

Dati telerilevati su QGIS

ISPRA

Data

Indice

- Telerilevamento
- Prodotti Copernicus di copertura del suolo
- Introduzione alle immagini satellitari
- Scaricamento e processamento di immagini Sentinel-2
- Analisi firme spettrali
- Classificazione della copertura del suolo
- Calcolo delle superfici
- Calcolo dell'accuratezza della classificazione
- Calcolo del cambiamento di copertura del suolo

Telerilevamento

Il **telerilevamento** può essere definito come una scienza che permette di rilevare le caratteristiche di oggetti, sia qualitative che quantitative, senza il contatto diretto con essi.

(JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing)

Include:

- Eventuale sistema di trasporto (satellite, aereo, drone)
- Sistema di rilievo e registrazione (ottica e sensore)
- Prodotto (immagine digitale)
- Strumenti di analisi (hardware e software)

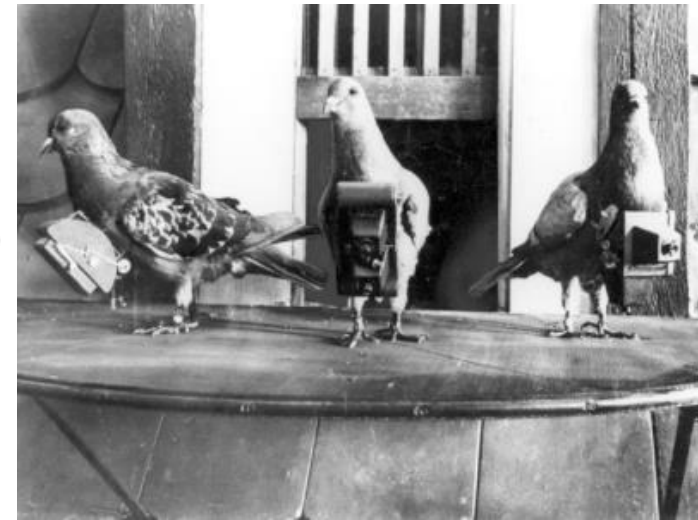


Immagine: 1903 piccioni con macchina fotografica. Image Credit: NASA.

Sfrutta il modo differente con cui i materiali riflettono le onde elettromagnetiche che *per esempio* arrivano dal sole.

Telerilevamento

Tipologie di telerilevamento

In base alla fonte della radiazione elettromagnetica si distingue:

Telerilevamento attivo:

la radiazione è emessa da un componente del sistema di telerilevamento stesso e ne misura la parte riflessa dall'oggetto di osservazione (sistemi Radar 'Radio Detection And Ranging')

Telerilevamento passivo:

rileva la radiazione emessa dall'elemento oggetto di osservazione (regione dello spettro elettromagnetico dell'infrarosso termico), o la parte di radiazione emessa dal Sole che viene riflessa dall'oggetto (regione del visibile, dell'infrarosso vicino, etc.)

Prodotti Copernicus di osservazione della terra

Programma Copernicus



PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION



Copernicus è il programma di osservazione della Terra dell'Unione europea, dedicato a monitorare il nostro pianeta e il suo ambiente a beneficio di tutti i cittadini europei. Offre servizi di informazione basati sull'osservazione satellitare della Terra e dati in situ (non spaziali).



Sentinel-1

Day and night radar imagery for land and ocean services

High-resolution optical imagery for land services



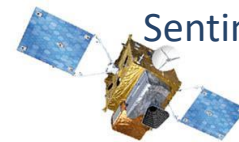
Sentinel-2



Sentinel-3

Optical, radar and altimetry data for marine and land services

Provide data, with a fast (hourly) revisit time, for atmospheric composition monitoring



Sentinel-4



Sentinel-5

Dedicated to atmospheric composition monitoring

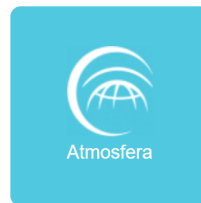
Provides high accuracy altimetry for measuring global sea-surface height

Sentinel-6



I servizi di informazione forniti sono accessibili agli utenti del programma in modo **libero e gratuito**.

SERVIZI COPERNICUS



Atmosfera



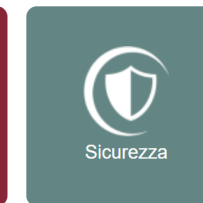
Ambiente marino



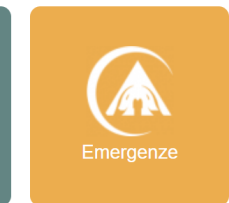
Territorio



Cambiamenti climatici



Sicurezza



Emergenze

Prodotti Copernicus di copertura del suolo (<https://land.copernicus.eu/>)

CLMS portfolio



- Portfolio overview
- Full-coverage Land Cover & Use
- Land Cover & Use in Priority Areas
- Bio-geophysical Variables
- Ground Motion Data
- Land Satellite Mosaics
- Reference & Validation Data



Coastal Zones

Products providing detailed land cover and land use information for 71 thematic classes for all European coastal territory.



Riparian Zones

Products providing detailed land cover and land use information for 55 thematic classes for riparian zones across Europe in a variable buffer zone of selected rivers.



Protected Areas

Products providing detailed land cover and land use information for 55 thematic classes in selected grassland rich Natura2000 sites.



Urban Atlas

Products providing pan-European comparable land cover and land use information for the selected Functional Urban Areas in Europe including derived street tree layers and information on building heights.



Temperature and Reflectance

The Temperature and Reflectance product group at global scale provides data about the energy budget at the land and inland water surfaces.



Snow

The Snow product group provides data about snow properties on land globally and in Europe.



Soil Moisture

The Soil Moisture product group provides data about the relative water content in the soil and the moisture condition at various depths in the soil globally and in Europe.



Vegetation

The Vegetation product group provides products describing the state, the dynamism and the disturbances of the terrestrial vegetation globally and in Europe.



Water Bodies

The Water product group provides information about the surface extent covered by water on a permanent basis, lake water quality, water level of lakes and rivers and ice occurrences in the hydrographic network worldwide and in Europe.



CORINE Land Cover

The first pan-European land cover inventory with 44 thematic classes.



Croplands

Products at pan-European scale providing information on the type of cultivated crops and the applied agricultural practices.



Grasslands

Products at pan-European scale mapping the temporary and permanent grasslands and detection of mowing events.



Imperviousness

Products at pan-European scale providing information on the sealing density including binary information on buildings within the sealing outline.



CLCplus Backbone

A new baseline land cover product for Europe complementing the CORINE Land Cover time series.



Tree Cover and Forests

Products at pan-European scale mapping tree cover, leaf type classification and a forest estimation based on the FAO definition.



Small Woody Features

Products at pan-European scale providing information on linear structures such as hedgerows, as well as patches of woody features.

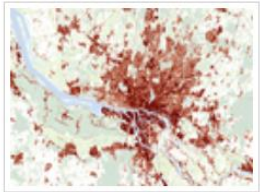


Water and Wetness

Products at pan-European scale providing information on the occurrence of water and wet surfaces.

Prodotti Copernicus di copertura del suolo

Prodotti Copernicus



Imperviousness

Grado di impermeabilizzazione del suolo (1-100%). Disponibile per gli anni 2006, 2009, 2012, 2015 e 2018.



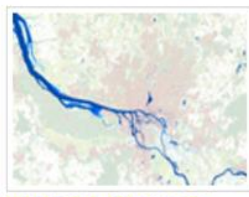
Forests

Densità di copertura arborea (1-100%) e tipi forestali (Latifoglie e Conifere). Disponibile per gli anni 2012, 2015 e 2018-2021.



Grassland

Identifica i prati permanenti. Disponibile per il 2015 e 2017-2021. Contiene anche informazioni sui terreni lavorati e sull'anno dell'ultima aratura (ultimi 6 anni).



Water & Wetness

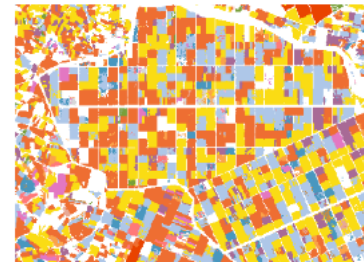
Identifica i corpi idrici e le aree umide, sia permanenti che temporanei. Disponibile per gli anni 2015 e 2018.



