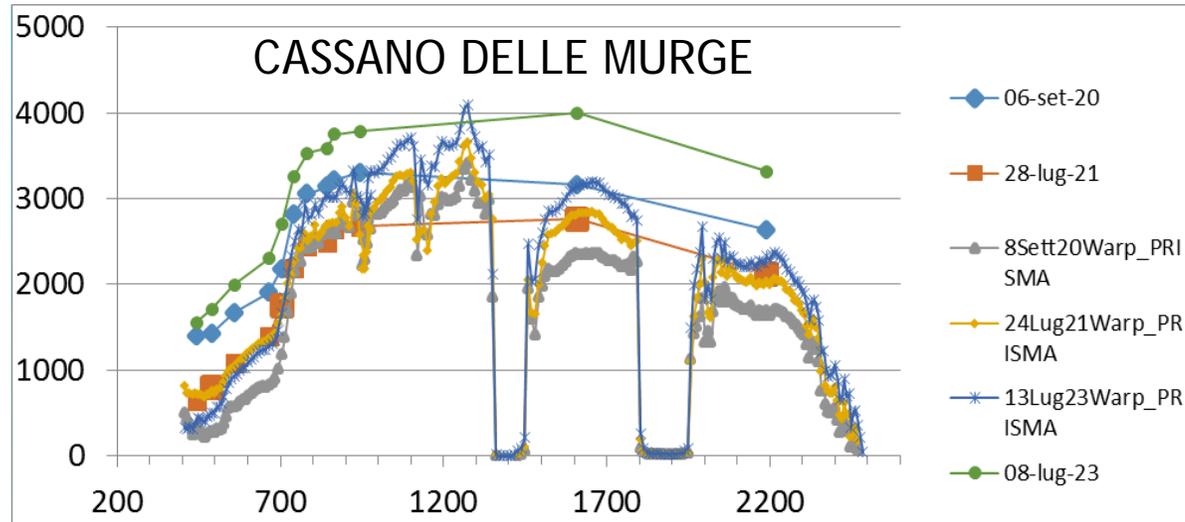


Elaborazione dei dati Satellitari PRISMA

- ▶ Per quanto concerne l'elaborazione dell'immagine iperspettrale di PRISMA, è stata effettuata una prima fase di import con il plugin di QGIS *EnMap*, esso restituisce una immagine cubo geocodificata comprensiva dei due differenti blocchi di dati VNIR+SWIR, i dati sono di riflettanza alla superficie. Tra le funzionalità di EnMap di interesse il subset spettrale e un tool finalizzato alle applicazioni dei dati nell'ambito Agricoltura.
- ▶ L'immagine pancromatica PRISMA è stata elaborata con QGIS.
- ▶ Le immagini PRISMA sono affette da errori di geocodifica rilevanti rispetto all'immagine Sentinel-2, di qui è stata necessaria una fase di coregistrazione per un raffronto di informazioni accurato geometricamente al pixel.



