

Remote Sensing e Immagini satellitari per il paesaggio

Una breve intro teorica

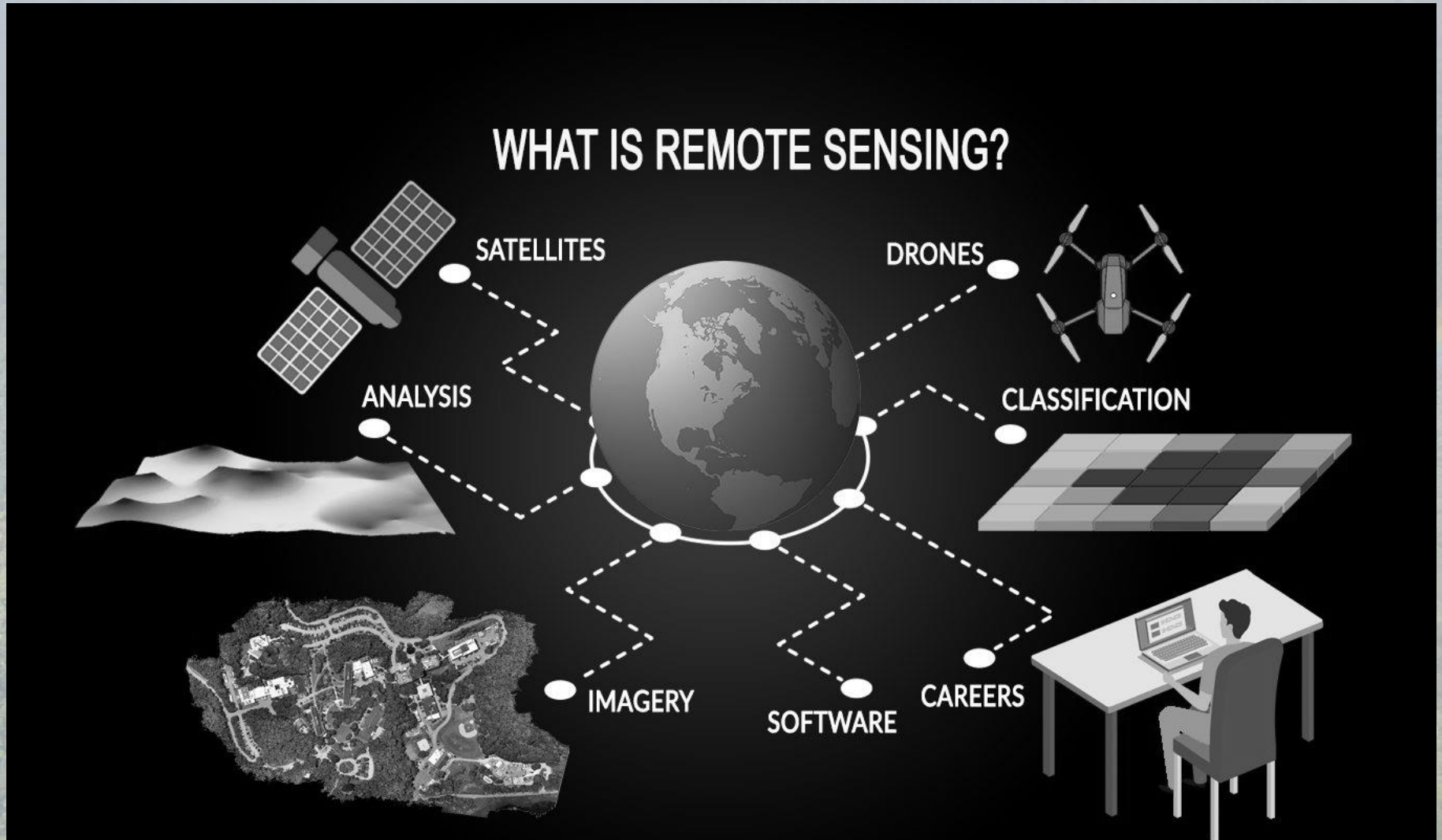


Daniele Codato
PhD in Geography UNIPD
daniele.codato@unipd.it

Telerilevamento (Remote Sensing, RS)

acquisizione di informazioni riguardanti un oggetto o un fenomeno senza che lo strumento di acquisizione sia a contatto diretto con l'oggetto investigato + analisi ed interpretazione dei dati per estrarre info sulle caratteristiche dell'oggetto studiato.

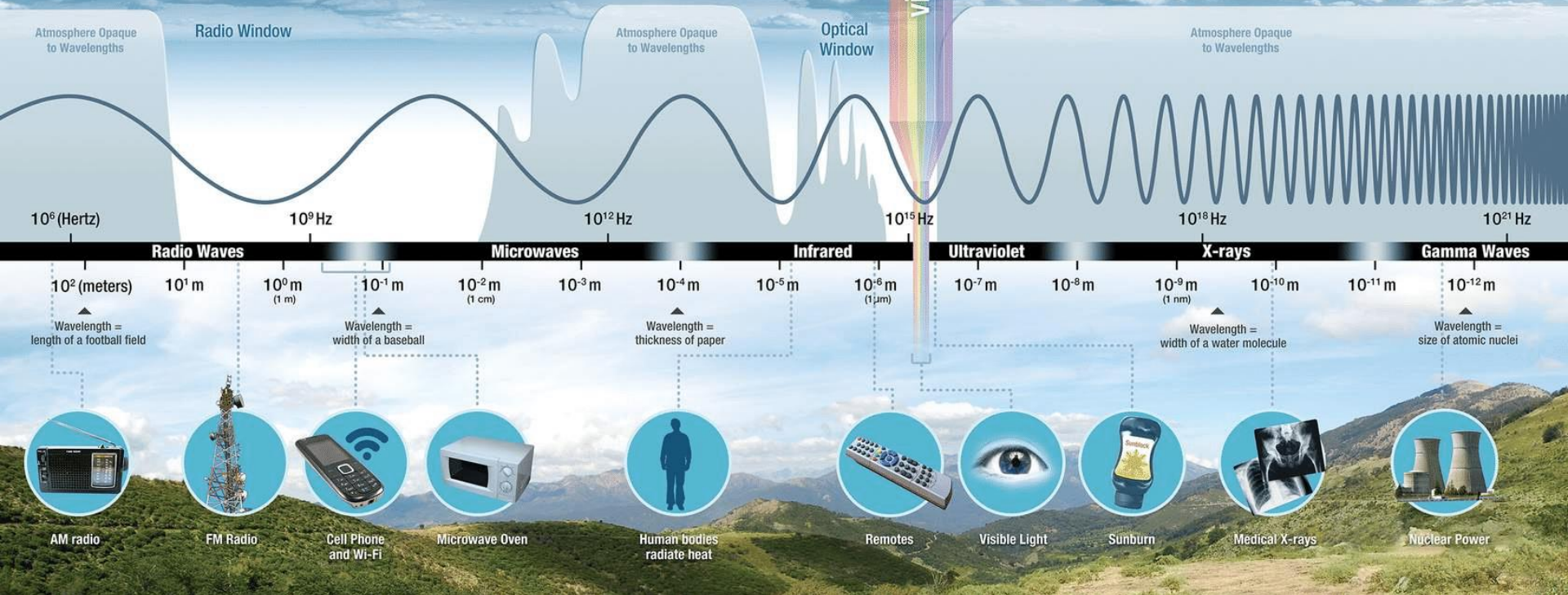
Metodi che impiegano energia elettromagnetica (luce, calore, onde radio).