High Resolution Layer Croplands

Crop Types 2021 (raster 10 m), Europe, yearly from 2017

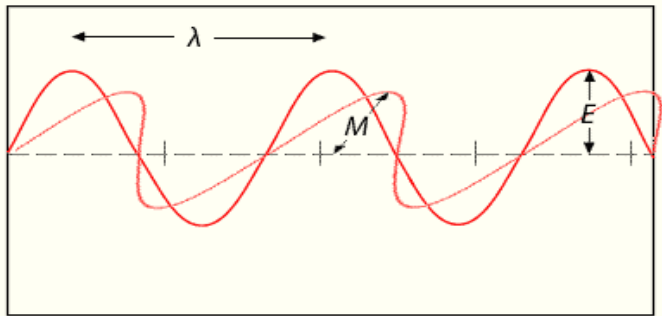
- Aree non coltivate
- Grano
- Orzo
- Mais
- Riso
- Altri cereali
- Verdure fresche
- Legumi secchi
- Patate
- Barbabietola da zucchero
- Girasoli
- Soia
- Colza
- Lino, cotone e canapa
- Uva
- Olive
- Frutta
- Noci
- Altre aree a seminativo
- Coltura permanente non classificata



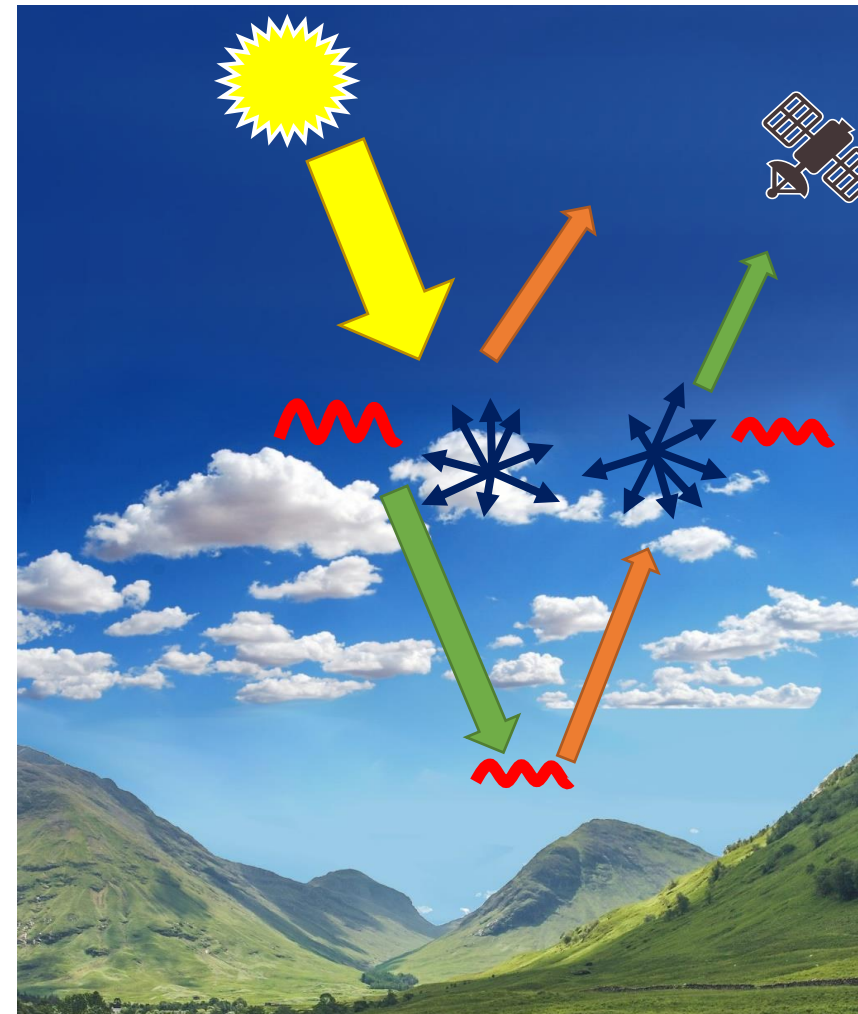
Introduzione alle immagini satellitari

Energia elettromagnetica

- **Energia emessa** da una fonte (Sole)
- **Energia trasmessa**, cioè l'energia che passa attraverso un materiale
- **Energia assorbita** dal materiale
- **Energia riflessa** dal materiale
- **Energia diffusa**, cioè l'energia cambia direzione in modo casuale (dovuto a fenomeni di scattering in atmosfera)
- Il **sensore** (satellite) misura l'energia proveniente da una certa superficie



Light wave, modificata
Wikimedia Commons
[CC-BY-SA-3.0
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light-wave_\(LT\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light-wave_(LT).png))

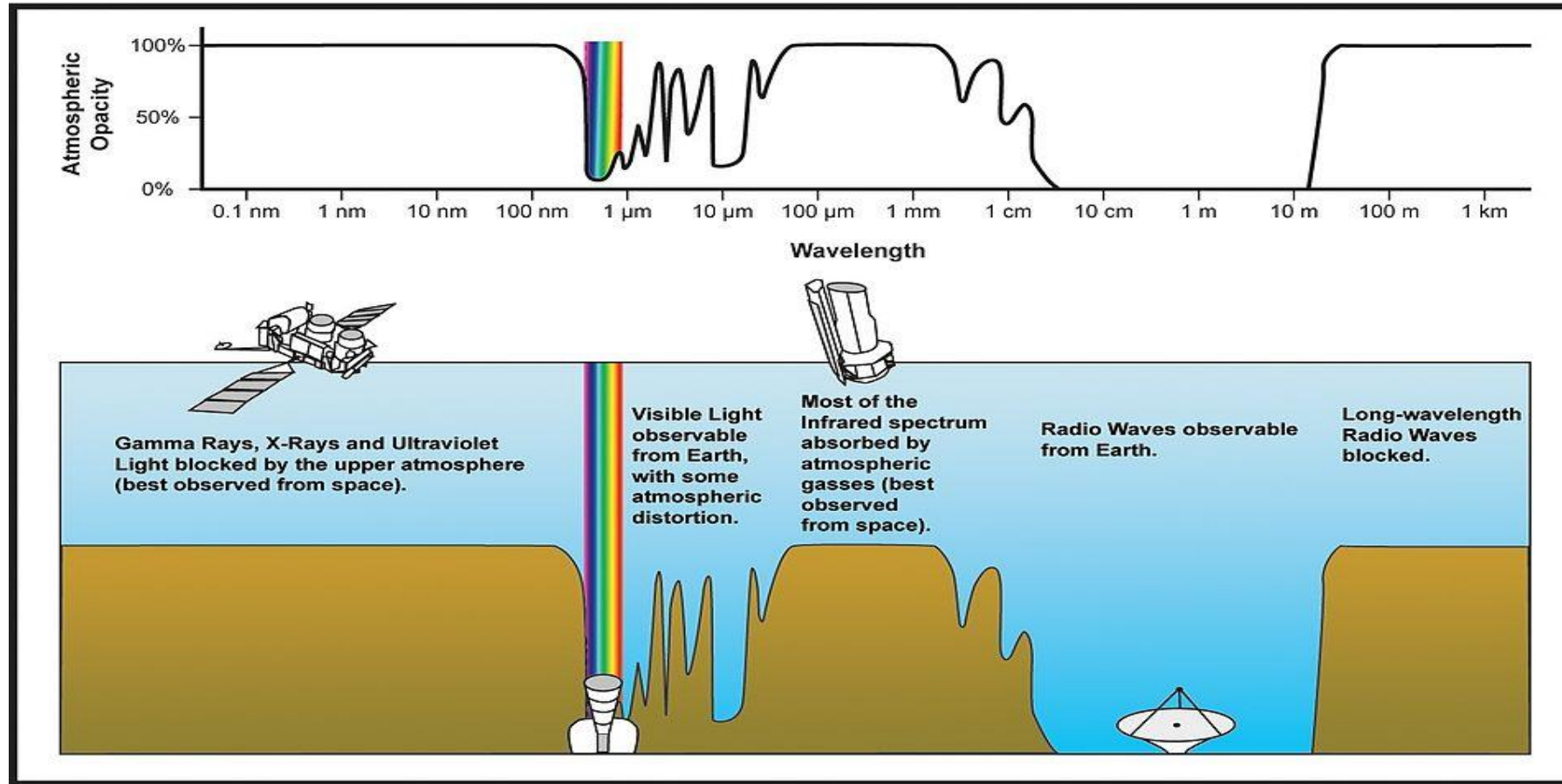


- ➔ Energia emessa dal Sole
- ➔ Energia riflessa
- ➔ Energia trasmessa
- ⊞ Energia assorbita
- ⊞ Energia diffusa

Introduzione alle immagini satellitari

Lo spettro elettromagnetico

L'atmosfera filtra molte di queste regioni dello spettro elettromagnetico



NASA, "Atmospheric electromagnetic transmittance or opacity", Public Domain, via Wikipedia

Introduzione alle immagini satellitari

Le caratteristiche dei sensori

- **Risoluzione spaziale (o geometrica)**: dimensione del più piccolo elemento che si può discernere in un'immagine; più piccola è la porzione di territorio rappresentata da un pixel (picture element) dell'immagine, maggiore è il dettaglio e quindi maggiore è la risoluzione.
- **Risoluzione spettrale**: numero e ampiezza delle bande spettrali registrate in un'immagine.
- **Risoluzione radiometrica**: sensibilità del sensore alle variazioni di energia, ovvero di luminosità, a cui corrisponde nell'immagine un numero di toni di grigio di solito espresso in bit; ad esempio un'immagine a 8 bit ha 256 diversi toni di grigio.
- **Risoluzione temporale**: è una misura della frequenza con cui il sensore può acquisire un'immagine della stessa area.