Sentinel-2 e PRISMA a confronto



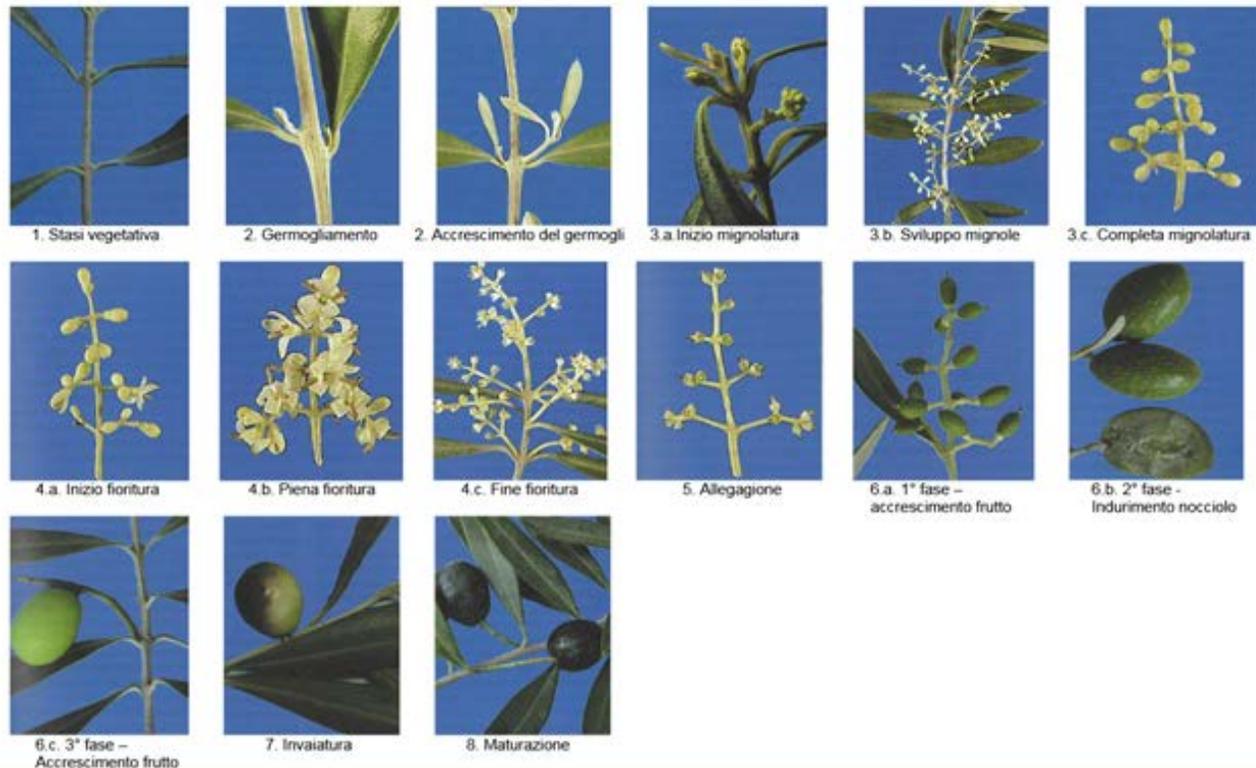
1. La firma spettrale della pianta nell'intervallo delle lunghezze d'onda del visibile-vicino infrarosso è ben descritta sia con il dato Sentinel-2 che con il dato PRISMA.
2. Il dettaglio della firma spettrale di PRISMA nell'intervallo di lunghezze d'onda a partire dal vicino infrarosso e fino allo SWIR è rilevante rispetto all'informazione di Sentinel-2;
3. Il delta di intensità che si riscontra tra le firme spettrali dei due differenti satelliti, per lo più costante, è causato da un insieme di fattori quali una differente geometria di acquisizione del satellite, dell'ora di acquisizione e di nuvolosità.

STUDIO DELLA FIRMA SPETTRALE DELL'ULIVO - SCHEDA DEI PARAMETRI

- ▶ L'attività è stata finalizzata a ricercare delle peculiarità distintive di buona salute rilevabili dalla firma spettrale acquisita con Sentinel-2 nei differenti mesi, periodo dell'anno per la messa a punto di metodologie di controllo del buono stato di salute della pianta.
- ▶ I tappa : attribuzione ad ogni mese dell'anno della fase fenologica e nella definizione delle caratteristiche della pianta attese.
- ▶ Il tappa :analisi delle firme spettrali della pianta acquisite dal satellite Sentinel-2 nel medesimo mese per più anni (fissato un test site specifico), quindi per gruppi di mesi dell'anno con un raggruppamento che riprende le fasi fenologiche.

STUDIO DELLA FIRMA SPETTRALE DELL'ULIVO - SCHEDA DEI PARAMETRI (I Tappa)

STADI FENOLOGICI DELL'OLIVO (Foto tratte da Olea – Trattato di olivicoltura)

