

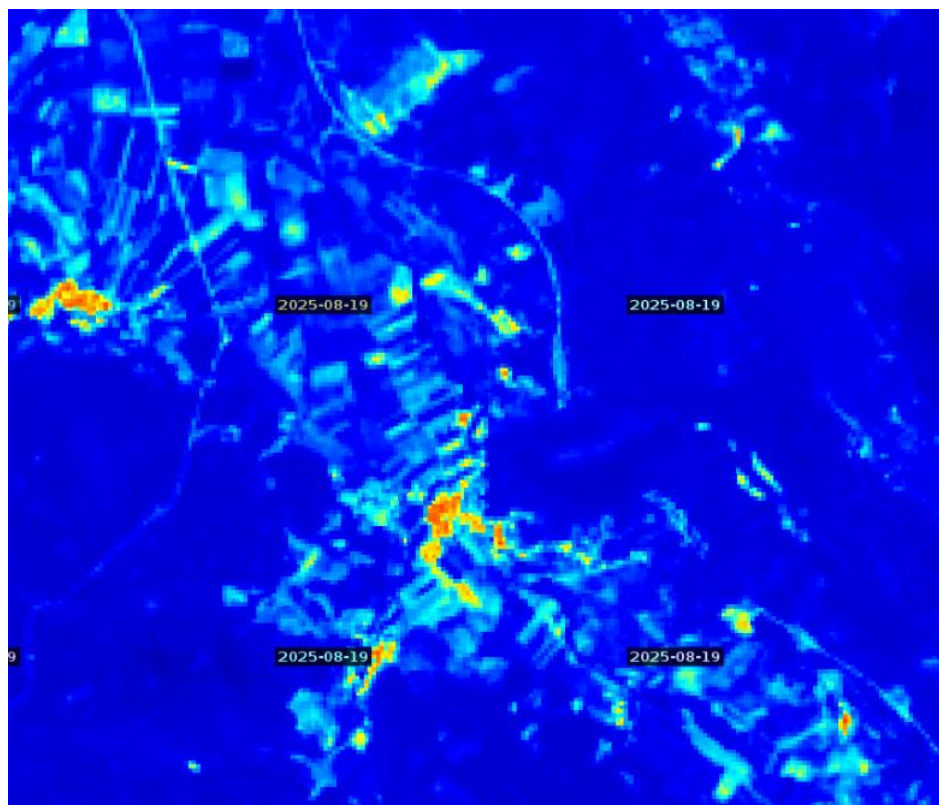
IRRIGAVIT - Irrigazione razionale e gestione del suolo in viticoltura
transfrontaliera

IRRIGAVIT - Racionalno namakanje in upravljanje tal v čezmejnem
vinogradništvu

D 2.1.1 Report degli indici multispettrali de satellite

D 2.1.1 Poročilo o multispektralnih indeksih

Foto rappresentativa / Predstavniška fotografija / slika



Numero progetto/Projektna številka	ITA-SI0100043
Acronimo/Akronim	IRRIGAVIT
Titolo Progetto/ Projektni naslov	Irrigazione razionale e gestione del suolo in viticoltura transfrontaliera / Racionalno namakanje in upravljanje tal v čezmejnem vinogradništvu
Budget totale/celotni znesek	€ 617.325,98
Di cui Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR)/ od tega Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR)	€ 493.860,78
Durata/Trajanje	01/10/2023 – 31/12/2025
WP e attività/DP in dejavnost	WP 2.1
Titolo Deliverable/ Naslov Dosežka	D 2.1.1 Report degli indici multispettrali da satellite Poročilo o satelitskih multispektralnih indeksih
WP leader /DP vodja	UNIUD
Autore/Autor	Marko Zore, Alen Mangafić, Blaž Barborič
Giorno di consegna/Dan izdaje	22/09/2025
Status/Status	Versione Finale/ Končna verzija
Partner/Partnerji:	
LP/VP- giver: Università degli studi di Udine -Di4A (UNIUD)	
Partner 2- giver: Università Ca' Foscari di Venezia (UNIVE)	
Partner 3- giver: Kmetijski Inštitut Slovenije (KIS)	
Partner 4- giver: Geodetski Inštitut Slovenije (GIS)	
Partner 5 - taker: Consorzio Tutela Vini Friuli Colli Orientali e Ramandolo (CON)	
Partner 6 - taker: RRA SEVERNE PRIMORSKE d.o.o. Nova Gorica (RAA)	

INTRODUZIONE

La viticoltura nell'area transfrontaliera tra Italia e Slovenia si confronta sempre più frequentemente con le conseguenze del cambiamento climatico: siccità ricorrenti, stress idrico prolungato ed eventi meteorologici estremi minacciano quantità e qualità delle uve, compromettendo la sostenibilità dell'intero sistema agricolo. Il progetto **IRRIGAVIT – Irrigazione razionale e gestione del suolo in viticoltura transfrontaliera**, avviato il 1° ottobre 2023 e cofinanziato nell'ambito del programma Interreg VI-A Italia–Slovenia 2021–2027, si propone di migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua nei vigneti e rafforzare la resilienza del settore vitivinicolo mediante l'introduzione di buone pratiche agronomiche e strumenti tecnologici avanzati. IRRIGAVIT valorizza i risultati del precedente **ACQUAVITIS – Soluzioni innovative per l'uso efficiente dell'acqua in viticoltura transfrontaliera**, che ha introdotto un approccio ecosistemico all'irrigazione di soccorso e alla gestione del suolo in tre aree pilota (Vipavska Dolina, Carso e Bassa Friulana), attraverso l'uso di tecnologie verdi, telerilevamento, DSS e pratiche agronomiche orientate all'ottimizzazione del bilancio idrico. **IRRIGAVIT** amplia questi protocolli e pratiche, con supporto tecnico-specialistico, in due nuove aree chiave – **Colli Orientali del Friuli e Brda** – con l'obiettivo di trasferire l'innovazione ai viticoltori e ai principali decisori pubblici.