Introduzione alle immagini satellitari

I satelliti Sentinel-2

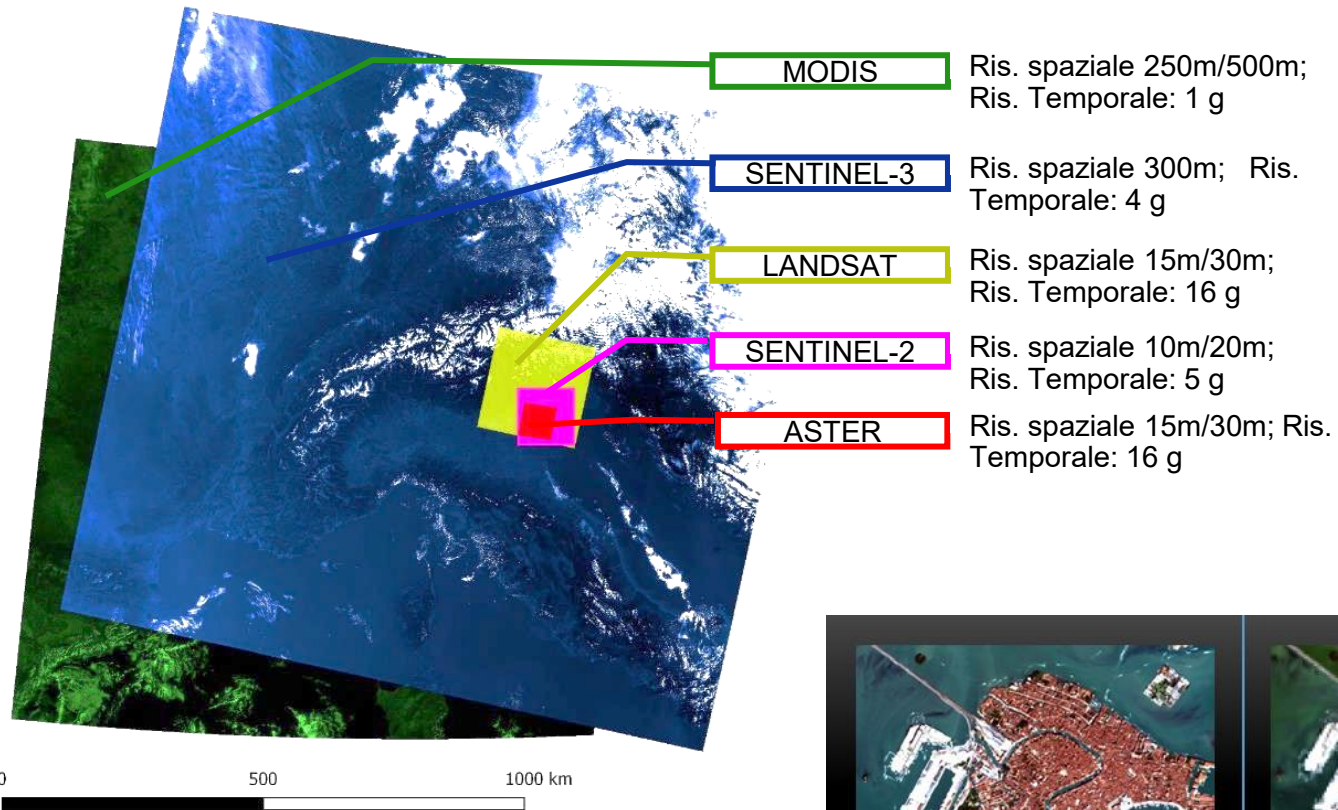
Satelliti europei lanciati nel 2015, 2017, 2024 nell'ambito del progetto Copernicus

Bande	Centro lunghezza d'onda [micrometri]	Risoluzione [metri]
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8a - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20



Introduzione alle immagini satellitari

Confronto con altri satelliti

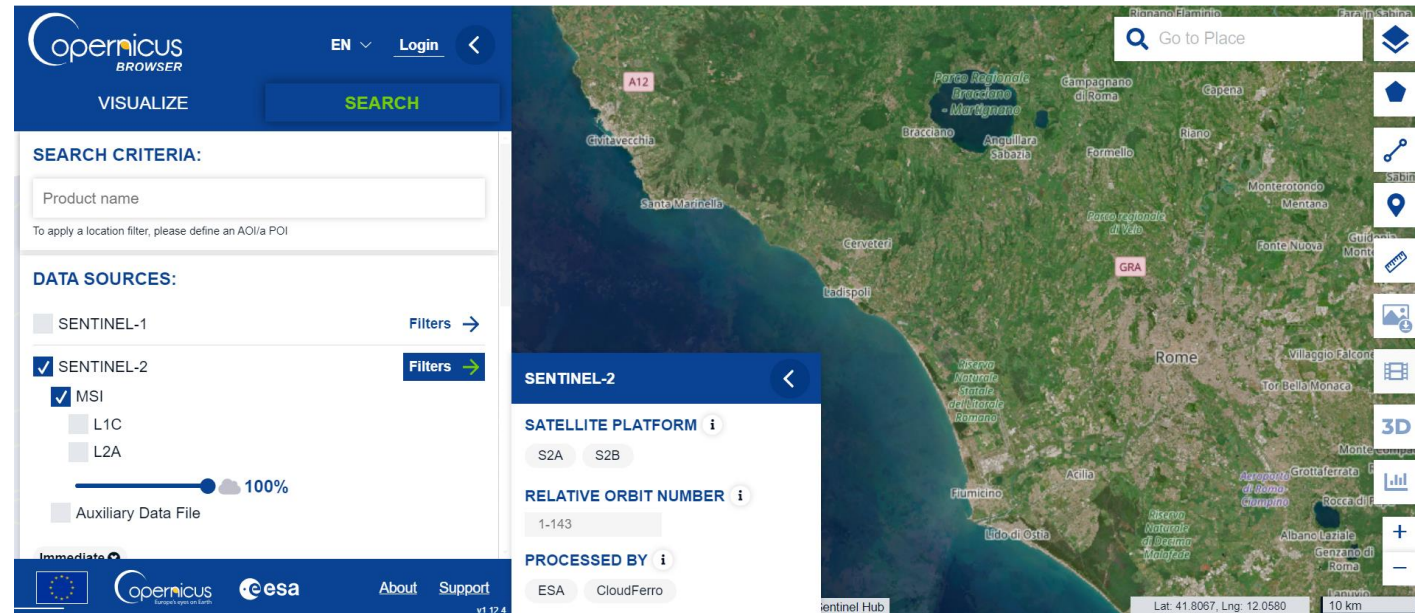


Scaricamento e processamento di immagini Sentinel-2

Accesso alle immagini

1. Tramite portali dedicati:
 - Copernicus Open Access Hub <https://dataspace.copernicus.eu>
 - USGS EarthExplorer <https://earthexplorer.usgs.gov>
2. Tramite il Semi-Automatic Classification Plugin per QGIS

Le immagini sono fornite in formato raster (.jp2)