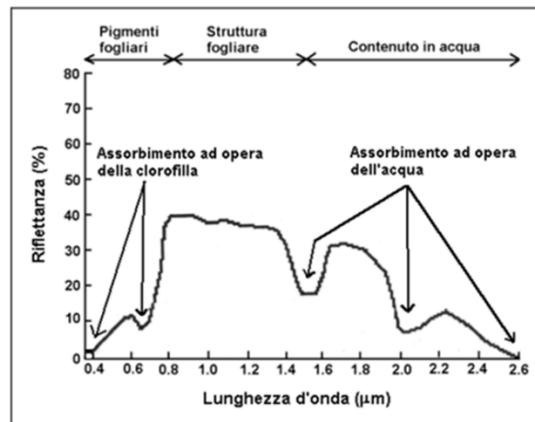


	Mese	Fase Fenologica	Caratterizzazione	E' atteso
1	Gennaio	Stasi vegetativa		
2	Febbraio	Stasi vegetativa -		
3	Marzo	Germogliamento - Mignolatura	Produzione di gemme e differenziazione tra gemme che diverranno fiori e gemme che diverranno nuove foglie	
4	Aprile	Mignolatura -Fioritura	Grappoli di fiori bianchi, inizialmente chiusi, poi aperti	
5	Maggio	Fioritura - Allegazione	I fiori si schiudono, iniziano a cadere e a lasciare il posto ai piccoli frutti	Accrescimento della pianta di foglie e fiori bianchi. Trasformazione dei fiori in piccoli frutti.
6	Giugno	Allegazione	Il 10% dei fiori diventano frutti, i restanti cadono	Accrescimento della pianta
7	Luglio	Accrescimento frutto		Accrescimento della pianta
8	Agosto	Accrescimento frutto		Accrescimento della pianta
9	Settembre	Accrescimento frutto - Invaiaura		Cambio colore del frutto
10	Ottobre	Invaiaura		Cambio colore del frutto
11	Novembre	Invaiaura - Maturazione - Raccolta		Cambio colore del frutto
12	Dicembre	Stasi vegetativa		

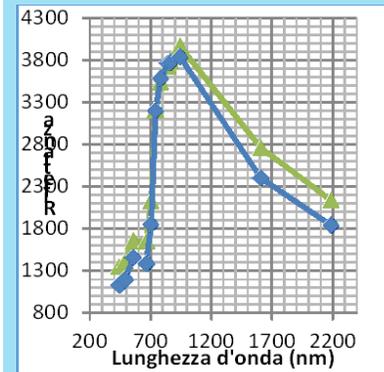
STUDIO DELLA FIRMA SPETTRALE DELL'ULIVO - SCHEDA DEI PARAMETRI (II Tappa)

Alla luce del modello generico della firma spettrale della vegetazione sono state descritte le caratteristiche peculiari periodo per periodo:

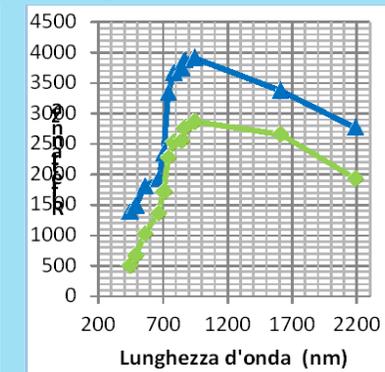
1. Per il periodo Gennaio-Maggio (I periodo) nell'intervallo del visibile- vicino infrarosso si osserva l'assorbimento della clorofilla che tende a decrescere (comportamento evidenziabile con il grafico multitemporale dell'NDVI), nelle bande dello swir un buon assorbimento dovuto al contenuto d'acqua della pianta o del terreno.
2. Per il periodo Giugno-Agosto (II periodo) nell'intervallo del visibile vicino infrarosso vi è una ridotta risposta della clorofilla e nelle bande dello swir uno scarso assorbimento dovuto alle temperature calde del periodo.
3. Per il periodo Settembre-Novembre (III periodo) si ha una situazione mediata tra i due periodi precedenti.



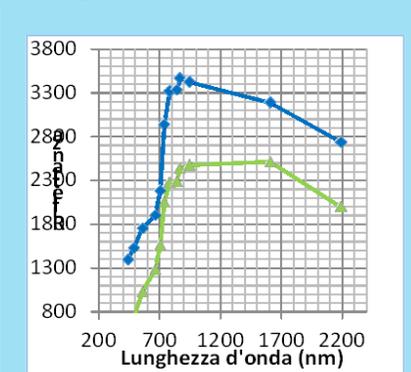
26 Febbraio 2021 in verde
11 Febbraio 2022 in blu