Capofila del progetto è l'**Università degli Studi di Udine – Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali (Di4A)**. Completano il partenariato sei organizzazioni:

- **Università Ca' Foscari di Venezia**
- **Kmetijski Inštitut Slovenije (KIS)**
- **Geodetski Inštitut Slovenije (GIS)**
- **RRA SEVERNE PRIMORSKE d.o.o. Nova Gorica**
- **Consorzio Tutela Vini Friuli Colli Orientali e Ramandolo**

E **undici partner associati**:

- ARPA FVG - Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Friuli Venezia Giulia
- Regione autonoma Friuli Venezia Giulia
- Veneto Agricoltura
- Consorzio Tutela Prosecco doc, Area tecnicoambientale
- ERS-Agenzia regionale per lo Sviluppo Rurale del Friuli Venezia Giulia
- Univerza v Novi Gorici
- Konzorcij Brda
- Regionalna razvojna agencija za Podravje – Maribor
- Università degli Studi di Padova
- Kohezijska regija Vzhodna Slovenija
- Center za podpora podjetjem pri razvijanju zelenih tehnologij d.o.o.

Il progetto si concentra su due obiettivi principali: da un lato, la **validazione e l'adattamento delle strategie tecniche per una gestione ottimizzata dell'acqua**; dall'altro, la **definizione di nuove linee guida condivise**, da integrare nei disciplinari di produzione vitivinicola e nelle politiche agricole nazionali e regionali, con l'ambizione di estenderle anche ad altri territori. Il progetto si concluderà il **31 dicembre 2025** con la firma di un **impegno congiunto** tra partner e policy-maker per l'adozione ufficiale delle nuove **linee guida IRRIGAVIT**.

UTILIZZO DEI DATI DI TELERILEVAMENTO

Un aspetto importante nella lotta contro la siccità, lo stress idrico prolungato e gli eventi meteorologici estremi è il monitoraggio e il controllo regolare dei valori agrometeorologici nelle aree viticole, che durante il periodo vegetativo influenzano il raccolto finale.

Al giorno d'oggi, con lo sviluppo della tecnologia, si sta ampliando la gamma di approcci possibili per risolvere questo problema. Tra questi vi è anche l'uso dei satelliti, ovvero il metodo del telerilevamento. Lo sviluppo dei satelliti e la rapida elaborazione automatizzata e distribuzione delle immagini tramite servizi commerciali accessibili consentono oggi il monitoraggio in tempo reale delle immagini anche per scopi vitivinicoli.

Nel nostro caso abbiamo utilizzato i dati Sentinel-2, gestiti dall'Agenzia spaziale europea (ESA), e Landsat 8, gestiti dall'Agenzia spaziale americana (NASA). È anche possibile acquistare servizi economici per l'elaborazione complessa dei dati grezzi; nel nostro caso abbiamo utilizzato l'ambiente Sentinel Hub Services.

La revisione delle misurazioni satellitari e la loro interpretazione sono disponibili sul portale web sviluppato nell'ambito del progetto - <https://www.acquavitis.eu/sl/prostorski-podatki/satelitski>. Nell'ambito del progetto è stato inoltre sviluppato un rapporto in formato PDF che consente di stampare e salvare i dati visualizzati o i risultati sotto forma di rapporto per una successiva revisione.

Acquisizione dei dati satellitari e loro interpretazione

Il servizio Sentinel Hub utilizzato consente di colmare il divario tra la complessa elaborazione dei dati grezzi dei sensori satellitari e il loro utilizzo efficace e efficiente per l'esecuzione di misurazioni concrete e utili sulla superficie terrestre per una vasta gamma di scopi. Il compito principale dell'elaborazione dei dati grezzi è quello di aggiungere alle valori misurati dai sensori satellitari una componente spaziale e temporale adeguata.

Il servizio utente stesso rappresenta un'interfaccia web che consente l'ulteriore manipolazione dei valori misurati dai sensori satellitari sotto forma di calcolo di vari indici di contenuto e creazione di servizi web per l'acquisizione e la ricerca di dati predefiniti.

Ai fini del progetto, abbiamo definito e calcolato i seguenti indici dai dati del satellite Sentinel-2:

- Indice di siccità normalizzato (NMDI)
- Indice di umidità differenziale normalizzato (NDMI)
- Indice di vegetazione differenziale normalizzato (NDVI)

Dai valori dei sensori Landsat 8 abbiamo calcolato la temperatura superficiale in °C (LST).

Gli indici occupano un determinato intervallo di valori, mentre il fenomeno viene interpretato e definito classificando i valori misurati in intervalli di valori predefiniti all'interno di tale intervallo. A seconda dell'uso dei sensori utilizzati, gli indici si distinguono anche in base alla risoluzione. Gli indici sono caratterizzati dai seguenti intervalli di valori e risoluzioni:

- NMDI -> intervallo di valori da 0 a 1, risoluzione 20 m x 20 m
- NDMI -> intervallo di valori da -1 a 1, risoluzione 20 m x 20 m
- NDVI -> intervallo di valori da -1 a 1, risoluzione 10 m x 10 m
- LST -> intervallo di valori da -50 °C a 90 °C, risoluzione 100 m x 100 m

Nell'ambito del servizio definiamo i servizi WMS e WFS per gli indici preparati, che consentono la trasmissione dei dati al portale del progetto, sul quale visualizziamo e interpretiamo i dati satellitari.

Ai fini della visualizzazione dei valori misurati degli indici in formato raster, attribuiamo ai valori un intervallo di valori una scala cromatica concordata. Nel nostro caso utilizziamo scale cromatiche già utilizzate in precedenza nell'ambito di altri progetti e che sono più rappresentative degli indici utilizzati. Ai fini della visualizzazione vengono utilizzate le seguenti scale cromatiche:

- NMDI -> i colori passano dal rosso scuro (0) al giallo (0,4) fino al verde scuro (1)
- NDMI -> i colori passano dal rosso scuro (-1) al giallo (-0,3), al verde (0) e al blu scuro (1)
- NDVI -> i colori passano dal rosso scuro (-0,2) al giallo (0,4) fino al verde scuro (1)
- LST -> i colori passano dal blu scuro (-50 °C) al bianco (0 °C) fino al rosso scuro (90 °C)

Le aree dei valori misurati, definiti dalla risoluzione, sono geolocalizzate e possono essere visualizzate su mappe cartografiche. Per il periodo in cui il satellite sorvola l'area in questione, è possibile tracciare una rete di valori misurati che copre l'area osservata nella scala cromatica concordata.