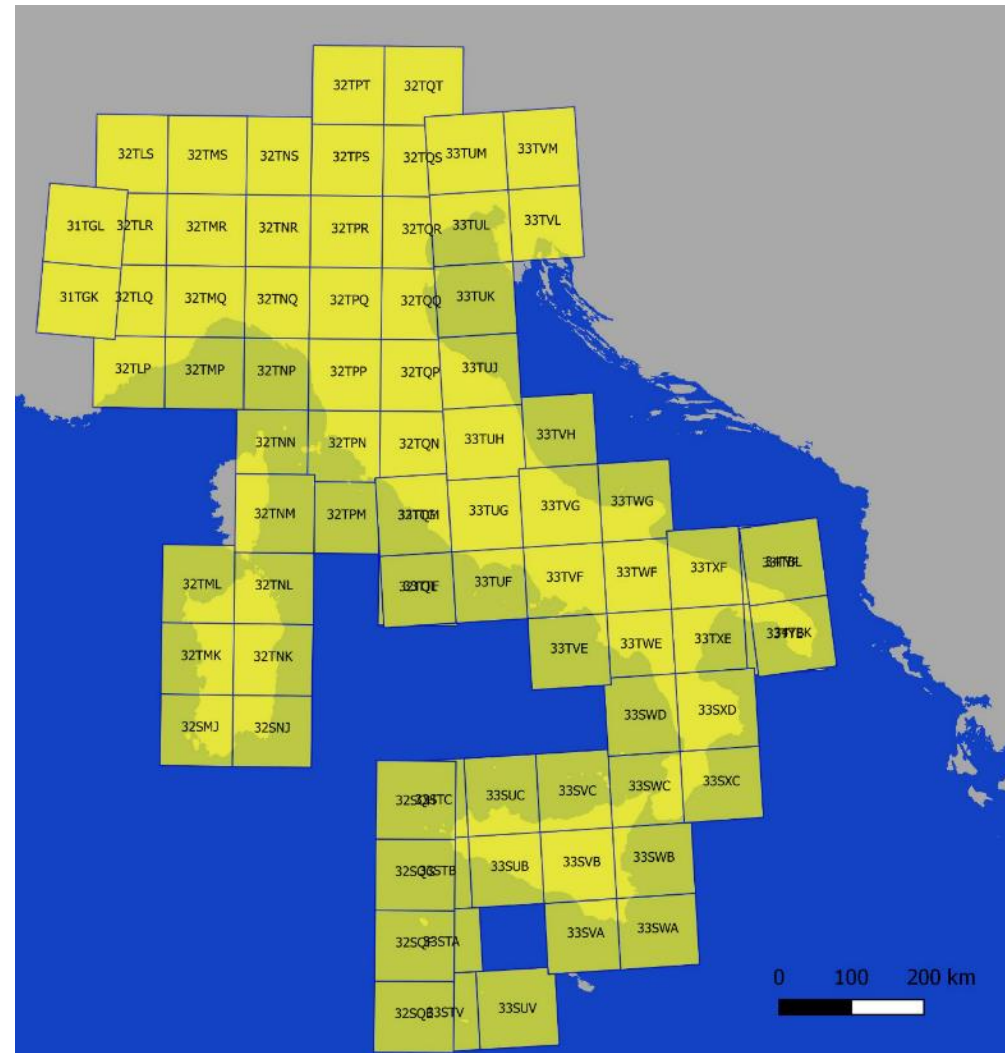


Scaricamento e processamento di immagini Sentinel-2

Accesso alle immagini

Le immagini sono ritagliate in granuli («tile») solitamente quadrati di lato (100 km)

Ogni granulo è identificato da un codice alfanumerico (es. 33TTG)



Scaricamento e processamento di immagini Sentinel-2

Processamento

I valori dei pixel delle immagini sono DN (Numeri Digitali) che solitamente necessitano di elaborazioni per ottenere i valori di radianza o riflettanza

DN → Radianza spettrale → Riflettanza al satellite → Riflettanza al suolo

- La radianza spettrale ($L\lambda$)

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

- La riflettanza al satellite (ρ_p)

$$\rho_p = (\pi * L\lambda * d^2) / (ESUN\lambda * \cos\theta_s)$$

- La riflettanza al suolo ρ

$$\rho = [\pi * (L\lambda - L_p) * d^2] / [T_v * ((ESUN\lambda * \cos\theta_s * T_z) + E_{down})]$$

Radianza: quantità di radiazione elettromagnetica riflessa da una superficie di area unitaria e diretta verso un angolo solido unitario in una data direzione.

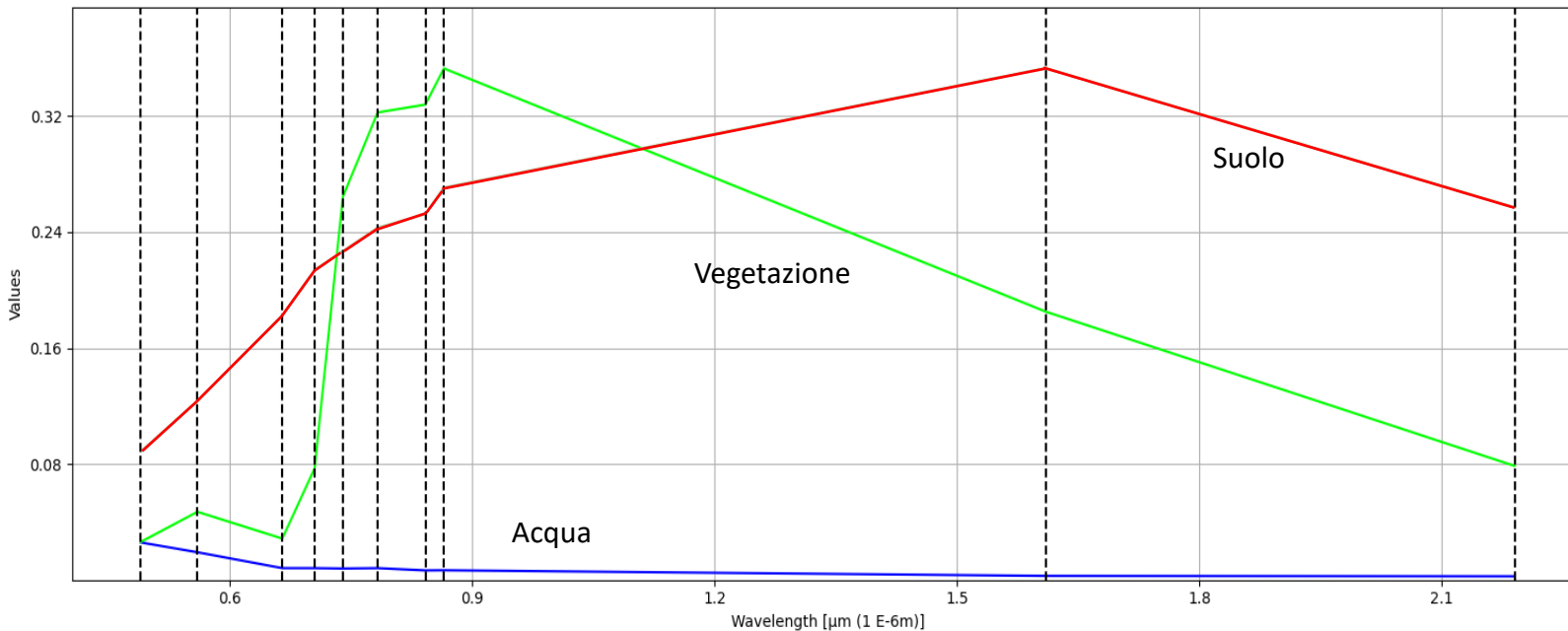
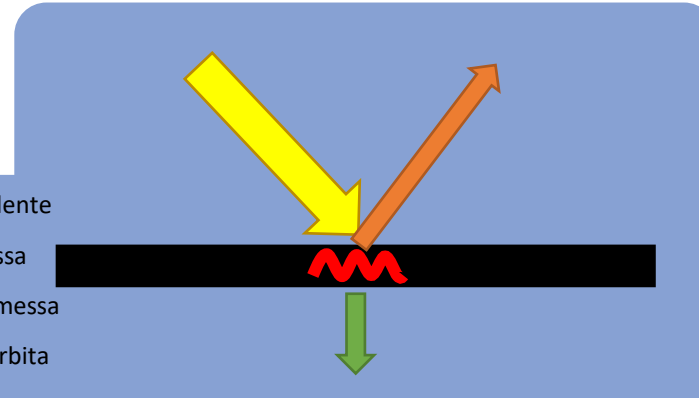
Riflettanza: rapporto tra energia riflessa da una superficie ed energia incidente sulla stessa; è un valore adimensionale e dipende dal materiale

Analisi firme spettrali

La firma spettrale

Riflettanza: rapporto tra energia riflessa da una superficie ed energia incidente sulla stessa; è un valore adimensionale e dipende dal materiale

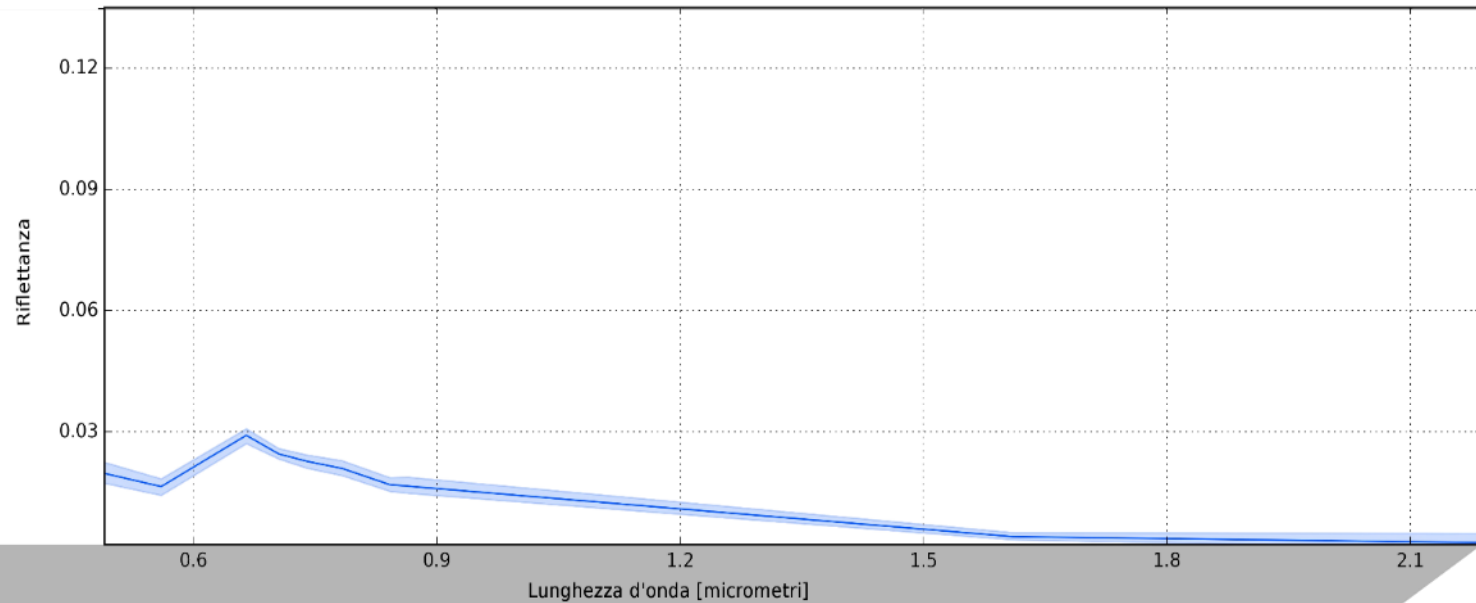
- Energia incidente
- Energia riflessa
- Energia trasmessa
- ↻ Energia assorbita