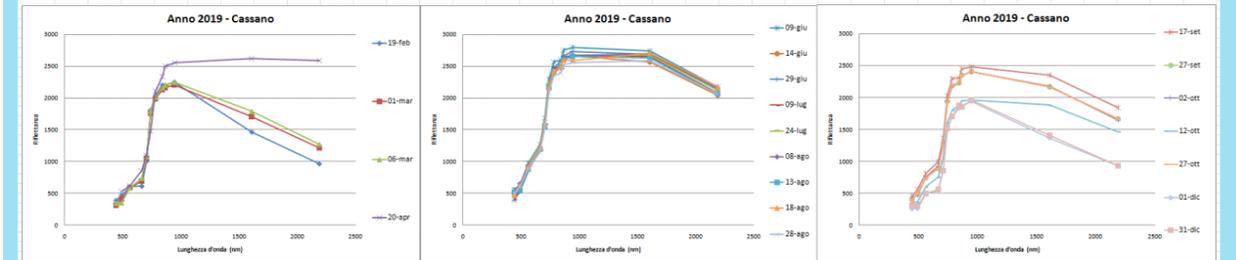
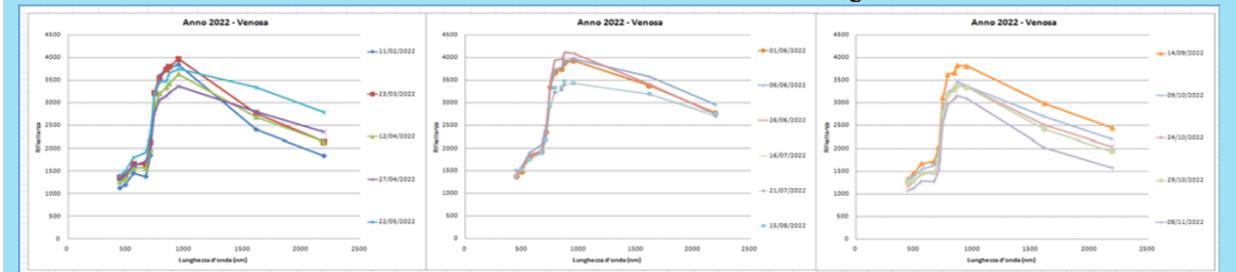
26 Giugno 2021 in verde
26 Giugno 2022 in blu



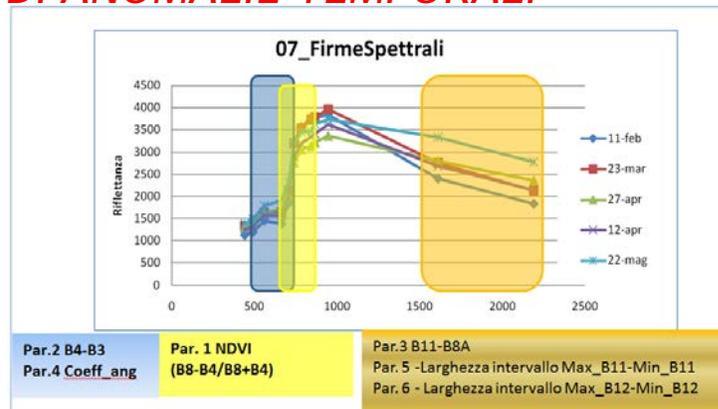