La radiazione elettromagnetica e lo spettro elettromagnetico

La radiazione elettromagnetica è composta da un continuum di diverse lunghezze d'onda che insieme compongono lo spettro elettromagnetico (ES) dove la luce visibile è solo una piccola parte

Caratteristiche: Frequenza e Lunghezza d'onda (inversamente proporzionali)

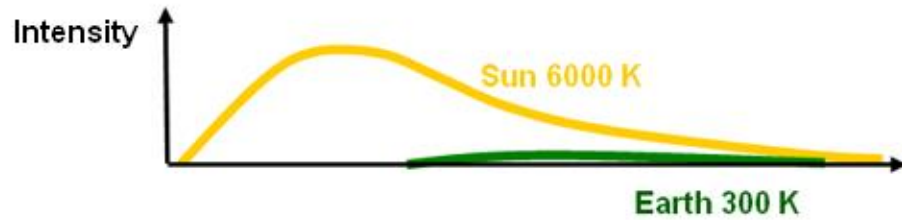


Spettro elettromagnetico

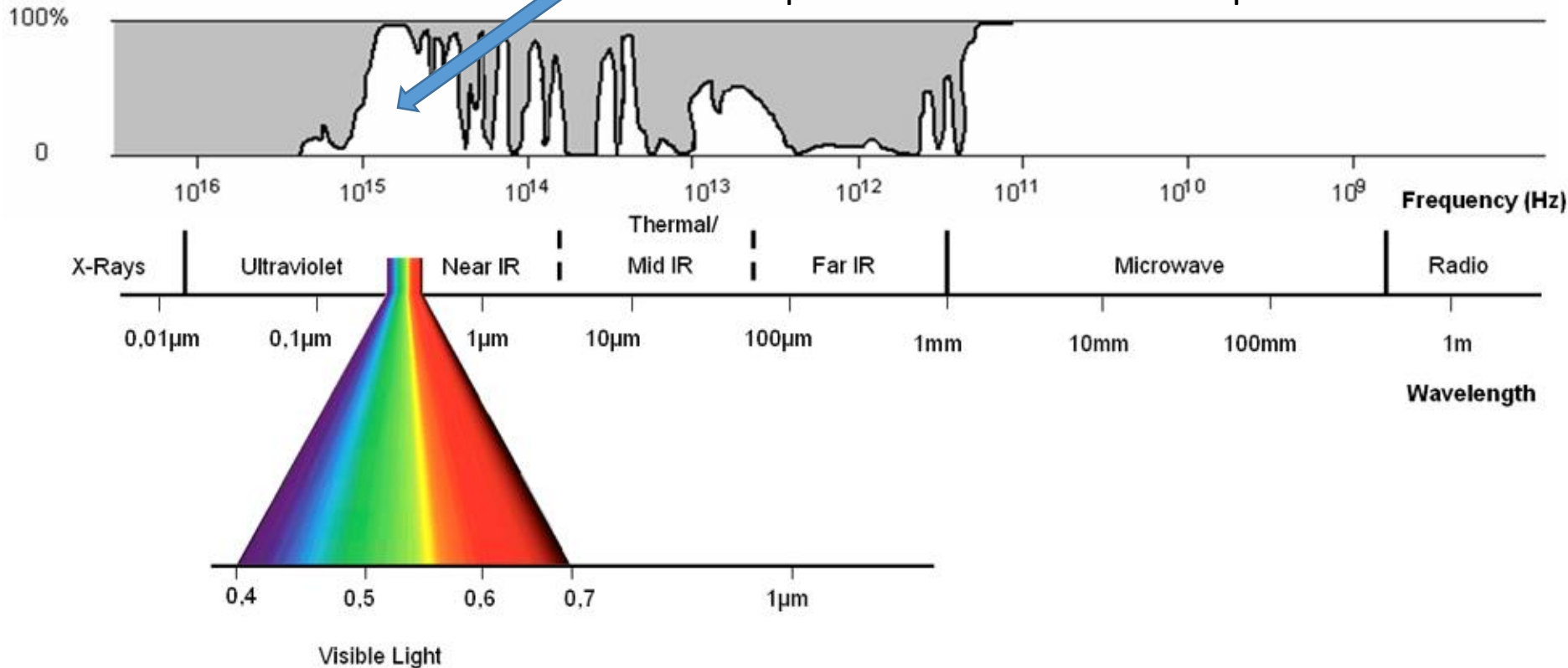
Bande spettrali

Interazione con l'atmosfera

Finestre atmosferiche



Atmospheric Transmittance



I sensori satellitari ottici acquisiscono l'energia riflessa od emessa dalla superficie all'interno del range spettrale delle finestre atmosferiche discretizzando lo spettro in bande spettrali.

INTERAZIONE DELL'ENERGIA ELETTROMAGNETICA CON LA MATERIA



A= energia assorbita

R= energia riflessa

T= energia trasmessa

I= energia incidente

I sensori usati nel RS registrano in particolare la parte di energia riflessa (e trasmessa)
La riflettanza è la misura della riflessione, ovvero il rapporto tra intensità riflessa e intensità incidente. Oggetti lucidi (specchi) tendono verso una riflessione speculare, mentre oggetti opachi tendono verso una riflessione diffusa quasi perfetta (Lambertiana).
La maggior parte degli elementi in natura hanno un comportamento misto.
In natura la maggior parte degli oggetti sono composti da più elementi, e quindi la loro firma spettrale sarà il risultato del mescolamento (spectral mixing) delle diverse firme spettrali degli elementi che li compongono, in funzione della percentuale di ogni elemento.

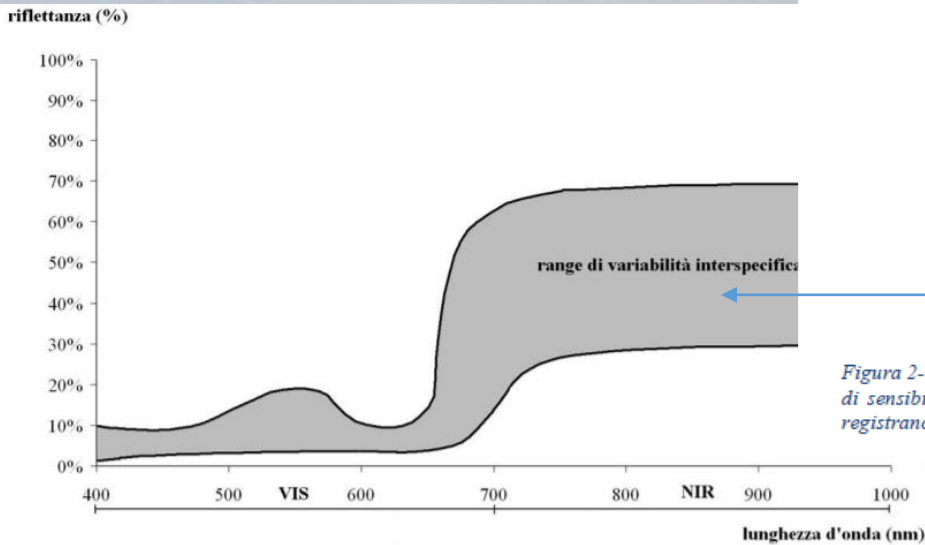


Fig. 1 - Firma spettrale media di una foglia verde in condizioni normali. L'asse delle ascisse indica i valori di lunghezza d'onda in nanometri e le relative bande VIS (400-700 nm) e NIR (700-1300 nm), mentre l'asse delle ordinate mostra la riflettanza in percentuale. Appaiono chiaramente i picchi di riflettanza nelle regioni G (500-600 nm) e NIR e l'incremento di riflettanza denominato *red edge* tra le bande R (600-700 nm) e NIR. Lo spazio compreso tra le due curve tiene conto delle differenze dovute alla variabilità interspecifica (da: Murtha 1982, Jones & Vaughan 2010 - modificate).