La firma spettrale rappresenta la riflettanza in funzione della lunghezza d'onda. Ogni materiale ha una firma caratteristica che può essere usata per la sua classificazione. (NASA, 2013. Landsat 7 Science Data User's Handbook.)

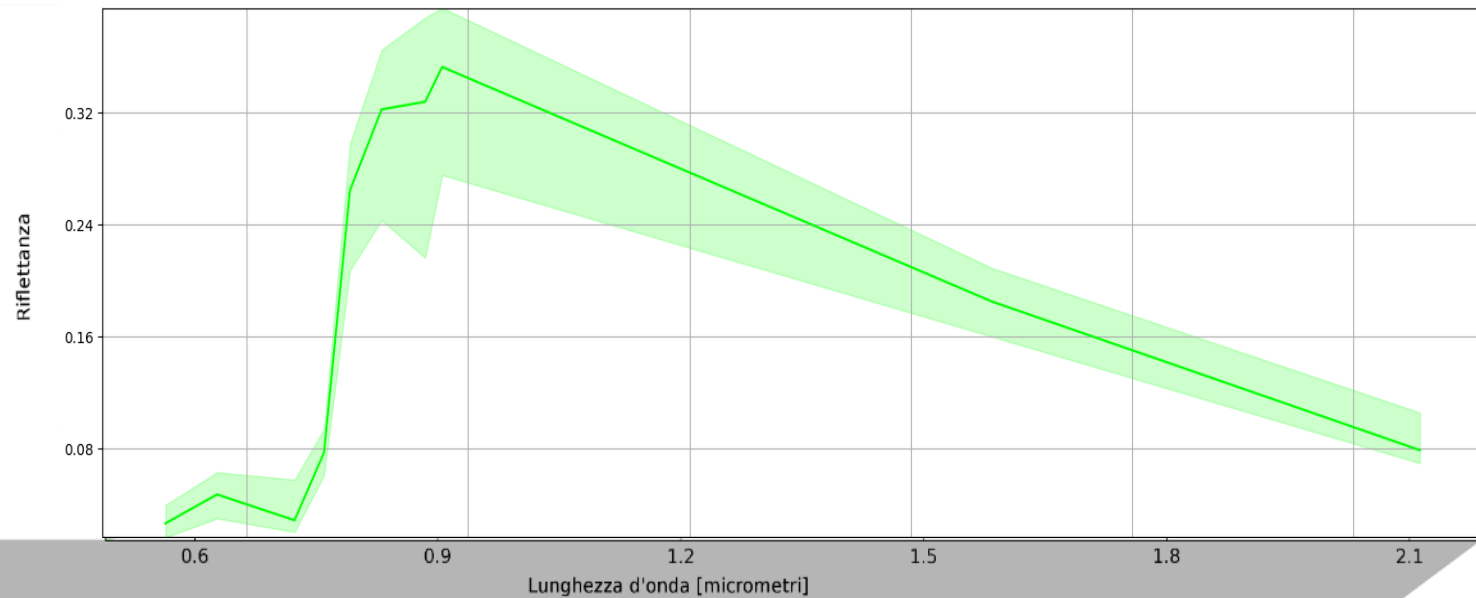
Analisi firme spettrali

La firma spettrale dell'acqua



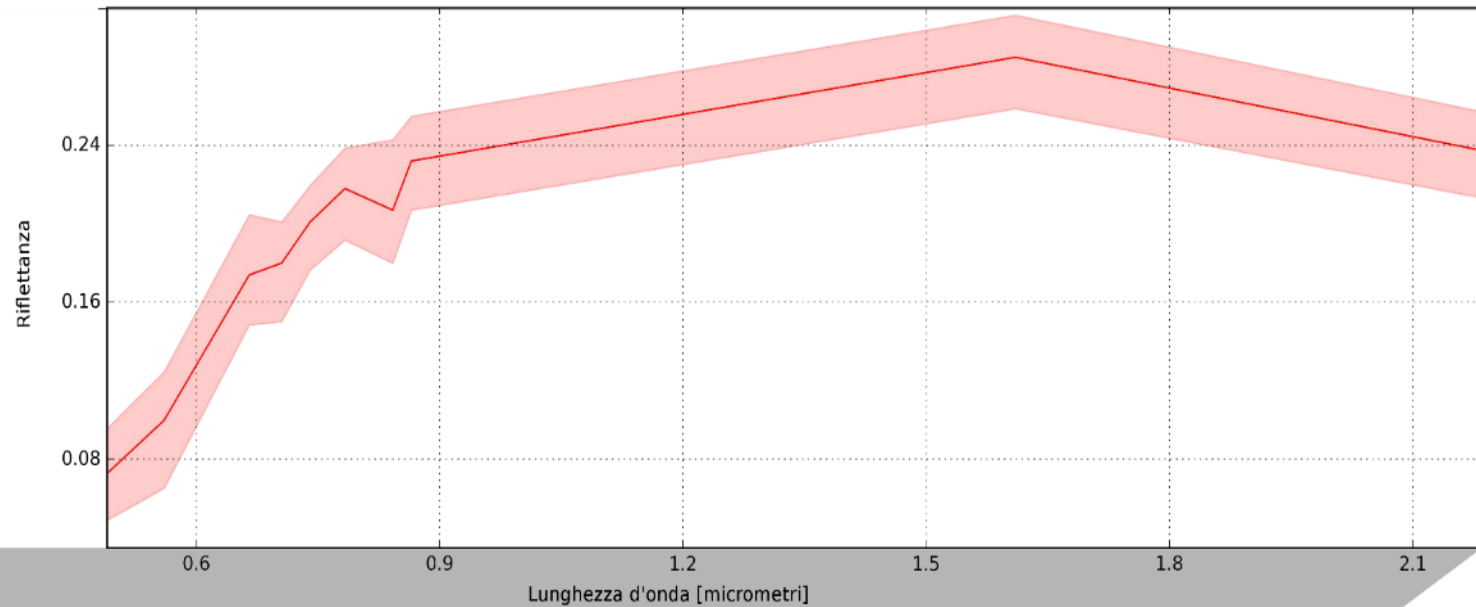
Analisi firme spettrali

La firma spettrale della vegetazione



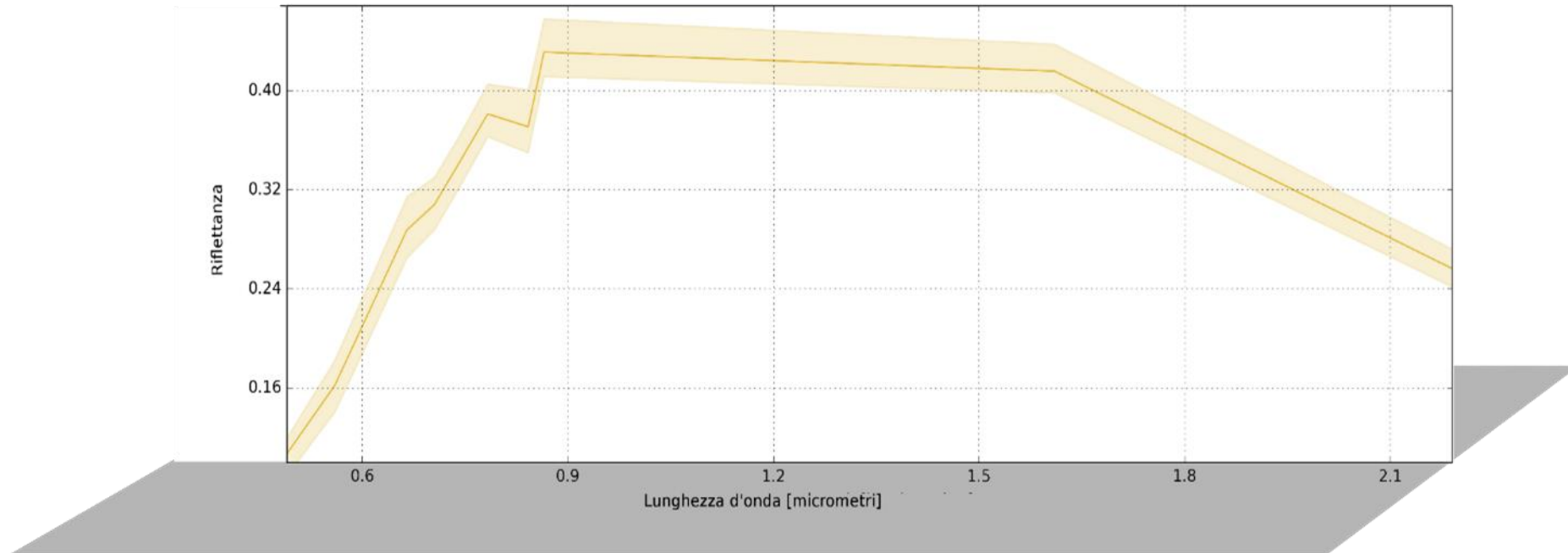
Analisi firme spettrali

La firma spettrale delle superfici artificiali (cemento)