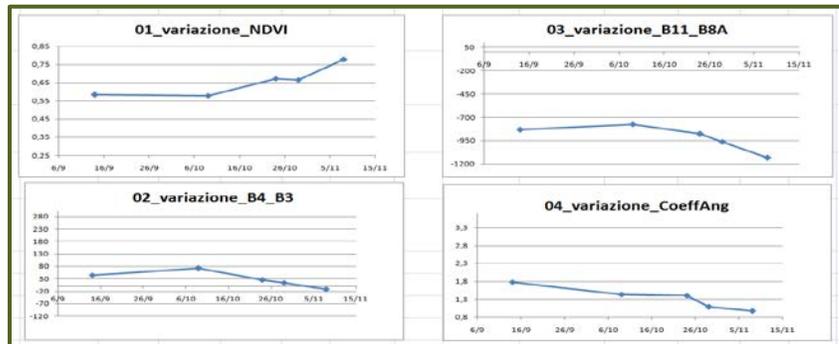
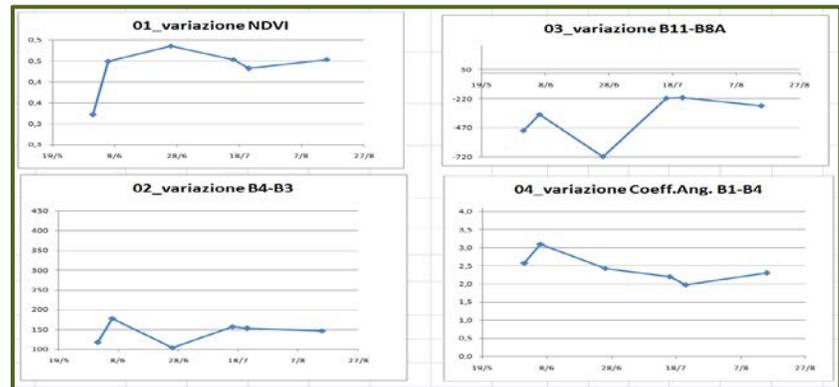
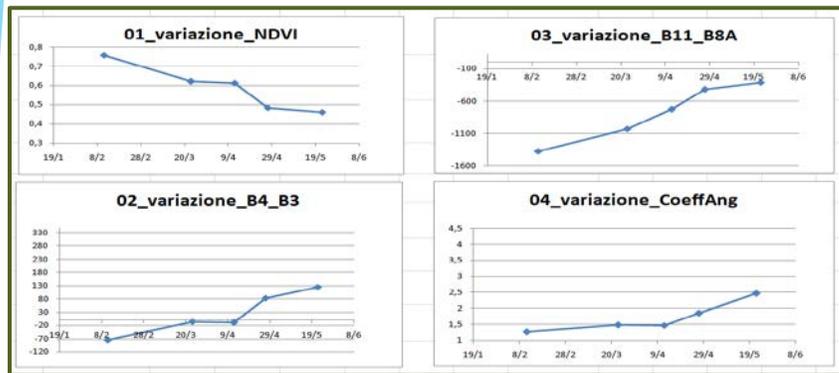
15 Agosto 2021 in verde
15 Agosto 2022 in blu