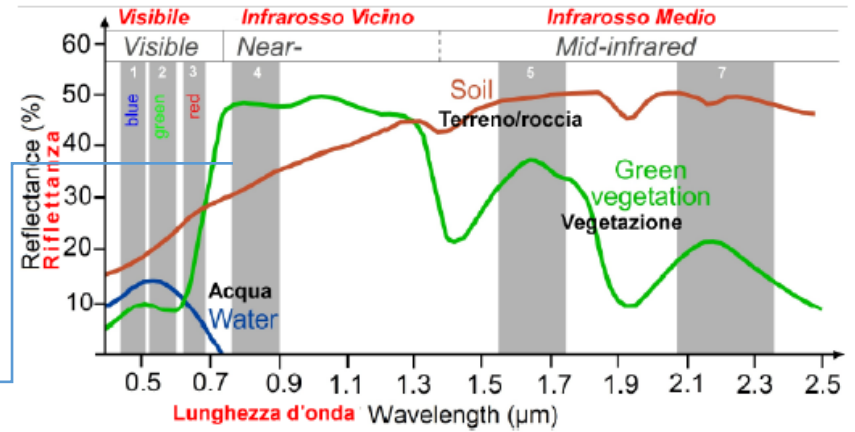
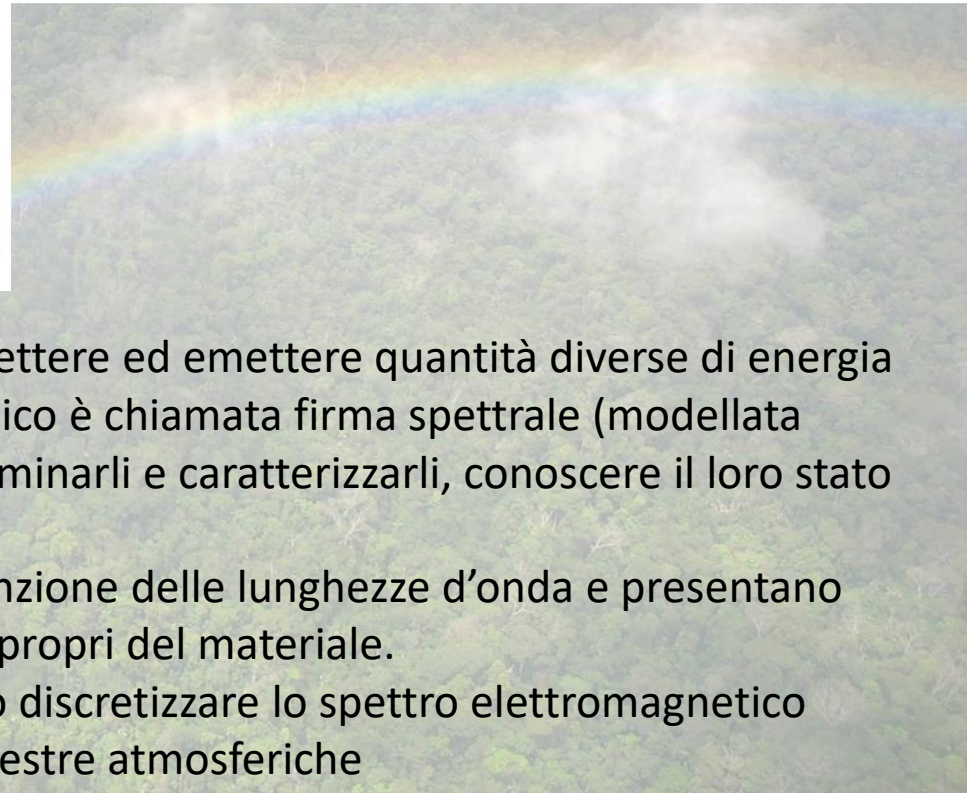


Figura 2 - Spettro EEM con esempi di firme spettrali di tre classi (Acqua, Vegetazione e terreno) – in grigio le zone (bande) di sensibilità di un sensore (sensore ETM+ del Landsat7) a determinate lunghezze d'onda. Nota bene che le bande registrano un valore medio della riflettanza (Fonte: Wikipedia).



La proprietà dei diversi oggetti o sostanze di riflettere ed emettere quantità diverse di energia nelle diverse bande spettrali in modo (quasi) unico è chiamata firma spettrale (modellata come curve spettrali) ed è molto utile per discriminarli e caratterizzarli, conoscere il loro stato e le loro variazioni nel tempo

Le firme spettrali sono curve di riflettività in funzione delle lunghezze d'onda e presentano picchi di riflettività e di assorbimento (minimi) propri del materiale.

Per discriminare i materiali è quindi necessario discretizzare lo spettro elettromagnetico acquisito su ulteriori bande all'interno delle finestre atmosferiche

PRO

1. Multiscalarità
2. Multispettralità
3. Multitemporalità
4. Aree di difficile accesso (difficoltà per un rilievo di dettaglio sul terreno)
5. Riduzione dei tempi e dei costi

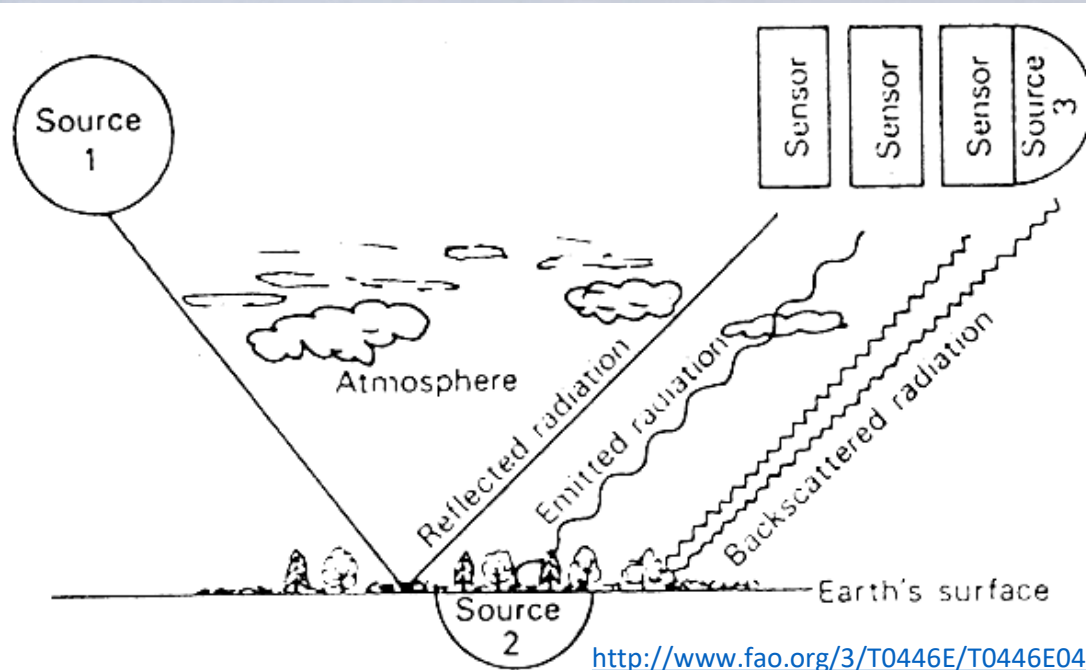
Del Remote Sensing

CONTRO

1. I dati telerilevati necessitano sempre un controllo (verifica) sul terreno
2. I dati analizzati si riferiscono (quasi) sempre alle superfici degli oggetti studiati (roccia, suolo, copertura vegetale, etc.)
3. Le condizioni di acquisizione influiscono sulla qualità del dato (illuminazione, rilievo, pendenza e giacitura superfici, condizioni meteo, ombreggiatura)

Surian N.