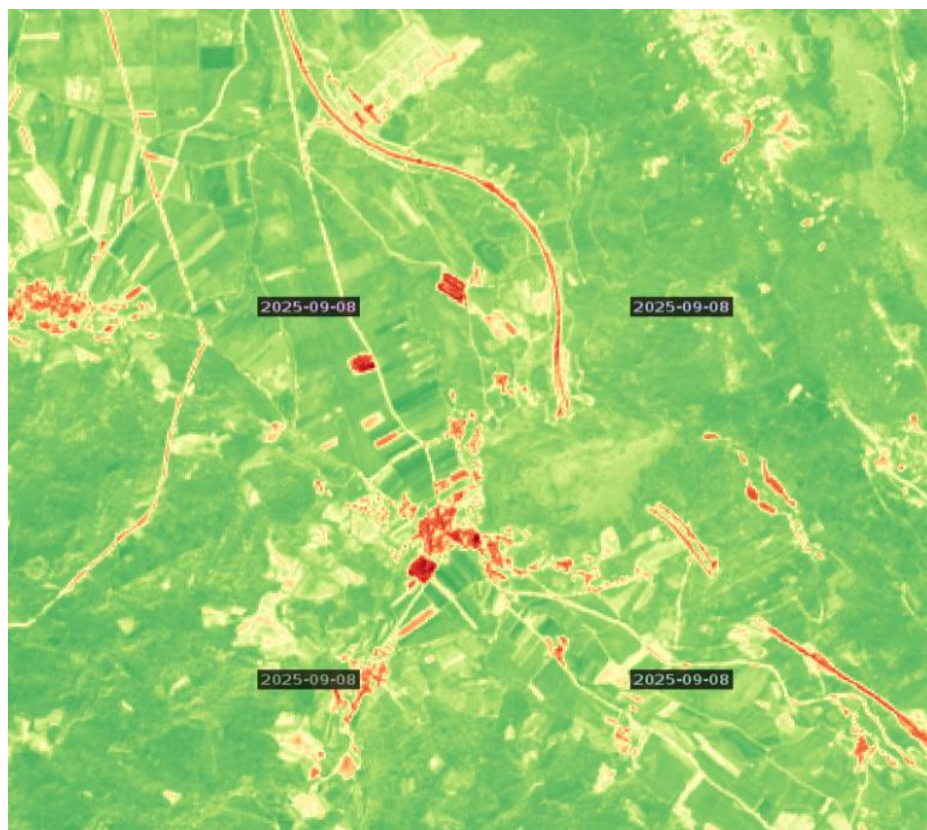


Figura 1: Esempio di rappresentazione NDVI nella scala cromatica selezionata. I diversi livelli di vegetazione sono rappresentati da sfumature di verde, mentre l'assenza di vegetazione è rappresentata da sfumature di rosso.

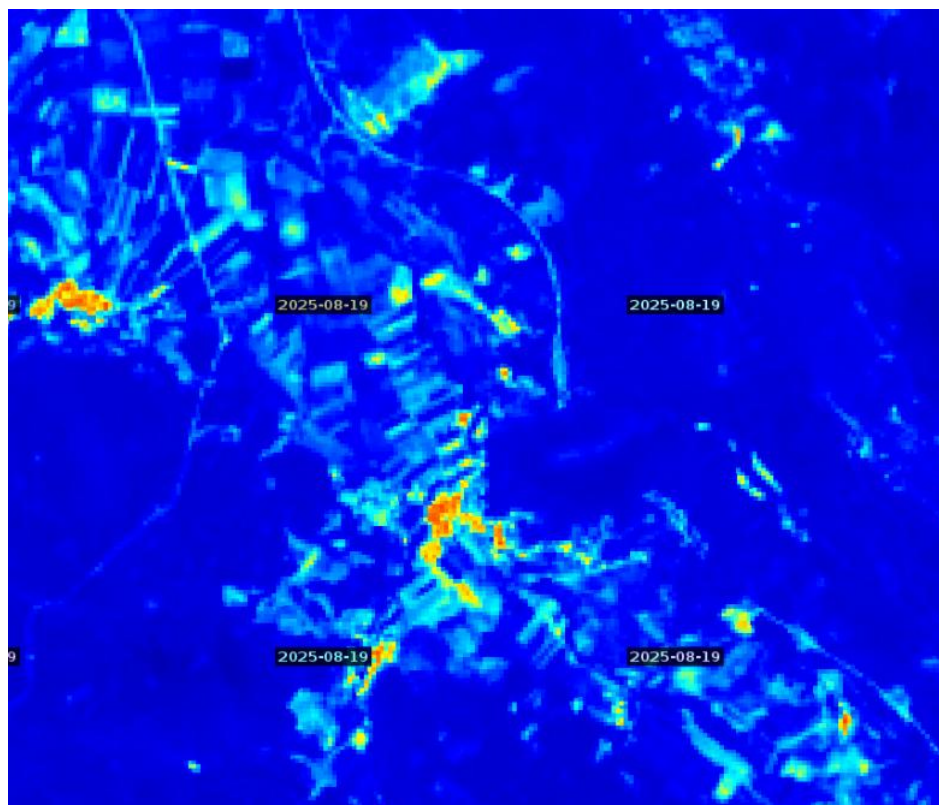


Figura 2: Esempio di rappresentazione dell'NDVI nella combinazione di colori selezionata. Le tonalità blu scuro riflettono una vegetazione con basso stress idrico.

Utilizzo delle serie temporali

I dati satellitari sono disponibili per ogni sorvolo, che viene effettuato ogni due o tre giorni per la stessa area sulla superficie, a condizione che le misurazioni non siano oscurate dalle nuvole. Dalle serie di misurazioni così ottenute è possibile creare una serie temporale di valori per l'area o la località in questione. Fanno eccezione i giorni nuvolosi, per i quali sono utilizzabili solo le misurazioni effettuate in giorni sereni o parzialmente nuvolosi. Per la raccolta dei valori dei giorni parzialmente nuvolosi è utile il filtro di nuvolosità sviluppato dall'intermediario di dati satellitari "Sentinel Hub", che consente di riconoscere ed eliminare i valori misurati sulle nuvole. Il portale dispone di una barra temporale che consente di passare dalla visualizzazione dei valori in un giorno selezionato a quella delle misurazioni utilizzabili.

È possibile analizzare le differenze temporali per aree selezionate più ampie, come mostrato nella figura 3.