Firme spettrali raggruppate per periodi diversi, Gennaio-Maggio, Giugno-Agosto, Settembre-Novembre per i siti test di Venosa e di Cassano delle Murge



Scheda Parametri **PER LA RILEVAZIONE DI ANOMALIE TEMPORALI**



Par.2 B4-B3
Par.4 Coeff_ang
Par.1 NDVI (B8-B4/B8+B4)
Par.3 B11-B8A
Par.5 -Larghezza intervallo Max_B11-Min_B11
Par.6 -Larghezza intervallo Max_B12-Min_B12

V
E
N
O
S
A

2
0
2
2

I

II

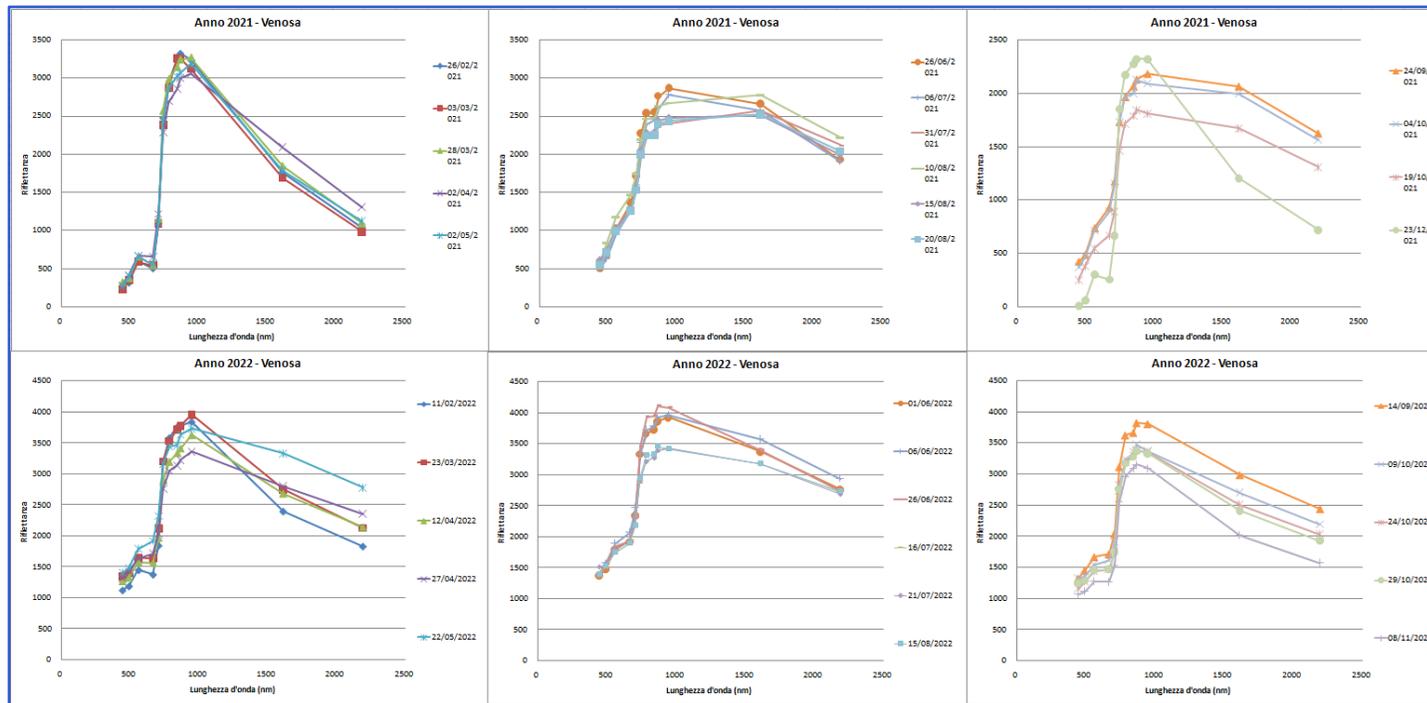
III

Parametro	Cosa misura e comportamento atteso nei 3 periodi del ciclo annuale	Rappresentazione
NDVI (B4, B8)	Misura la salute della pianta, da Gennaio a Maggio decresce, Giugno Agosto rimane stabile e nel periodo ultimo riprende a salire fino ad arrivare ai valori iniziali.	grafico
variazione B4-B3	L'assorbimento nella banda del rosso B4 è indicatore della vitalità della pianta essendo dipendente dal contenuto di clorofilla. Nel periodo della stagione calda ci si aspettano valori maggiormente positivi e alti rispetto alla banda del blu (banda 3). Negli altri periodi il valore dovrebbe essere negativo se così non è per un periodo prolungato potrebbe essere indicativo di una bassa vitalità della pianta.	grafico
Variazione B11-B8A	Nelle bande dello SWIR vi sono gli assorbimenti dovuti al contenuto d'acqua. Di qui il dislivello tra i due valori è correlato al contenuto d'acqua della pianta o del suolo su cui insiste. E' atteso un valore più elevato nel primo e terzo periodo del ciclo annuale.	grafico
coeff. ang. (B1-B4)	I picchi di assorbimento della clorofilla si osservano nelle bande 1-2 e 4. I valori più bassi si attendono nell'ordine: primo, terzo e secondo periodo.	grafico
*Larghezza intervallo B11	La dispersione dei valori di SWIR (banda 11), potrebbe essere indicativa di una variazione dell'umidità del suolo. Valori maggiori sono attesi nel primo e terzo periodo del ciclo fenologico.	numero
*Larghezza intervallo B12	La dispersione dei valori di SWIR (banda 12), potrebbe essere indicativa di una variazione dell'umidità del suolo. Valori maggiori sono attesi nel primo e terzo periodo del ciclo fenologico.	numero
Firme spettrali	Le firme spettrali del periodo rappresentano un elemento di riscontro dei parametri sopra indicati.	grafico