Piattaforme e sensori



<http://www.fao.org/3/T0446E/T0446E04.htm>

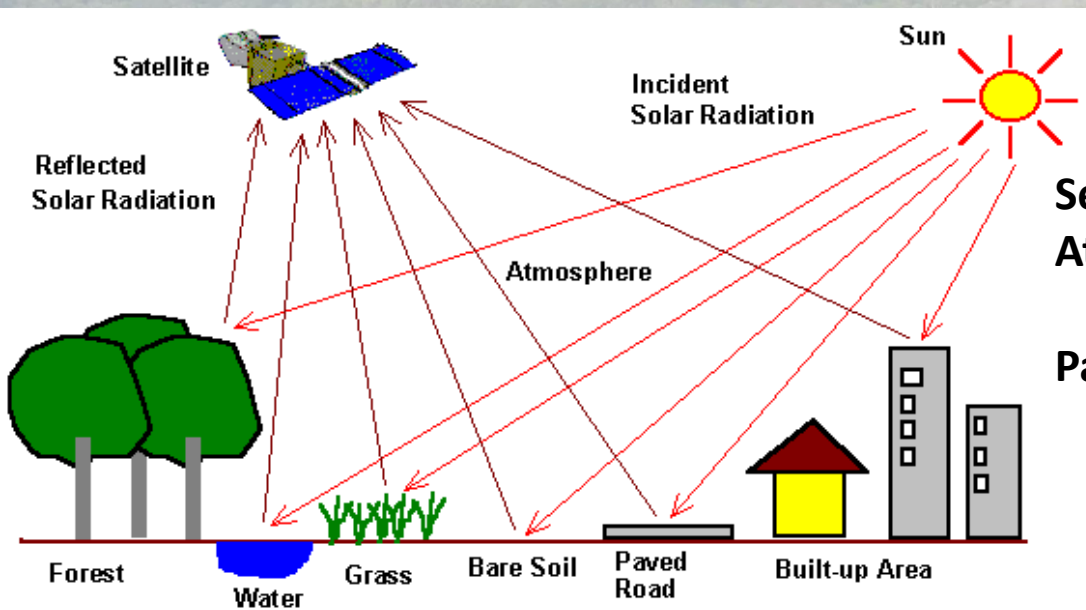
Piattaforme:

Satellitari

Avioniche

SAPR

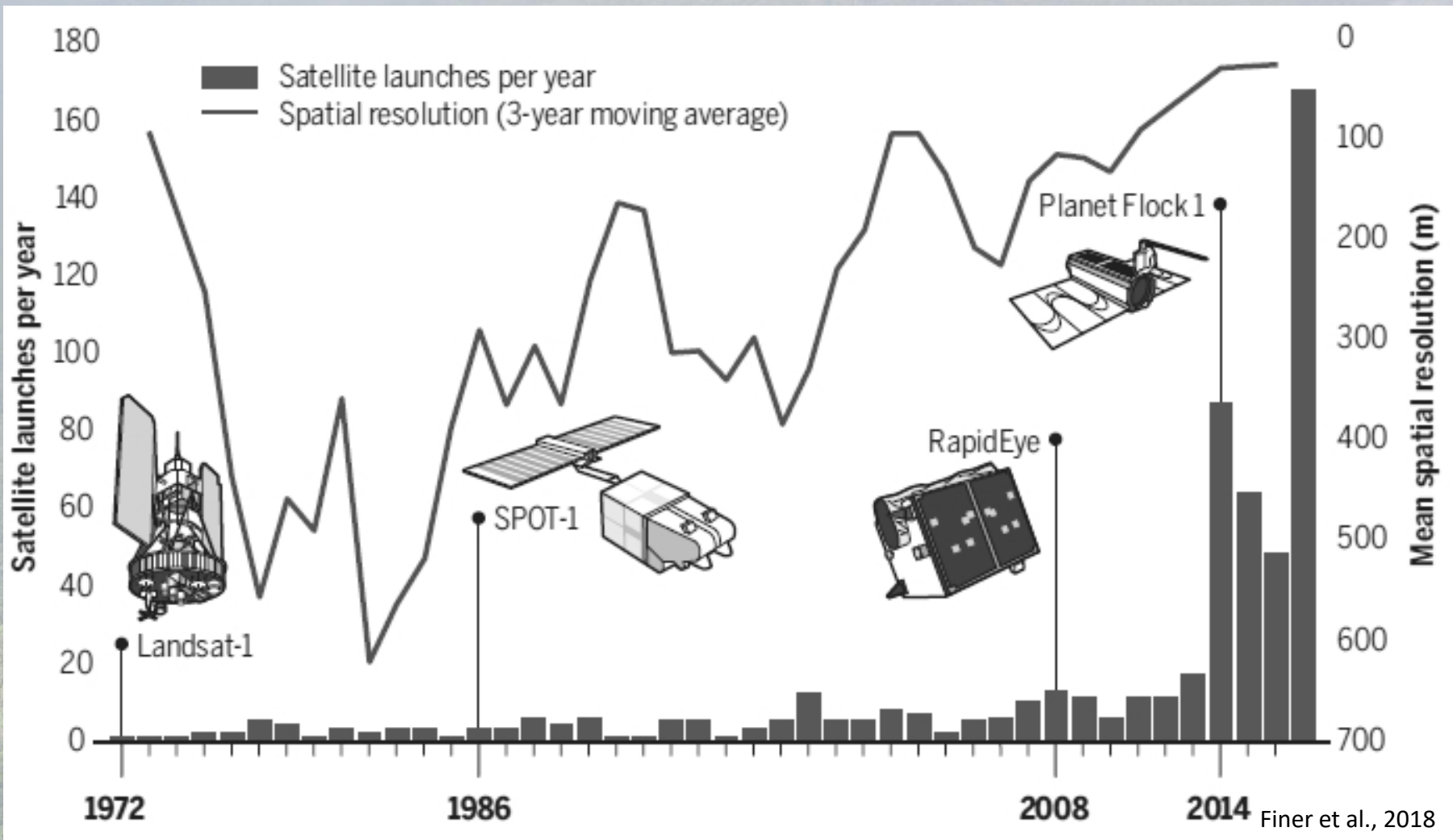
Ma anche palloni, aquiloni...



Sensori:

Attivi: Radar, SAR, LiDAR

Passivi (ottici): multispettrali, iperspettrali



I sensori sono caratterizzati da differenti tipi di risoluzioni

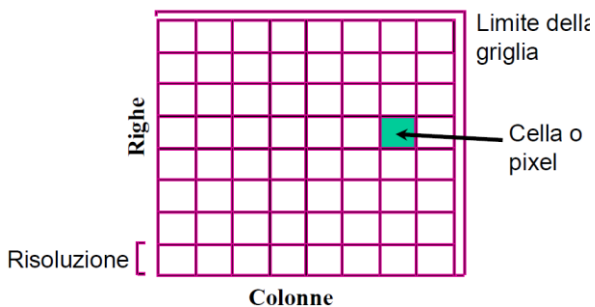
Risoluzione geometrica: dimensioni al suolo del pixel

Risoluzione spettrale: intervallo di lunghezze d'onda a cui è sensibile lo strumento; il numero di bande spettrali e la loro ampiezza

Risoluzione radiometrica: la sensibilità del sensore, minima energia in grado di stimolare il rivelatore ("detector") affinché produca un segnale elettrico rilevabile dall'apparecchiatura; il numero di variazioni tonali (toni di grigio) che esso può registrare, è in diretta relazione con il valore di bit/pixel (6 bit= 64 livelli; 8 bit= 256, 11 bit= 2048; 14 bit= 16384)

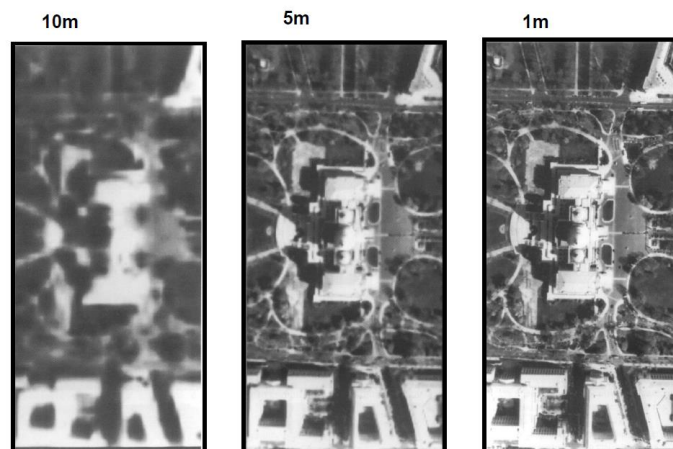
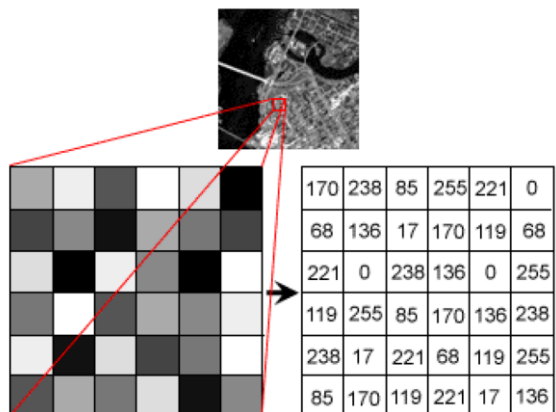
Risoluzione temporale: tempo di rivisitazione; ripetitività dell'osservazione