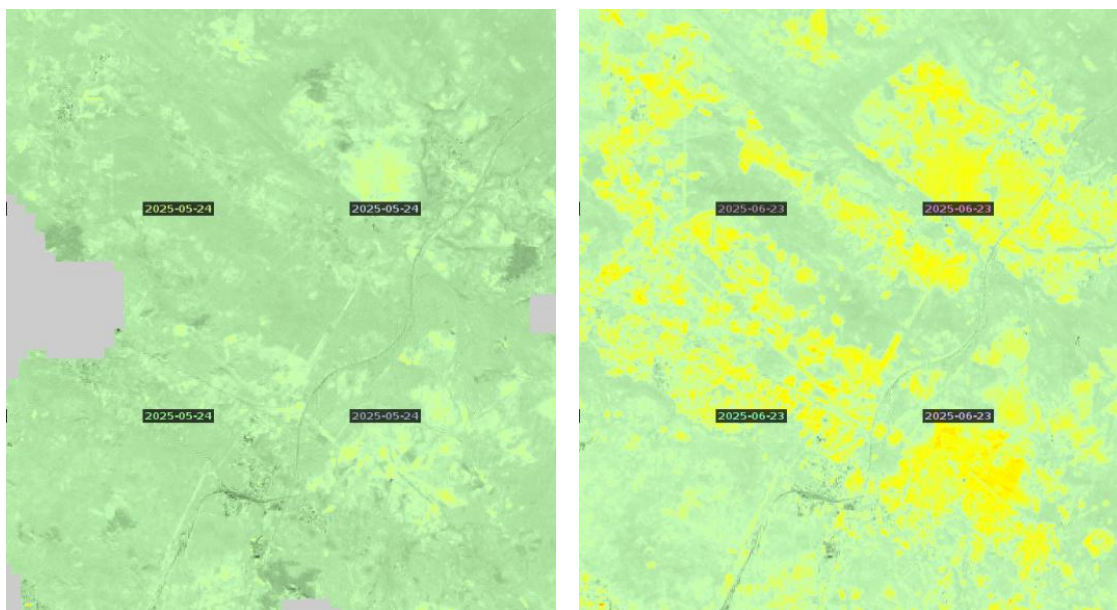


Figura 3: valori NMDI al 24.5.2025 e al 23.6.2025 nell'area del Carso sloveno – in base ai valori che indicano una condizione di "molto umido" nell'area, prevalentemente in tonalità di verde, dopo il mese di giugno secco i valori dell'indice sono scesi al livello di "umido", che si riflette prevalentemente nelle tonalità di giallo dei valori dell'indice rilevati in superficie.

Le differenze nel tempo possono essere studiate anche in modo puntuale, per una determinata località selezionata. Il portale consente anche il confronto reciproco di due località sulla mappa, che può essere visualizzato anche sotto forma di grafico (figura 4).

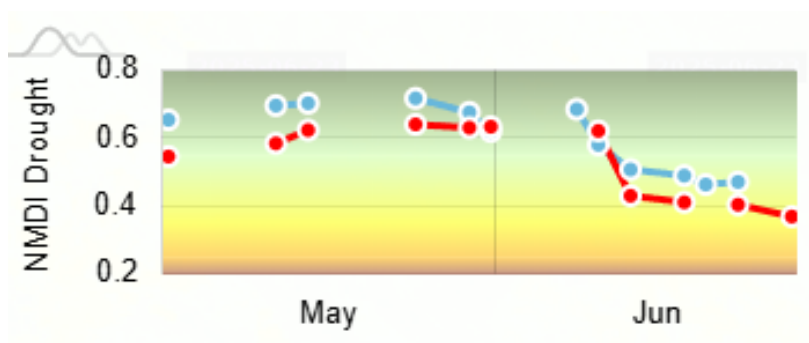


Figura 4: valori NMDI a maggio e giugno 2025 per due località selezionate nel Carso sloveno. A maggio i valori dell'indice erano compresi tra 0,6 e 0,7, il che viene interpretato come una condizione di "molto umido", mentre a giugno i valori sono scesi a 0,4-0,5, il che viene interpretato come una condizione di "umido". Se il mese di giugno secco fosse proseguito anche a luglio, i valori avrebbero raggiunto lo stato "secco", il che avrebbe indicato una siccità.

Parte del rapporto in formato PDF

Il portale consente un'analisi efficace dei parametri di siccità della superficie su richiesta per periodi arbitrari nel passato, ma non consente di salvare i risultati per una visione successiva. A tal fine è stata sviluppata la funzionalità di esportazione della query in un documento PDF, che prepara i risultati della query in un formato chiaro e comprensibile.

L'utente può selezionare sul portale il periodo di tempo da esaminare e una o due località sulla mappa per le quali desidera ottenere i risultati su richiesta. Il risultato visualizzato sullo schermo può essere esportato in un documento PDF in lingua slovena, italiana o inglese premendo un pulsante e salvato sul proprio computer.

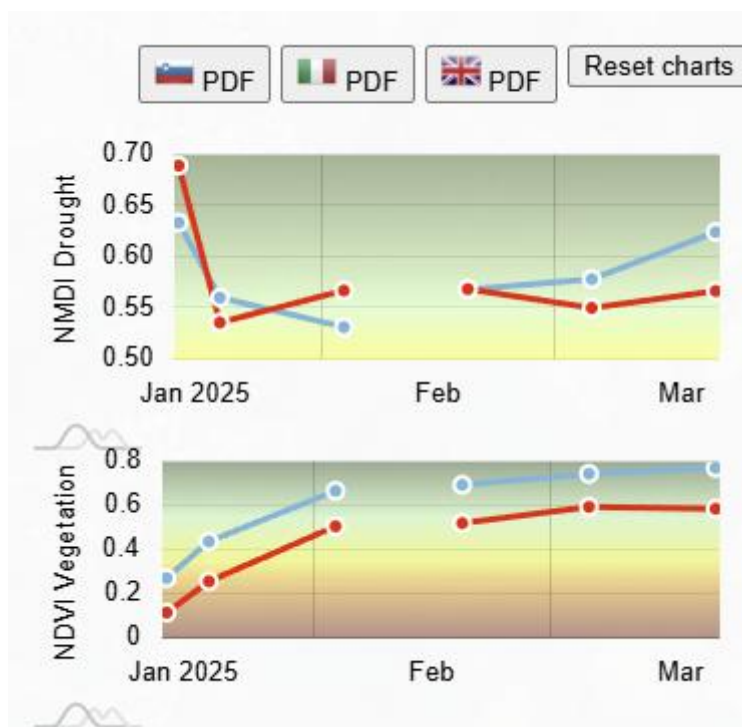


Figura 5: Grafici interattivi sul portale Irrigavit con i valori degli indici e pulsanti per l'esportazione del rapporto in formato PDF in tre lingue

Il documento PDF di report è composto da pagine preliminari con una rappresentazione cartografica delle località selezionate e una rappresentazione dei valori per i tre indici e la temperatura superficiale sotto forma di grafici con descrizioni per una corretta interpretazione dei valori.