RISULTATI - MONITORAGGIO PLURIENNALE DEI TEST SITE

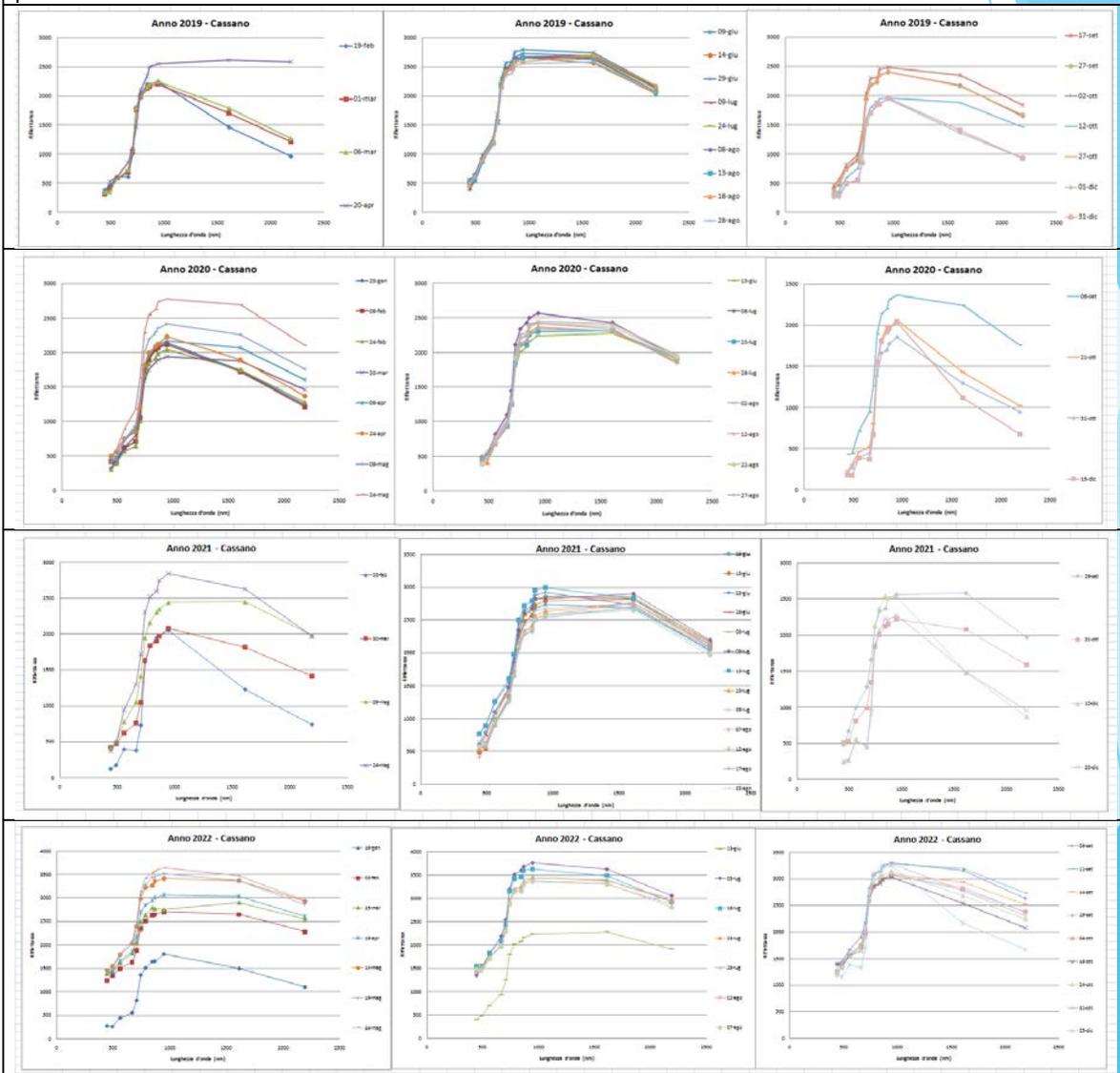
▶ APPLICAZIONE DELLA SCHEDA DEI PARAMETRI

Per il test Site di Venosa, l'uliveto giovanissimo dimostra nel 2022 un migliore livello di contenuto d'acqua e di contenuto di clorofilla per 2 su tre dei periodi (da Giugno a Novembre) rispetto all'anno 2021. L'accrescimento delle piante può aver influito sul miglioramento dei dati di vigoria. Per entrambi gli anni la resa è stata di 80 qli/ha.



RISULTATI-MONITORAGGIO PLURIENNALE DEI TEST SITE

Firme spettrali raggruppate per periodi negli anni 2019-2020-2021 e 2022 del test site in **Cassano delle Murge**, a sinistra si riporta il periodo Gennaio-Maggio, al centro il periodo Giugno-Agosto e a destra il periodo Settembre-Novembre.



- ▶ Per il sito test di Cassano delle Murge dall'analisi multi-anno dal 2019 al 2022, emerge che :
- ▶ per il periodo Gennaio-Maggio il migliore stato di vigoria si è avuto nel 2019
- ▶ per i periodi Giugno-Agosto e Settembre e Dicembre i migliori parametri sono relativi all'anno 2020
- ▶ *l'uliveto sta subendo negli ultimi anni una situazione di carenza di acqua che si ripercuote negativamente sulla resa infatti il raccolto del 2022 è stato il più scarso (solo 200 piante piene di olive sul totale di 3160).*

RISULTATI-METODOLOGIA DI MONITORAGGIO PROTOTIPALE SPAZIO-TEMPO



- ▶ **RILEVAZIONE DI ANOMALIE SPAZIALI**
- ▶ Mappe di NDVI, NDWI, LAI FAPAR e FCOVER danno indicazioni spaziali delle caratteristiche biofisiche e di vigoria delle piante e permettono di evidenziare subaree anomale che meritano ulteriore attenzione (e cosa altrettanto importante aree con comportamento in linea con quanto atteso).