STRUTTURA RASTER



Pixel: picture element
Risoluzione: espressa in metri

Dal valore numerico alla rappresentazione in scala di grigio



Medium-Resolution Satellite Sensors

| Satellite | Sensor, Agency | Spectral Bands (Spatial Resolution) | Revisit, Swath, Radiometric Resolution | Operational Lifetime | Comments and References |
|-------------------------------|--|--|---|---|--|
| EO-1 | Advanced Land Imager (ALI) NASA | PAN (10 m) VIS (30 m) NIR (30 m) SWIR (30 m) | 16 days, 185 km, 12-bit | EO-1 Nov 2000–Feb 2017 | EO-1 ALI was an experimental satellite sensor with very sparse data acquisition (Ungar et al., 2003). |
| Landsat 1-3 | Multispectral Scanner (MSS) NASA | VIS (60 m) NIR (60 m) | 18 days, 185 km, 6-bit | L1 MSS Jul 1972–Jan 1975 L2 MSS Mar 1978–Jan 1978 L3 MSS Feb 1982– Mar 1983 | Landsat 1-3 MSS provide a global window into the 1970s and early 1980s (United States Geological Survey, 2017b). |
| Landsat 4-5 | Thematic Mapper (TM) NASA | VIS (30 m) NIR (30 m) SWIR (30 m) TIR (120 m) | 18 days, 185 km, 8-bit | L4 MSS / TM Jul 1982–Mar 1984 L5 MSS / TM Dec 1993–Jun 2013 | Landsat 4-5 TM provide continuous 30 m resolution imagery over the globe between 1982–2013, but more reliably between 1985–2012 (United States Geological Survey, 2017b). |
| Landsat 7 | Enhanced Thematic Mapper (ETM+) NASA | PAN (15 m) VIS (30 m) NIR (30 m) SWIR (30 m) TIR (120 m) | 16 days, 185 km, 9-bit | L7 ETM+ Apr 1999–present | Issues began in 2003 affecting the scan line corrector (SLC). Since May 1, 2003, persistent black stripes compromise > 20% of each image (United States Geological Survey, 2017b). |
| Landsat 8 + 9 Dal 11/21 | Operational Land Imager (OLI) NASA | PAN (15 m) VIS (30 m) NIR (30 m) SWIR (30 m) TIR (100 m) | 16 days, 185 km, 12-bit | L8 OLI Feb 2013–present | Landsat 8 OLI provides many enhancements to the ETM+, most notably the 12-bit radiometry and the addition of coastal and cirrus bands (United States Geological Survey, 2017b). |
| Terra | Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) JAXA/NASA | VIS (15 m) NIR (15 m) SWIR (15 m) TIR (90 m) | 16 days, 60 km, 8-bit (12-bit TIR) | ASTER Dec 1999–present | The SWIR bands were decommissioned on April 1, 2008, because of anomalously high SWIR values indicative of instrumentation error (Tan, 2008). |
| Sentinel 2A and 2B | Multispectral Imager (MSI) ESA | VIS (10 m) NIR (10 m) SWIR (20 m) | 10 days, 290 km, 12-bit | S2A MSI Jun 2015– present S2B MSI Mar 2017– present | Twin polar orbiting satellites phased at 180° to each other have a combined five-day revisit time (Malenovský et al., 2012). |

8 days con 9

Bevington, 2018

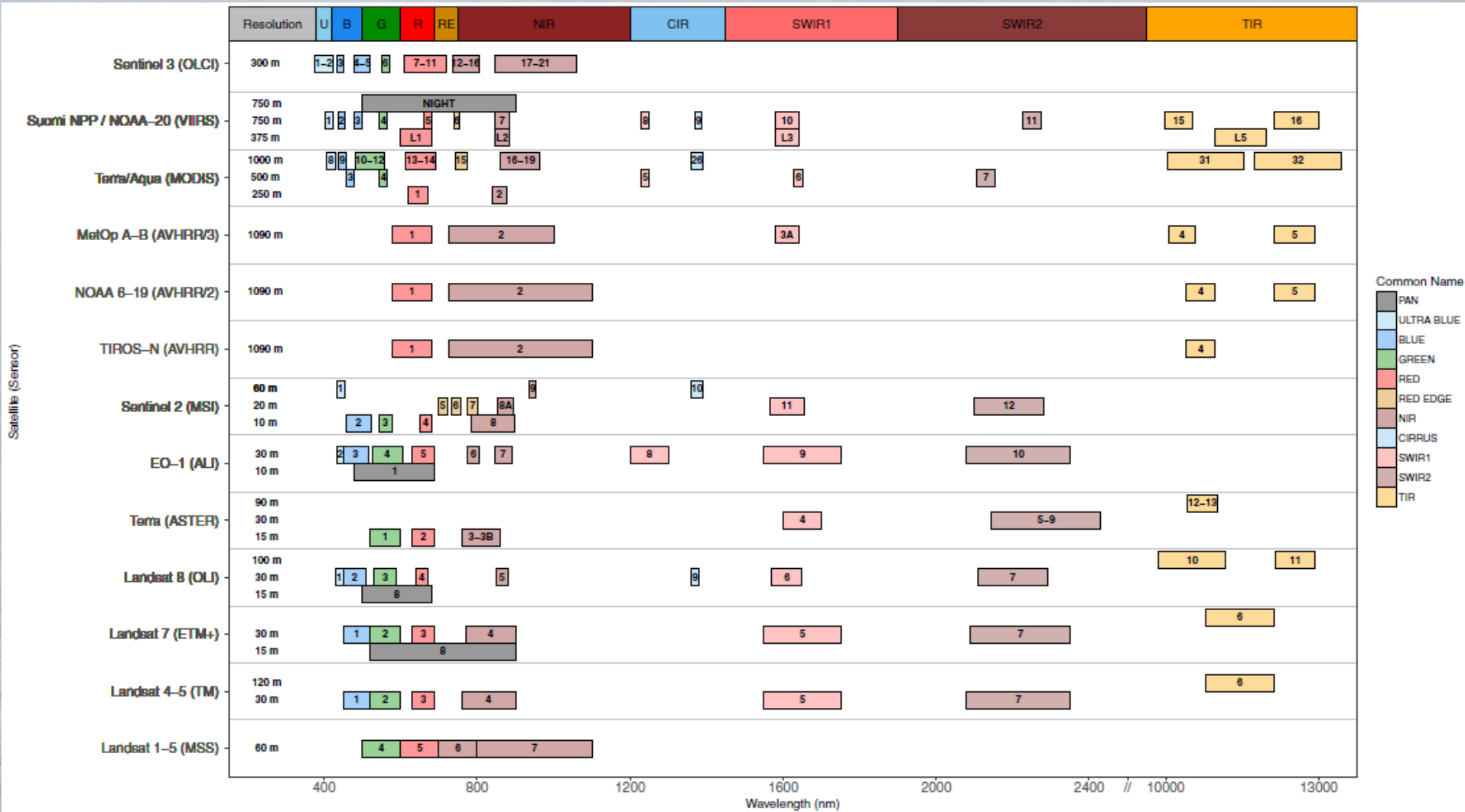


Figure 2. Comparison of bands measured by low- and medium-resolution FOSI satellite sensors. Note: some values have been altered slightly for display purposes; wavelengths between 3,000 and 10,000 nm have been omitted. Bevington, 2018