Analisi firme spettrali

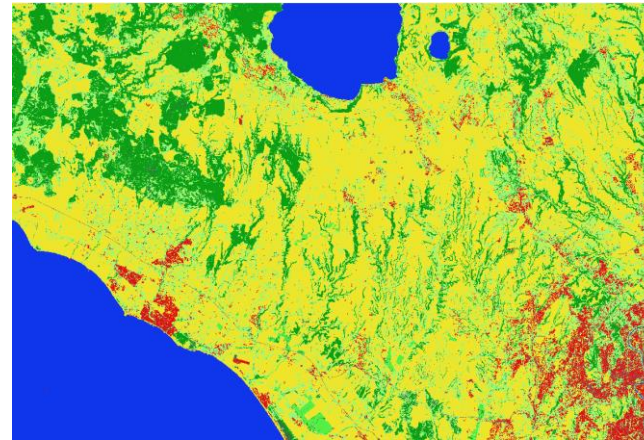
La firma spettrale del suolo nudo



Classificazione della copertura del suolo

Definizione e Fotointerpretazione

Divisione dei pixel di un'immagine in categorie di copertura del suolo (Land Cover)



Classi

- Edificato
- Vegetazione
- Suolo nudo
- Acqua

Tradizionalmente questo processo viene realizzato dall'esperto mediante l'interpretazione visiva (**Fotointerpretazione**) delle immagini acquisite. Il risultato è una carta vettoriale ottenuta digitalizzando a schermo i contorni dei poligoni basandosi su un'immagine telerilevata, come nel caso del Corine Land Cover.

- Elevata accuratezza della classificazione
- Alti costi di realizzazione

Classificazione della copertura del suolo

Classificazione automatica

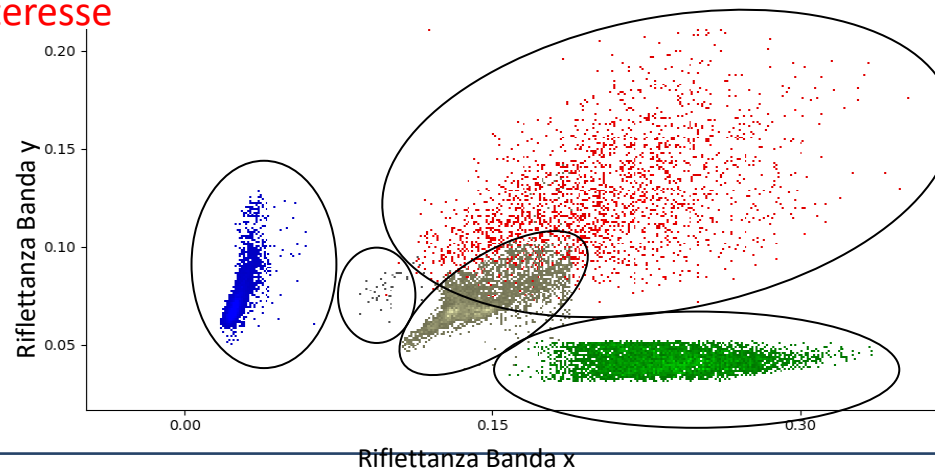


La **Classificazione Automatica** detta anche non supervisionata, è una classificazione orientata al pixel.

L'algoritmo di clustering determina automaticamente i gruppi simili di pixel sulla base dei loro valori spettrali. Dopo che l'immagine viene suddivisa in classi, l'operatore deve assegnare loro un'appartenenza.

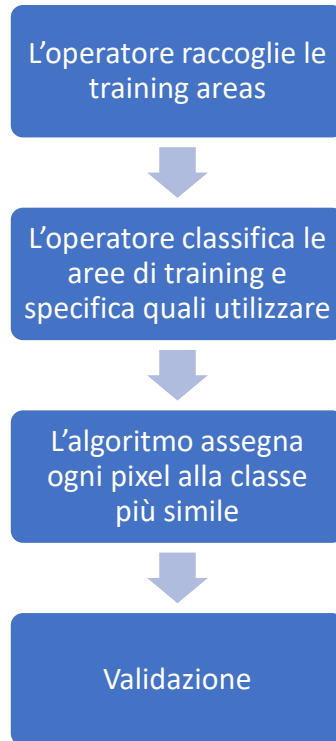
- È molto rapida e non necessita di una conoscenza del territorio da parte dell'operatore.

- Non necessariamente le classi individuate coincidono con le classi di interesse



Classificazione della copertura del suolo

Classificazione semi-automatica



La **Classificazione Supervisionata** è guidata dall'operatore che specifica le diverse firme spettrali da associare ad ogni classe.

Questa associazione è fatta selezionando delle aree campione rappresentative di ogni classe (**training area**).

Il computer, dopo aver elaborato le statistiche radiometriche delle aree di interesse, identifica per ciascun pixel la relativa classe di appartenenza, tramite alcuni algoritmi di classificazione.

- Tempi e costi di realizzazione inferiori alla fotointerpretazione diretta

- Accuratezza inferiore alla fotointerpretazione diretta

Le **training area** sono delle aree ben riconoscibili e rappresentative di una particolare copertura del territorio, spesso identificate con indagini in situ o con *dati a maggiore risoluzione*. I criteri principali da rispettare durante la scelta di queste aree sono:

- Sceglierle in **aree omogenee**, evitando i pixel che si comportano come elementi estranei rispetto al comportamento medio (*outlayer*). Inoltre sono da evitare le aree di confine fra elementi diversi sul terreno, per eliminare il problema dei *pixel misti*.
- Il numero dei campioni dipende dalle caratteristiche dei dati che si analizzano, dal territorio e dal livello di classificazione richiesto. Naturalmente è auspicabile avere il **maggior numero possibile di aree di training**, compatibilmente con il costo dell'operazione.

Classificazione della copertura del suolo

Algoritmi di classificazione

Esistono vari algoritmi di classificazione **automatica** (basati solo sulle immagini) tra cui:

- Isodata
- K-means

Alcuni degli algoritmi di classificazione **semi-automatica** (richiedono la **definizione di firme spettrali di input**) sono:

- Minimum Distance (Minima Distanza)
- Spectral Angle Mapping (Angolo Spettrale)
- Maximum Likelihood (Massima Verosimiglianza)

Classificazione della copertura del suolo

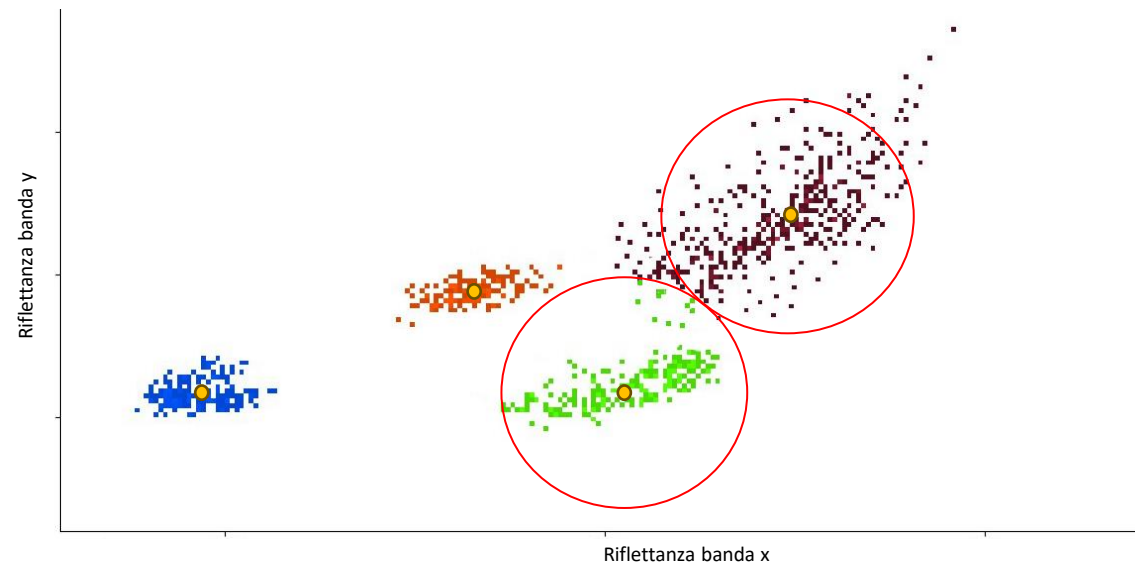
Algoritmi di classificazione

Minimum Distance, calcola la distanza euclidea, di ogni pixel da classificare, dal valore medio dei pixel di training per ognuna delle classi.