RISULTATI-METODOLOGIA DI MONITORAGGIO PROTOTIPALE SPAZIO-TEMPO

► RILEVAZIONE DI ANOMALIE TEMPORALI

- Modello di Riferimento: Per ogni test site e per ogni periodo dei tre periodi temporali in cui si è frazionato il ciclo vitale della pianta di ulivo si assume come modello di riferimento l'anno con i migliori valori di salute della pianta stimati con la scheda parametri.
- Con l'applicazione della scheda dei parametri e utilizzando il modello di riferimento del sito indagato, potranno essere rilevati comportamenti che si discostano in modo peggiorativo dal modello e che costituiranno le **ANOMALIE TEMPORALI** che dovranno essere ulteriormente investigate per preservare la buona salute delle piante.



CONCLUSIONI

In questo quadro **AMBIENTE in continua evoluzione** a causa dei cambiamenti climatici coprono **un ruolo fondamentale** le missioni di Osservazione della Terra satellitari che rilevano dati sullo stato di salute della vegetazione in modo continuativo (frequenza di rivisitazione ogni settimana) e conveniente (costo del dato grezzo prossimo a zero).

L'informazione spettrale acquisita con le immagini satellitari delle missioni Sentinel-2 e PRISMA copre il range di lunghezze d'onda dal visibile al vicino infrarosso fino allo swir (da 400 nm a 2500 nm) e dall'analisi comparativa risulta che:

1. La firma spettrale della pianta nell'intervallo delle lunghezze d'onda del visibile-vicino infrarosso è ben descritta sia con il dato Sentinel-2 che con il dato PRISMA.
2. Il dettaglio della firma spettrale di PRISMA nell'intervallo di lunghezze d'onda a partire dal vicino infrarosso e fino allo SWIR è rilevante rispetto all'informazione di Sentinel-2.

Per quanto concerne l'accuratezza geometrica delle immagini satellitari, esse sono caratterizzate da una media risoluzione geometrica che varia da 10 a 30 metri, ciò comporta che la **firma spettrale multitemporale** rappresentativa di un appezzamento è **pesata dal contributo** dei seguenti elementi:

1. la distanza tra gli alberi;
2. la tipologia di terreno;
3. l'anzianità delle piante.

Fondamentale importanza per l'attività svolta è stata l'individuazione dei **due test site** di appezzamenti di ulivo, l'appezzamento di Venosa ha rappresentato il caso esempio di buona salute per la tipologia di conduzione ad alta intensità;

l'appezzamento di Cassano delle Murge ha rappresentato il caso di olivicoltura tradizionale con ulivi di età matura ed è stato importante come esempio di studio pluriennale (sono stati analizzate le firme spettrali di 4 cicli annuali).

L'applicazione delle tecniche di elaborazione e di studio delle informazioni spettrali ha messo in evidenza come **le informazioni spettrali dei satelliti Sentinel-2, per la coltura dell'ulivo, permettono di rilevare anomalie spaziali**, per esempio aree con vigoria più bassa rispetto all'area circostante nel singolo appezzamento e **anomalie temporali**, cioè periodi del ciclo annuale di sviluppo della pianta in cui si registrano scostamenti peggiorativi misurando parametri definiti dalle informazioni spettrali (scheda dei parametri).

Per quanto concerne l'anomalia temporale derivante dall'applicazione della metodologia prototipale di controllo della salute dell'olivo sviluppata e denominata scheda dei parametri risulta fondamentale aggiungere che la validità del metodo applicato allo specifico appezzamento necessita di una attività di adattamento/sperimentazione che abbia la duplice finalità di verificare la corrispondenza dell'anomalia misurata con le condizioni che l'hanno provocata e di definizione del periodo-anno di riferimento di buona salute da utilizzare nelle valutazioni comparative per i periodi a seguire.

Grazie per la cortese attenzione!



Angela Losurdo
EARTH OBSERVATION AND ENVIRONMENT

GEOCART S.p.A.
Viale Del Basento, 120 | 85100 POTENZA (PZ) – ITALY
Sottoposta all'attività di direzione e coordinamento di **AKC Holding S.p.A.**
Phone and Fax: +39 (0)971.56671
e-mail: a.losurdo@geocart.net
URL: www.geocart.net