La pagina con la rappresentazione dei valori di ciascuno degli indici è composta da quattro elementi di contenuto (Figura 6):

- 1 – valori dell'indice per il periodo di tempo selezionato rappresentati sotto forma di grafico a linee per una o due località selezionate. Per facilitare l'interpretazione, lo sfondo del grafico è colorato secondo la scala cromatica descritta al punto 2
- 2 – intervallo teorico dei valori dell'indice visualizzato sulla scala cromatica. L'intervallo di valori è suddiviso in modo continuo tra diverse tonalità di colore, il che facilita l'interpretazione dei valori. Gli stessi colori sono visualizzati in modo interattivo sullo sfondo del grafico (punto 1) e sulla cart a del portale, consentendo un confronto diretto.
- 3 – tabella che mostra l'intervallo di valori dell'indice suddiviso in classi di frequenza con l'indicazione dello stato del fenomeno in natura corrispondente a ciascuna classe. Queste informazioni aiutano l'utente a comprendere lo stato del fenomeno in natura e il suo impatto sulla produzione vitivinicola.
- 4 – descrizione generale dell'indice di vegetazione e del suo significato

NDMI Indeks vlažnosti

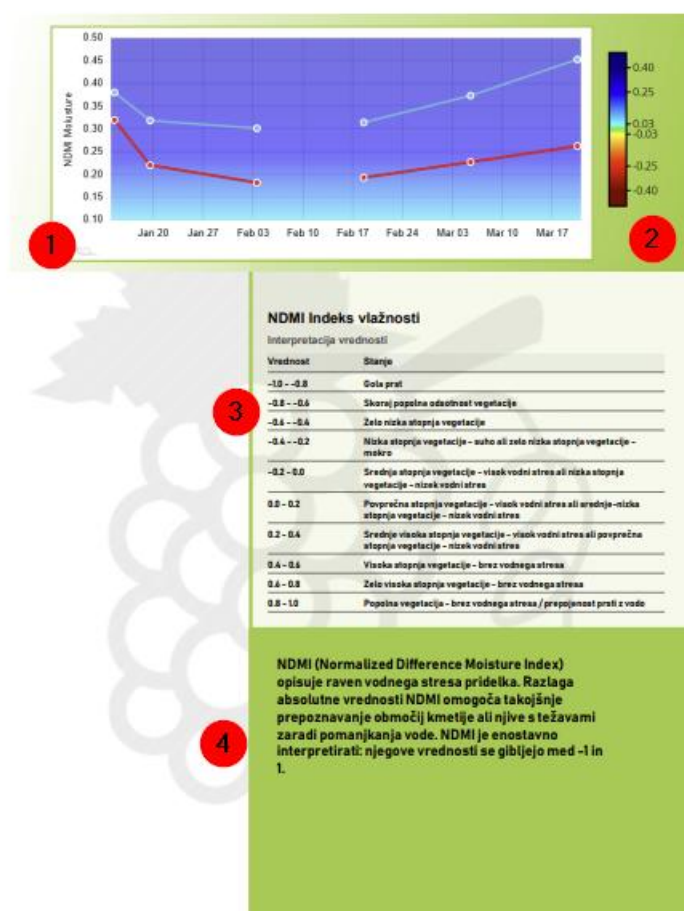


Figura 6: Esempio di pagina con la presentazione del valore di uno degli indici di vegetazione.

Prima della descrizione dei valori degli indici stessi, vengono mostrate una o due pagine preliminari per l'orientamento e la collocazione spaziale delle località selezionate a cui si riferiscono i valori degli indici presentati nel seguito. Ciò consente all'utente o al lettore del documento di localizzare spazialmente le località selezionate. Sono visualizzati due livelli: un livello con una mappa topografica in scala ridotta per un orientamento approssimativo e un livello con una base ortofotografica in scala maggiore per un orientamento più dettagliato nello spazio (Figura 7). In caso di selezione di due località, oltre alle mappe delle singole località, viene visualizzata anche una mappa con entrambe le località contemporaneamente.