Il pixel viene assegnato alla classe per cui la distanza risulta minima.

Questo algoritmo è molto *semplice e computazionalmente rapido*. Non è sensibile, però, al diverso grado di dispersione delle classi nello spazio delle caratteristiche.

Non indicato in classificazioni che presentano classi molto vicine nello spazio delle caratteristiche.



Classificazione della copertura del suolo

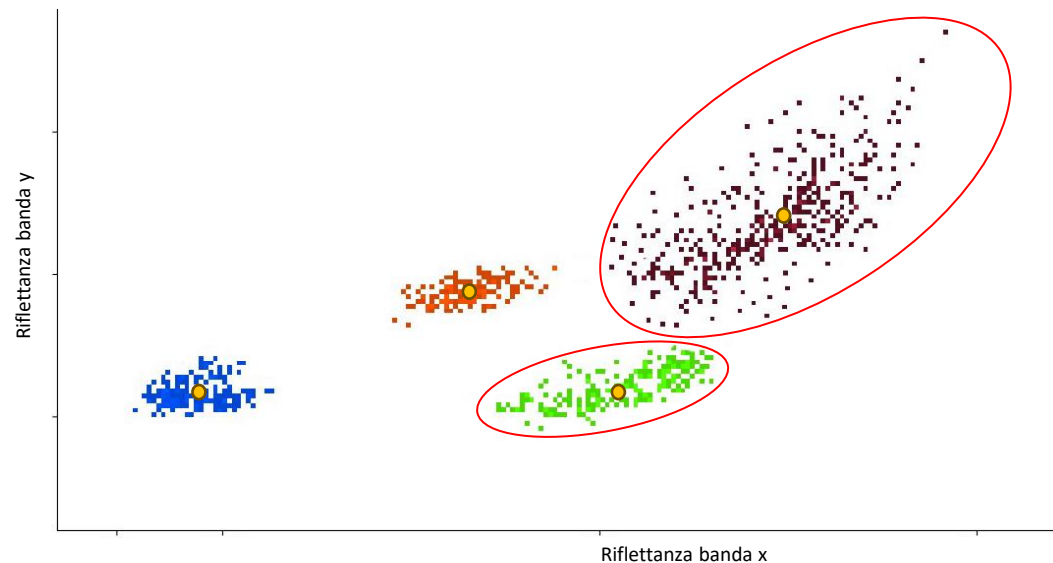
Algoritmi di classificazione

Maximum Likelihood è uno degli algoritmi più comuni. Calcola la **probabilità** che un dato pixel appartiene ad una specifica classe (0-100%).

Rientra fra i metodi parametrici dato che si assume dall'inizio di conoscere il tipo di distribuzione di probabilità. Ogni classe si ipotizza che sia caratterizzata da una funzione di probabilità gaussiana. Oltre alla media è necessario stimare anche la varianza e la covarianza.

Il metodo di massima verosimiglianza tiene conto non solo della posizione del pixel rispetto ai valori medi delle classi, ma anche della **dispersione delle classi** nello spazio delle caratteristiche attorno al proprio valor medio.

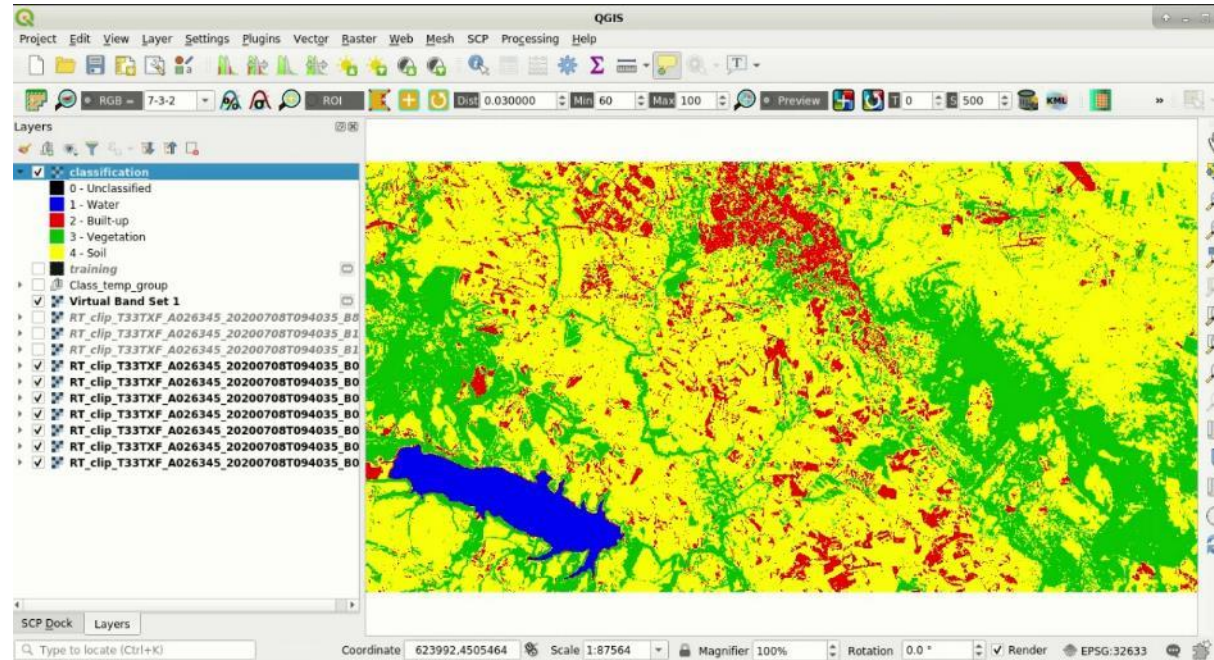
È più oneroso dal punto di vista di calcolo, ma è molto *più attendibile in presenza di ambiguità fra le classi*.



Classificazione della copertura del suolo

Raccolta aree di training su QGIS

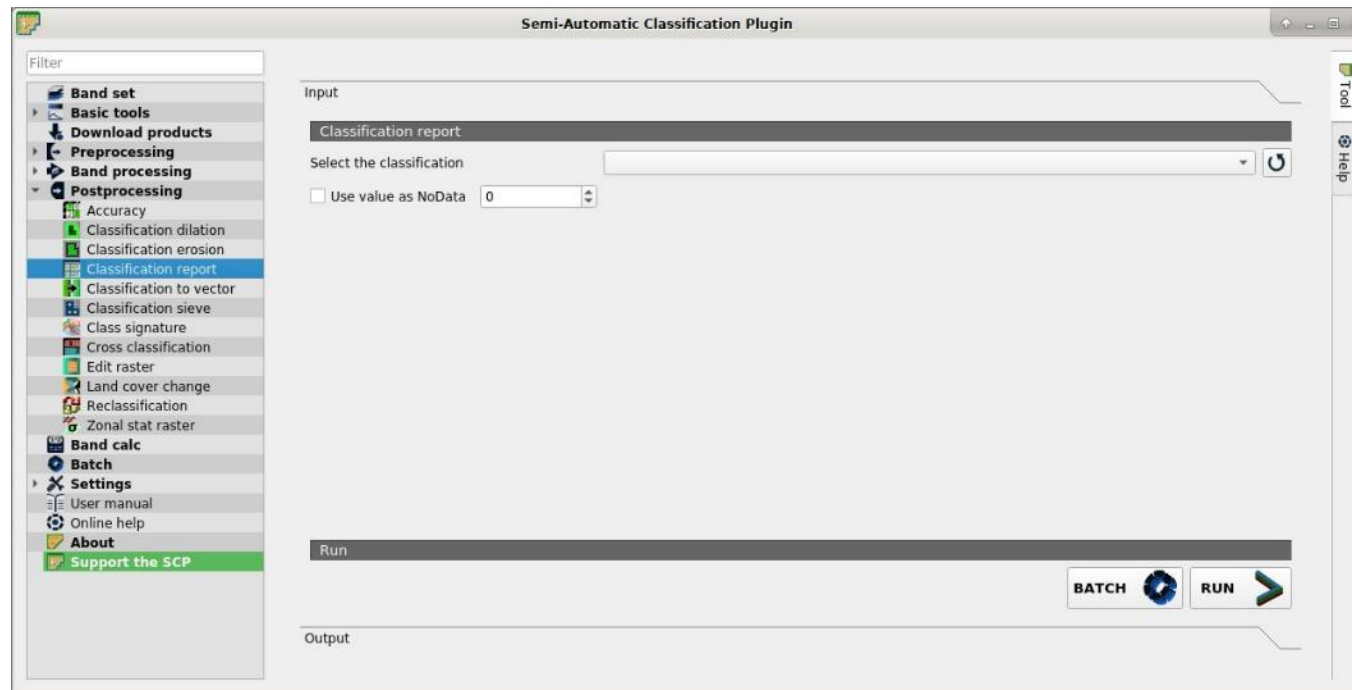
Il Semi-Automatic Classification plugin mette a disposizione un'interfaccia per creare le aree di training e classificare un'immagine satellitare tramite vari algoritmi di classificazione (manuale del plugin <http://semiautomaticclassificationmanual.rtfid.io>)