Le immagini «grezze» devono essere pre-elaborate (pre-processing, ovvero calibrate e corrette):
 1 correzione geometrica, 2 correzione radiometrica, 3 correzione atmosferica

DN vs Radianza vs Riflettanza

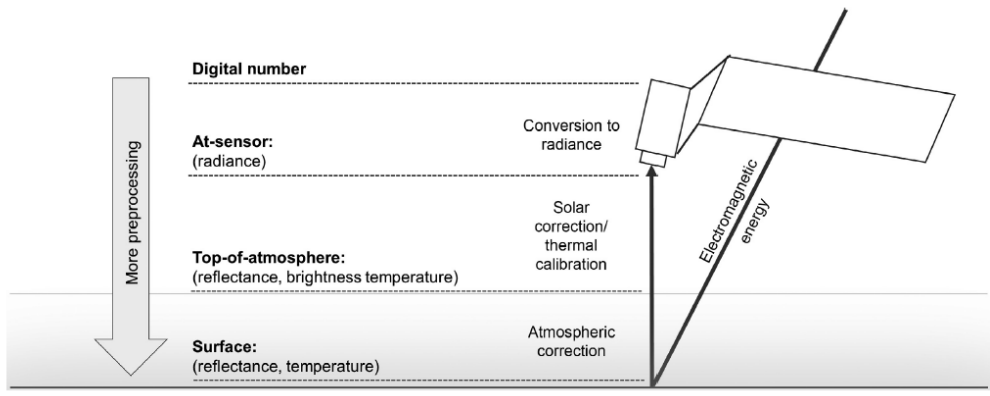
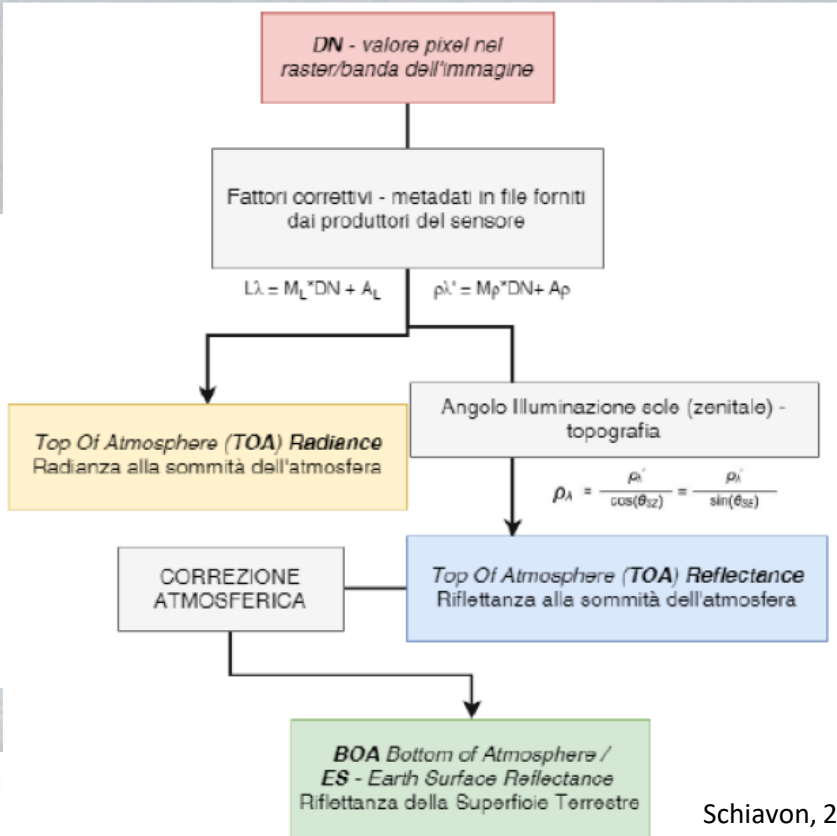


Fig. 2. The common units of Landsat imagery used in ecological analysis. The units change as each step of absolute correction is performed: conversion to radiance, solar correction/thermal calibration, and atmospheric correction.



Schiavon, 2018

Figura 13- Passaggi per collegare il DN al valore di riflettanza BOA (Fonte: Slides Lezioni del corso di Telerilevamento e Sistemi informativi tenuto dal Phd F. Pirotti).

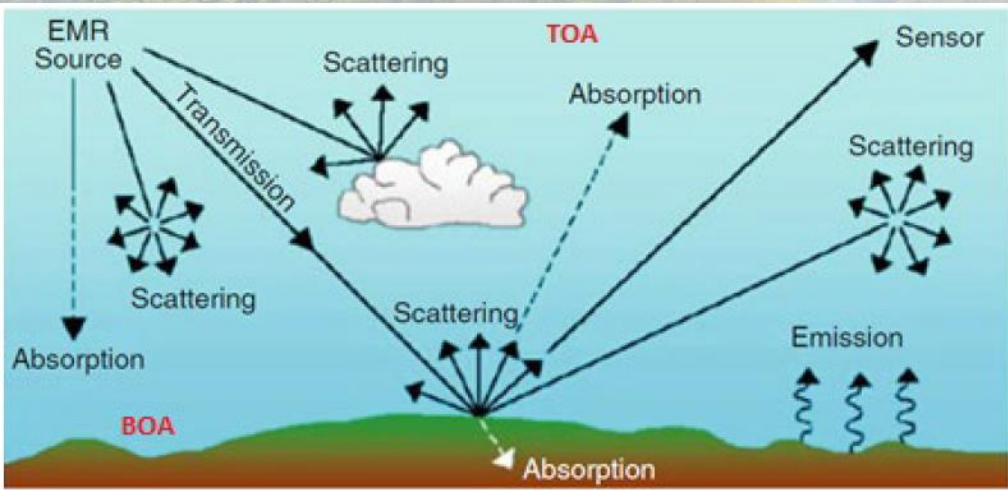


Figura 11- Interazione dell'energia con l'atmosfera e la superficie terrestre (Fonte: Lillesand and Kiefer 1993)



TOA



BOA

Applicazioni delle immagini per riconoscere e classificare oggetti e fenomeni in un'immagine in un dato tempo T e variazioni temporali confrontando immagine di una stessa area di periodi differenti: copertura e uso del suolo, presenza/assenza di vegetazione e deforestazione, stato della vegetazione, variazione delle colture, variazione del costruito (soil sealing), temperatura al suolo, etc.

Attenzione ai sensori e alle loro risoluzioni, alla data dell'immagine (per vegetazione)

(Alcune) Metodologie di analisi:

- **Fotointerpretazione** (aiutata da combinazioni tra bande e contrasto tonale): riconoscimento manuale degli oggetti basato su colore, tessitura, pattern, ecc.
- **Classificazione supervised** (controllata) o **unsupervised** (non controllata) (pixel based, object based se avviene processo previo di segmentazione)
- **Indici spettrali** e rapporti tra bande spettrali

Table 1. Common multispectral band names and their interpretations

| Band Name | Common Interpretations |
|--------------|---|
| Panchromatic | Usually samples visible light at a higher resolution |
| Ultra-Blue | Shallow water, suspended sediments, chlorophyll concentrations, algae blooms, and aerosols; also known as the coastal or aerosol band |
| Blue | Shallow water, land cover, and deciduous/coniferous, sensitive to atmospheric scatter |
| Green | Emphasizes the true colour of vegetation |
| Red | Discriminates vegetation and chlorophyll absorption for vegetation health |
| Red Edge | Exploits the sharp contrast between red and near infrared |
| NIR | Emphasizes biomass content and shorelines |
| SWIR1 | Soil and canopy moisture and thin cloud penetration |
| SWIR2 | Soil and canopy moisture and thin cloud penetration |
| Cirrus | Detection of cirrus clouds |
| TIR | Thermal mapping, soil moisture, cloud mapping |

Note: Not all sensors have these bands, and not all bands are in this table. *Source:* Modified from USGS (2017a) and Geospatial Innovation Facilities (2008).