Položaj 1

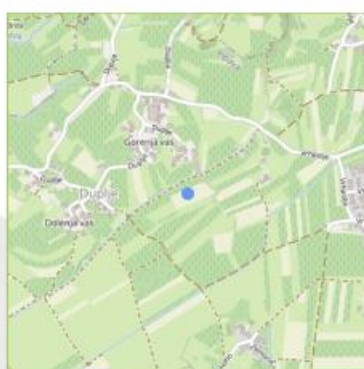


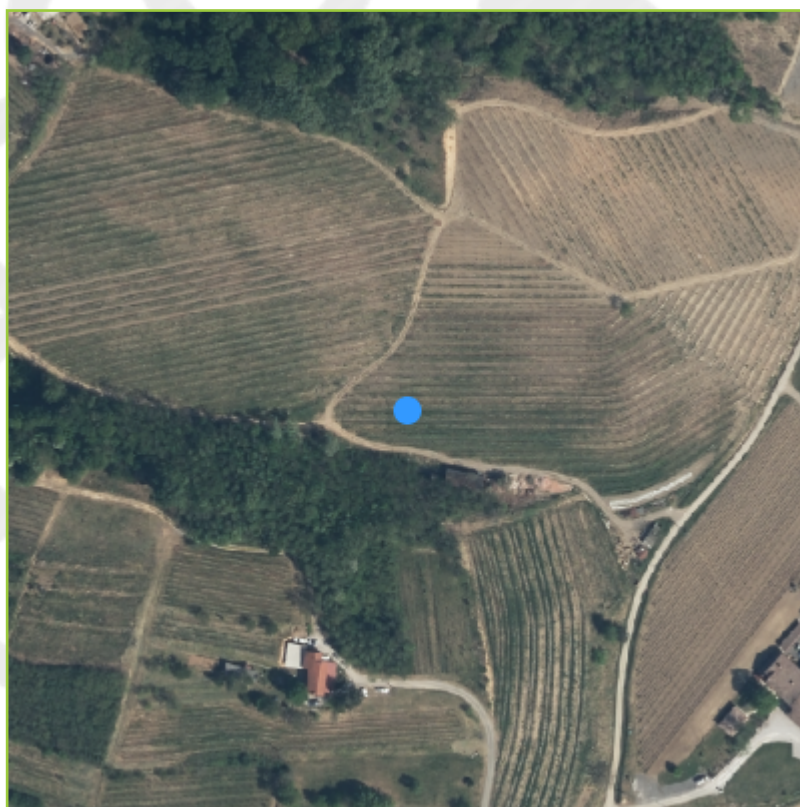
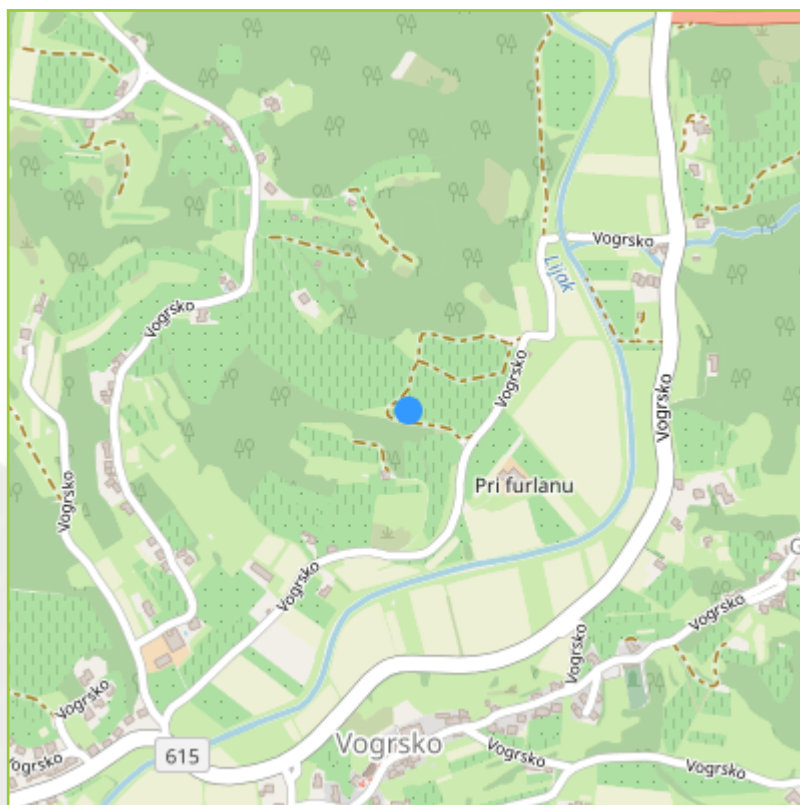
Figura 7: Pagina iniziale per l'orientamento e la localizzazione spaziale della località selezionata.