Classificazione della copertura del suolo

Calcolo delle superfici su QGIS

Nel Semi-Automatic Classification Plugin è possibile calcolare le superfici relative alle classi di una classificazione raster tramite lo strumento Classification report



Validazione della classificazione

Matrice di confusione

Prima di poter essere utilizzate le mappe tematiche derivanti dalle classificazioni devono essere sottoposte a validazione.

L'**accuratezza** è la misura della corrispondenza tra il risultato della classificazione e un riferimento che si assume come corretto.

Il metodo standard per confrontare la mappa da valutare rispetto alla verità di riferimento è basato sulla costruzione di una **matrice di errore** (o matrice di confusione).

È una matrice quadrata in cui il numero delle righe e delle colonne equivale al numero delle classi.

Tutti gli elementi della diagonale principale rappresentano i casi di corretta classificazione, mentre gli elementi al di fuori della diagonale sono gli errori della classificazione.

Accuratezza Utente: dal punto di vista dell'utilizzatore definisce quanti pixel attribuiti nella classificazione alla classe i sono nella realtà in quella classe.

Accuratezza Produttore: dal punto di vista del produttore definisce quanti pixel appartenenti nella realtà alla classe i sono effettivamente classificati in quella classe.

Esempio di matrice

Risultato della classificazione	Dati di riferimento			
	Vegetazione	Acqua	Edificato	Totale
Vegetazione	57	8	3	68
Acqua	5	33	2	40
Edificato	3	1	20	24
Totale	65	42	25	132

$Accuratezza\ generale = 110/132 = 83\%$

Accuratezza Produttore

Accuratezza Utente

Vegetazione = $57/65 = 88\%$

Vegetazione = $57/68 = 84\%$

Acqua = $33/42 = 79\%$

Acqua = $33/40 = 83\%$

Edificato = $20/25 = 80\%$

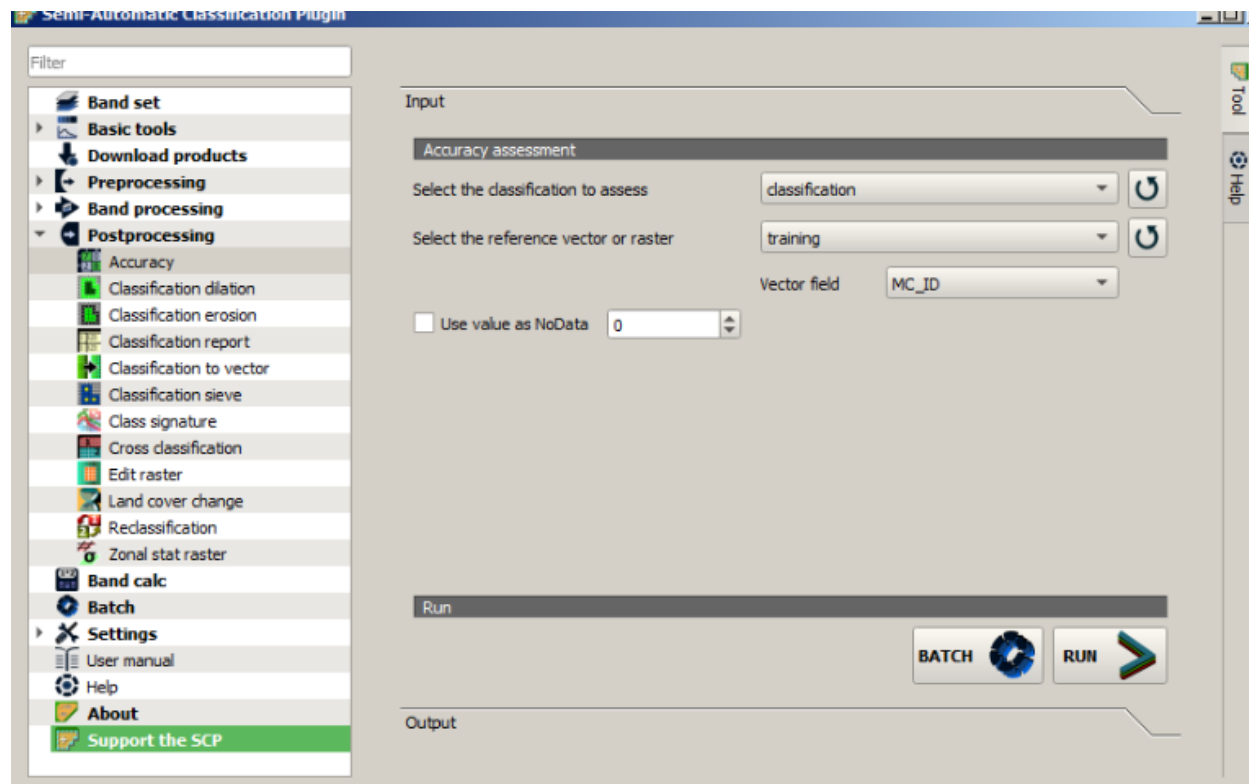
Edificato = $20/24 = 83\%$

- Omissioni: associate all'Accuratezza Produttore, ciò che di una certa classe non è stato mappato (100%-PA%)
- Commissioni: associate all'Accuratezza utente. Ciò che è stato mappato in più rispetto ad una data classe (100%-UA%).

Validazione della classificazione

Calcolo della matrice di accuratezza

Nel Semi-Automatic Classification Plugin è possibile calcolare automaticamente la matrice di accuratezza e i vari indici confrontando la classificazione con un vettore di verità a terra



Calcolo del cambiamento di copertura del suolo

Definizione

Monitoraggio del cambiamento di copertura del suolo (Land Cover Change): analisi multitemporale che permette l'individuazione dei **cambiamenti di copertura**
In base al tipo di copertura e alla distanza temporale tra le immagini possono essere individuati cambiamenti mensili, stagionali o annuali

- La vegetazione naturale ha cambiamenti stagionali dovuti alla fenologia, ma possono essere rilevati cambiamenti annuali dovuti a fenomeni di disboscamento, incendio o rimboschimento
- Le aree agricole hanno cambiamenti stagionali dovuti alla fenologia, ma anche cambiamenti dovuti alla gestione delle colture, alla siccità, ecc.
- Le coperture artificiali tendono ad aumentare nel tempo per via dei fenomeni di urbanizzazione
- I corpi idrici subiscono variazioni stagionali, ma possono essere rilevati anche eventi estremi come i fenomeni alluvionali

Calcolo del cambiamento di copertura del suolo

Calcolo su QGIS

Nel Semi-Automatic Classification Plugin è possibile calcolare il cambiamento di copertura tra due classificazioni utilizzando lo strumento Cross classification

The screenshot shows the 'Semi-Automatic Classification Plugin' interface. The 'Cross classification' tool is active, with the following settings:

- Input:** Cross classification
- Select the classification:** [Empty field]
- Use value as NoData:** 0
- Select the reference vector or raster:** [Empty field]
- Calculate linear regression:** [Unchecked]

The 'Output' window displays the following table:

RasterValue	Reference	Classification	PixelSum	Area [metre^2]
1	0	0	930402	837361800
2	5	0	1652	1486800
3	8	0	13473	12125700
4	9	0	16211	14589900
5	10	0	235	211500
6	11	0	86	77400
7	12	0	3995	3595500
8	13	0	131	117900
9	14	0	23	20700
10	15	0	1287	1158300
11	22	0	10	9000
12	99	0	2	1800
13	0	5	1752	1576800
14	5	5	10695	9625500
15	8	5	253	227700
16	9	5	279	251100
17	10	5	1	900
18	12	5	297	267300
19	13	5	9	8100
20	15	5	289	260100
21	0	6	4	3600
22	5	6	5	4500
23	6	6	72	64800
24	12	6	1	900
25	0	8	14304	12873600
26	5	8	386	347400
27	8	8	341555	307399500
28	9	8	8208	7387200

Grazie per l'attenzione...

domande?