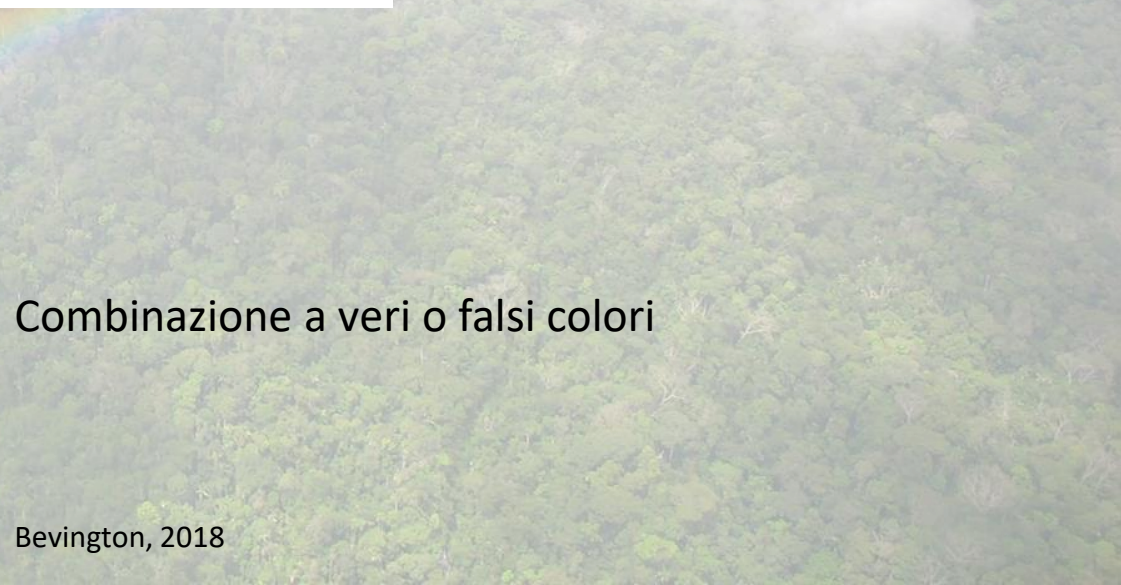
Table 2. Common band combinations for the visualization of multispectral composite imagery

| RGB Band Combination | Combination Name |
|----------------------|---------------------------|
| RED, GREEN, BLUE | True Colour |
| NIR, RED, GREEN | Near Infrared Vegetation |
| SWIR2, NIR, RED | False Colour Vegetation |
| SWIR1, NIR, BLUE | False Colour Agricultural |
| SWIR2, RED, BLUE | False Colour Geological |
| RED, GREEN, COASTAL | False Colour Bathymetric |
| SWIR2, SWIR1, RED | False Colour Urban |

Note: Modified from Geospatial Innovation Facilities (2008) and Butler (2013)

Interpretazione delle bande spettrali e combinazioni di bande

Bande in toni di grigio



Combinazione a veri o falsi colori

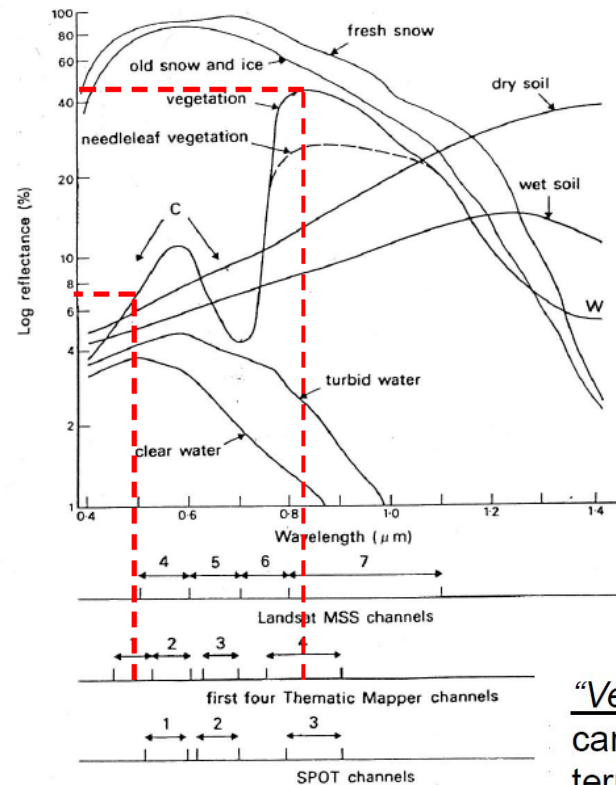
Bevington, 2018

CLASSIFICAZIONI MULTISPETTRALI

➤ Una classificazione multispettrale analizza le diverse firme spettrali e quindi assegna tutti i pixel di un'immagine ad un certo numero di categorie, che rappresentano determinate firme spettrali (Sabins, 1978)

➤ Due tipi principali di classificazioni: 1) classificazione controllata ("supervised") e 2) classificazione non controllata ("unsupervised")

➤ Applicazioni: carte di copertura o uso del suolo (una carta tematica richiesta per svariati tipi di applicazioni)



Surian N.

"Verità a terra" basate su campionamenti diretti sul terreno e immagini fotografiche ad alta risoluzione (ortofoto digitale a colori)



Classificazione unsupervised: prescinde dalla conoscenza della realtà al suolo.

Classificazione supervised: si basa sulla conoscenza di alcune aree campione rappresentative delle classi di superficie (training sites) E' buona cosa poi definire accuratezza classificazione confrontando con aree note

| Index or Ratio | Formula | Description and Original Reference |
|--|--|--|
| Normalized Difference Vegetation Index | $NDVI = \frac{N - R}{N + R}$ | Vegetation and biomass index (Rouse et al., 1973) |
| Normalized Difference Water Index | $NDWI = \frac{G - N}{G + N}$ | Water body index (McFeeters, 1996) |
| Modified Normalized Difference Water Index | $mNDWI = \frac{G - S1}{G + S1}$ | Improved water body index (Xu, 2006) |
| Automated Water Extraction Index | $AWEI_{min} = 4 \cdot (G - S1) - 0.25 \cdot N + 2.75 \cdot S2$ | Improved water body index (Feyisa et al., 2014) |
| Normalized Difference Moisture Index | $NDMI = \frac{N - S1}{N + S1}$ | Canopy and soil moisture index (Gao, 1996) |
| Normalized Burn Ratio | $NBR = \frac{N - S2}{N + S2}$ | Burn severity index (Key & Benson, 1999) |
| Differenced Normalized Burned Ratio | $dNBR = NBR_{PRE} - NBR_{POST}$ | NBR relative to pre-fire conditions (Key & Benson, 2006) |
| Normalized Difference Snow Index | $NDSI = \frac{G - S1}{G + S1}$ | Snow index (Hall et al., 1995) |
| Enhanced Vegetation Index | $EVI = 2.5 \left(\frac{N - R}{1 + N + 6 \cdot R - 7.5 \cdot B} \right)$ | Enhanced vegetation index (Huete et al., 1997) |

Bevington, 2018

Indici Spettrali e rapporti tra Bande

Avendo valori tra -1 e +1 permettono l'estrazione del fenomeno di interesse impostando uno o più valori soglia... Segmentazione in un Raster binario 0-1

Note: B = BLUE, G = GREEN, R = RED, RE = RED EDGE, N = NIR, S1 = SWIR1, S2 = SWIR2, c = Sensor specific band coefficient, σ = Standard deviation of a pixel relative to the mean of the image