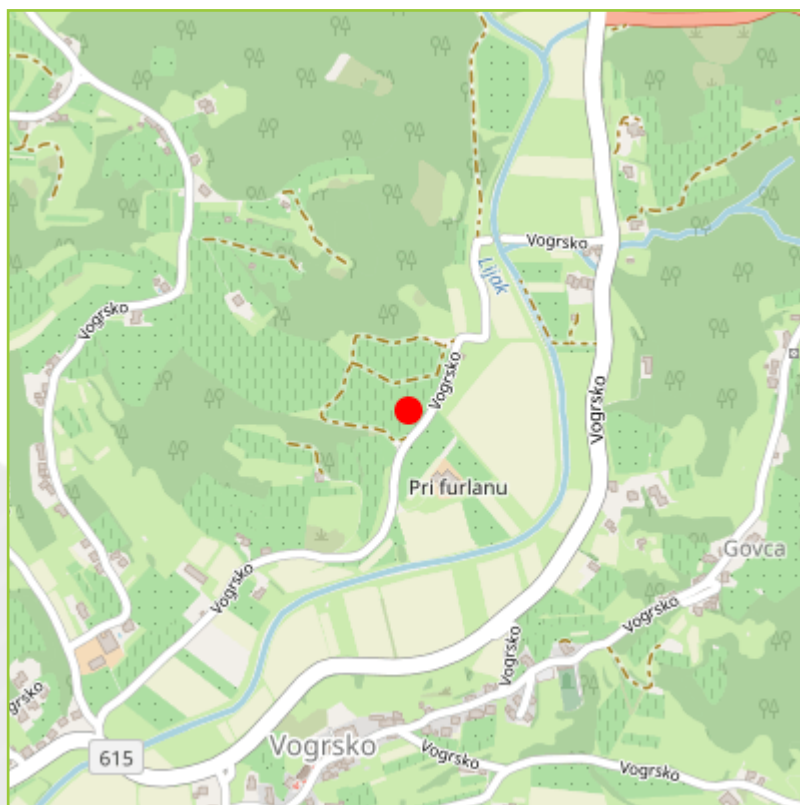
RAPPORTO sui valori satellitari

*RAPPORTO SUI VALORI DEI PARAMETRI AGROMETEOROLOGICI NEL
PERIODO 11.2.2025 - 13.3.2025*

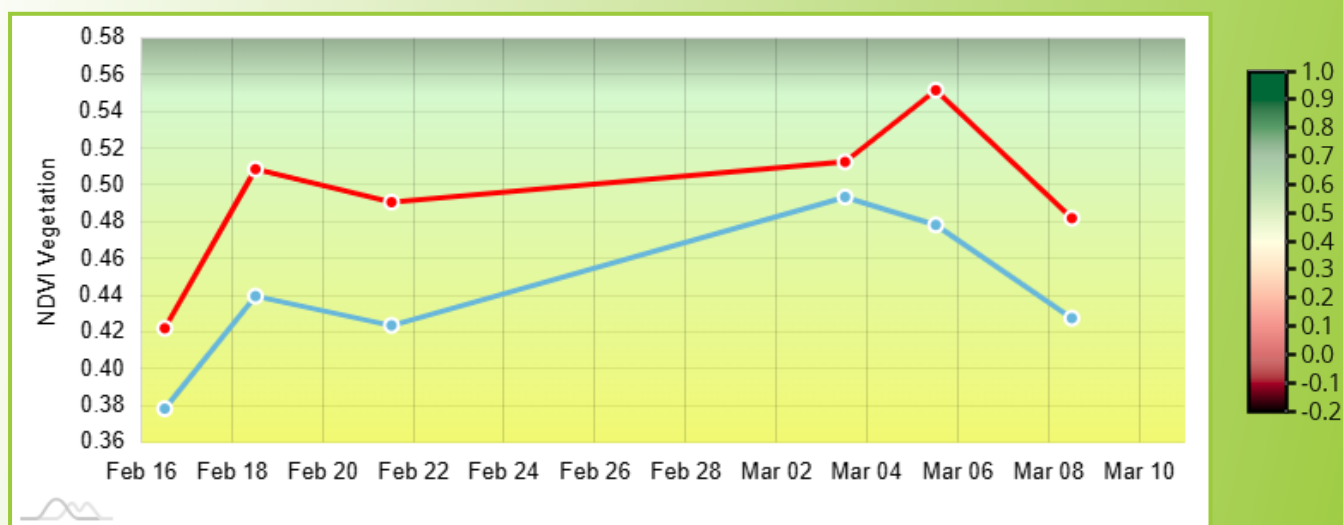
Posizione 1



Posizione 2



NDVI Vegetazione



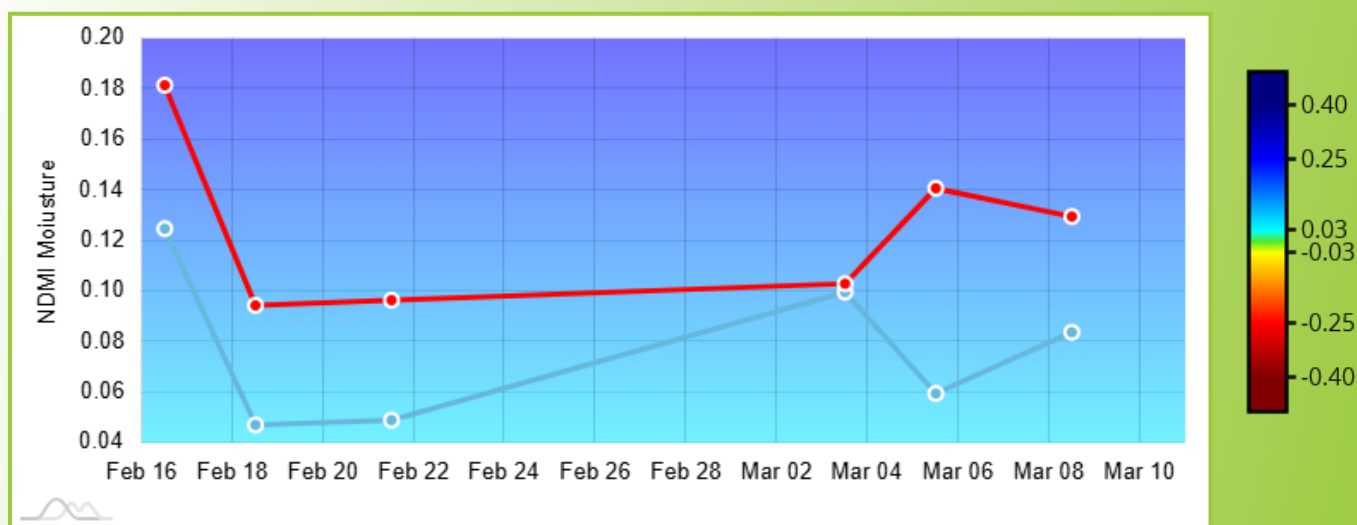
NDVI Vegetazione

Interpretazione del valore

Valore	Condizione
0.0 - 0.1	Suolo nudo
0.1 - 0.2	Copertura del baldacchino quasi assente
0.2 - 0.3	Copertura del baldacchino molto bassa
0.3 - 0.4	Bassa copertura del baldacchino, bassa vitalità o molto bassa copertura del baldacchino, alta vitalità
0.4 - 0.5	Copertura del baldacchino medio-bassa, bassa vitalità o bassa copertura del baldacchino, alta vitalità
0.5 - 0.6	Copertura del baldacchino media, bassa vitalità o copertura del baldacchino medio-bassa, alta vitalità
0.6 - 0.7	Copertura del baldacchino medio-alta, bassa vitalità o copertura del baldacchino media, alta vitalità
0.7 - 0.8	Alta copertura del baldacchino, alta vitalità
0.8 - 0.9	Molto alta copertura del baldacchino, molto alta vitalità
0.9 - 1.0	Copertura del baldacchino totale, molto alta vitalità

L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) descrive il livello di vigore della coltura. L'interpretazione del valore assoluto dell'NDVI è altamente informativa, poiché consente il riconoscimento immediato delle aree dell'azienda agricola o del campo che presentano problemi. L'NDVI è un indice semplice da interpretare: i suoi valori variano tra -1 e 1.

NDMI Umidità



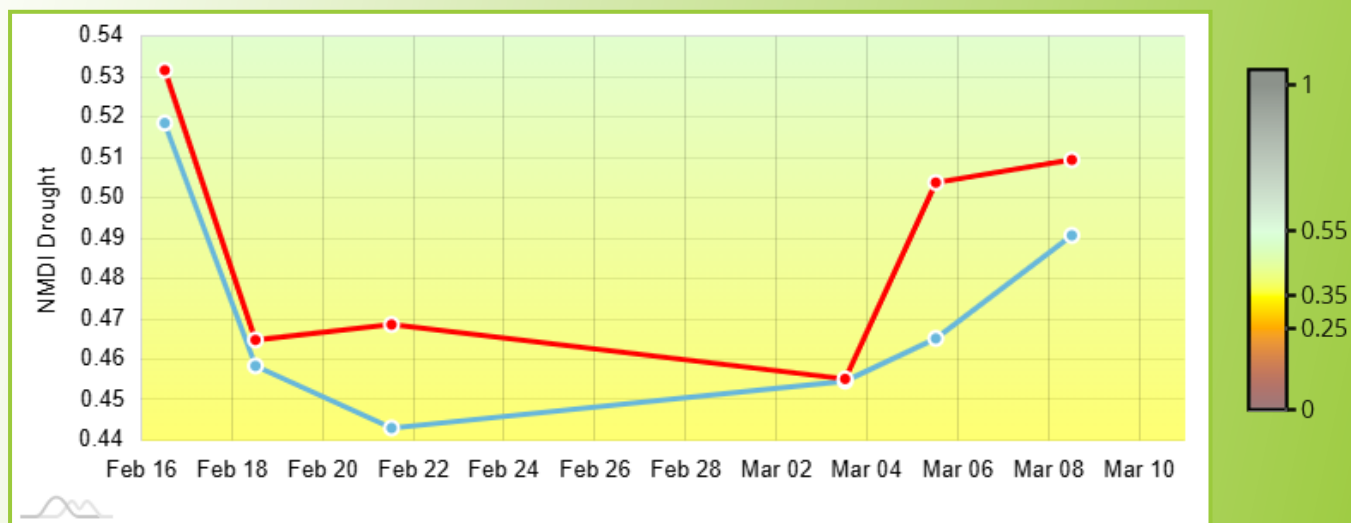
NDMI Umidità

Interpretazione del valore

Valore	Condizione
-1.0 - -0.8	Suolo nudo
-0.8 - -0.6	Copertura del baldacchino quasi assente
-0.6 - -0.4	Copertura del baldacchino molto bassa
-0.4 - -0.2	Bassa copertura del baldacchino, secca o molto bassa copertura del baldacchino, umida
-0.2 - 0.0	Copertura del baldacchino medio-bassa, forte stress idrico o bassa copertura del baldacchino, stress idrico basso
0.0 - 0.2	Copertura del baldacchino media, forte stress idrico o copertura del baldacchino medio-bassa, stress idrico basso
0.2 - 0.4	Copertura del baldacchino medio-alta, forte stress idrico o copertura del baldacchino media, stress idrico basso
0.4 - 0.6	Alta copertura del baldacchino, nessun stress idrico
0.6 - 0.8	Molto alta copertura del baldacchino, nessun stress idrico
0.8 - 1.0	Copertura del baldacchino totale, nessun stress idrico/idromorfismo

L'NDMI (Normalized Difference Moisture Index) descrive il livello di stress idrico della coltura. L'interpretazione del valore assoluto dell'NDMI rende possibile riconoscere immediatamente le aree dell'azienda agricola o del campo con problemi di stress idrico. L'NDMI è di facile interpretazione: i suoi valori variano tra -1 e 1.

NMDI Siccità



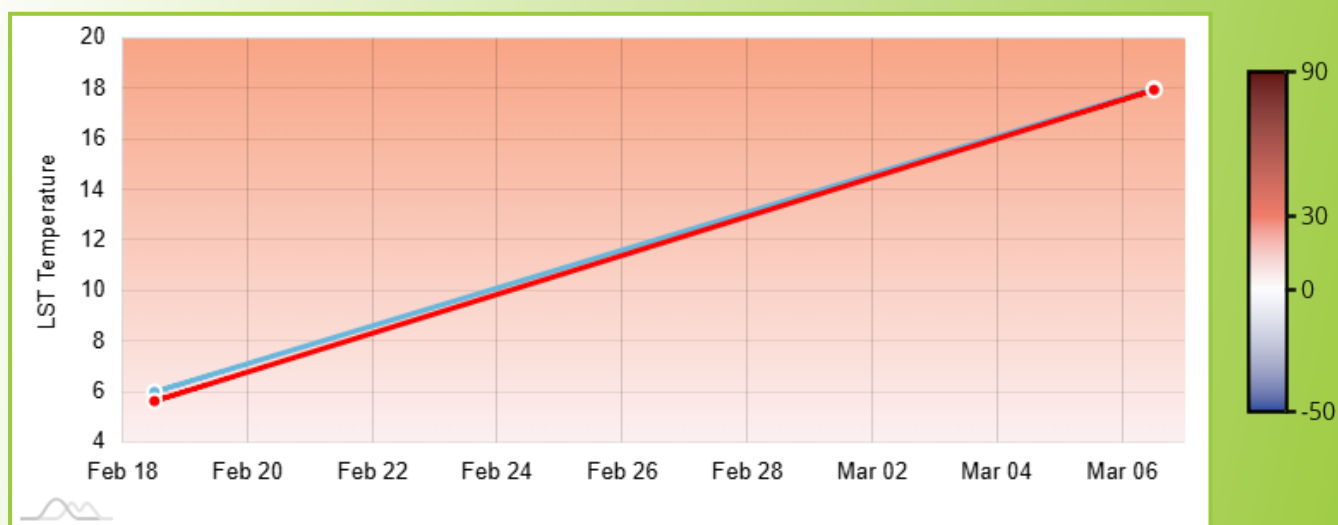
NMDI Siccità

Interpretazione del valore

Valore	Condizione
> 0,7	Condizione del terreno asciutto
0,6 - 0,7	Condizione intermedia
< 0,6	Condizione del terreno umido

Un nuovo indice di umidità, il Normalized Multi-band Drought Index (NMDI), è proposto per il telerilevamento del contenuto di acqua del suolo e della vegetazione dallo spazio. I risultati preliminari suggeriscono che per il terreno nudo o le aree con scarsa vegetazione, un pixel verrà mappato come condizione di terreno asciutto se NMDI è $\geq 0,7$, intermedio se NMDI è compreso tra 0,6 e 0,7 e bagnato se NMDI è $< 0,6$. Mentre per le aree ad alta vegetazione con $LAI \geq 2$, la prestazione di NMDI è simile a NDWI e NDII. Pertanto, combinando le informazioni provenienti da più canali NIR e SWIR, l'NMDI ha migliorato la sensibilità alla gravità della siccità ed è particolarmente adatto per stimare il contenuto di acqua sia per il suolo che per la vegetazione.

LST Temperatura



LST Temperatura

Interpretazione del valore

Valore	Condizione
> 35°C	Sovrarisaldamento del suolo - la sopravvivenza delle radici può essere negativamente influenzata, il che può portare alla morte delle radici
~24°C	Riscaldamento del suolo - promuove la crescita delle parti aeree aumentando l'utilizzo delle riserve di amido
~13°C	Raffreddamento del suolo - accumulo di amido, spartizione della biomassa nel sistema radicale

Questa visualizzazione termica si basa sulla banda 10 (una banda è una regione dello spettro elettromagnetico; un sensore satellitare può visualizzare la Terra in bande diverse). Alla lunghezza d'onda centrale di 10895 nm misura nell'infrarosso termico, o TIR. Invece di misurare la temperatura dell'aria, come fanno le stazioni meteorologiche, la banda 10 la riporta sul terreno stesso, che spesso è molto più caldo. La banda termica 10 è utile per fornire temperature superficiali e viene raccolta con una risoluzione di 100 metri.