<https://www.indexdatabase.de/>

Gli indici sono delle operazioni matematiche che mettono in relazione tra loro le bande dell'immagine seguendo delle funzioni matematiche. Queste operazioni risultano in una nuova "banda" con i valori risultanti dalle operazioni; questi nuovi valori numerici sono legati a caratteristiche o fenomeni che si vogliono studiare. Un'altra caratteristica è quella di riassumere delle informazioni che si trovano su più bande su un'unica banda. L'indice, inoltre, fornisce un valore di lettura immediata, in quanto chi legge il valore dell'indice vede subito quali zone hanno una colorazione più intensa, mentre sarebbe invece difficoltoso valutare tale caratteristica guardando l'immagine caricando solamente le bande. In letteratura esistono moltissimi indici ambientali i quali si differenziano in base al fenomeno che intendono evidenziare.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Vegetation Reflectance



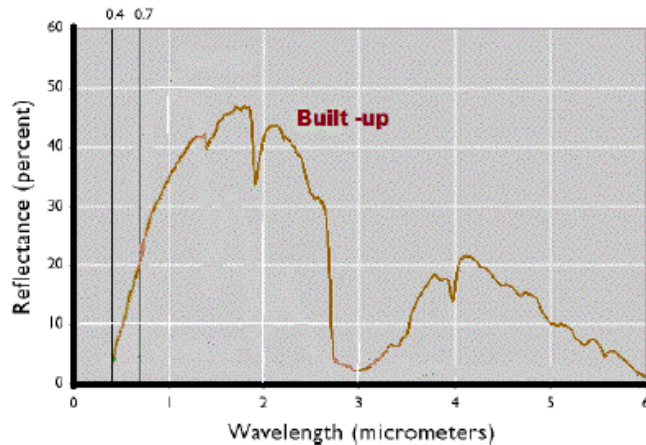
Figura 22- Confronto schematico di riflettanza tra foglie morte, sotto stress e sane con riflettanza colori VIS e NIR (Fonte: <https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>).

| NDVI | INTERPRETAZIONE |
|-----------|---|
| 0 - 0.1 | Suolo nudo |
| 0.1 - 0.2 | Copertura vegetale quasi assente |
| 0.2 - 0.3 | Copertura vegetale molto bassa |
| 0.3 - 0.4 | Copertura vegetale bassa, vigoria bassa oppure copertura vegetale molto bassa, vigoria alta |
| 0.4 - 0.5 | Copertura vegetale medio-bassa, vigoria bassa oppure copertura vegetale molto bassa, vigoria alta |
| 0.5 - 0.6 | Copertura vegetale media, vigoria bassa oppure copertura vegetale medio-bassa, vigoria alta |
| 0.6 - 0.7 | Copertura vegetale medio-alta, vigoria bassa oppure copertura vegetale media, vigoria alta |
| 0.7 - 0.8 | Copertura vegetale alta, vigoria alta |
| 0.8 - 0.9 | Copertura vegetale molto alta, vigoria molto alta |
| 0.9 - 1 | Copertura vegetale totale, vigoria molto alta |

Schiavon R

Gli indici vegetazionali sfruttano le proprietà della vegetazione di riflettere maggiormente le lunghezze d'onda del verde e del NIR, che dipende da tipo di vegetazione, fattori ambientali e stato di salute

Normalized Difference Build-up Index



$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

SWIR band 1.55-1.75 μm - NIR band 0.76-0.9 μm

< 0 vegetazione
0.1 - 0.5 urbano

Massironi M.

$$NBI = \frac{b_{red} \cdot b_{swir}}{b_{nir}}$$

$$MBI = \frac{b_{swir_2} \cdot b_{red} - b_{nir}^2}{b_{red} + b_{nir} + b_{swir_2}}$$

...

Differenti indici in letteratura per estrarre l'urbanizzato, basati sul fatto che le aree urbane hanno una risposta di riflettanza nello SWIR più alta di altre bande spettrali, anche se non è facile discriminare tra urbano e suolo nudo

Valdiviezo-N et al., 2018

Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)

$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{SWIR}) / (\text{Green} + \text{SWIR})$$

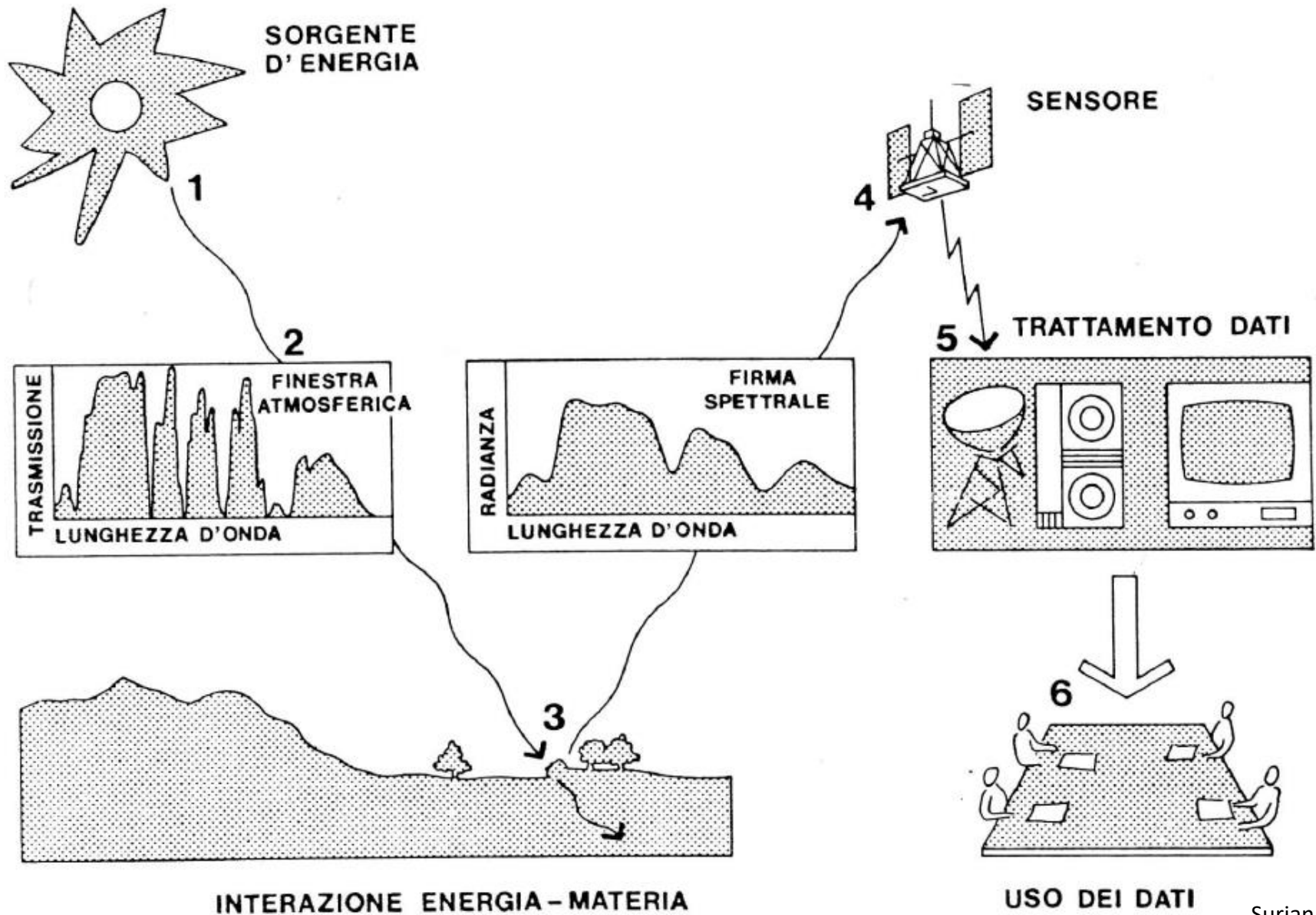
Green = pixel values from the green band

SWIR = pixel values from the short-wave infrared band

Acqua valori molto positivi

Built-up, suolo e vegetazione hanno valori negativi

COMPONENTI DI UN SISTEMA DI TELERILEVAMENTO



Come ottenere le immagini satellitari

USGS



GloVis

Home Take Tour Release Notes FAQ

Interface Controls

Selected Scenes (0)

Choose Your Data Set(s)

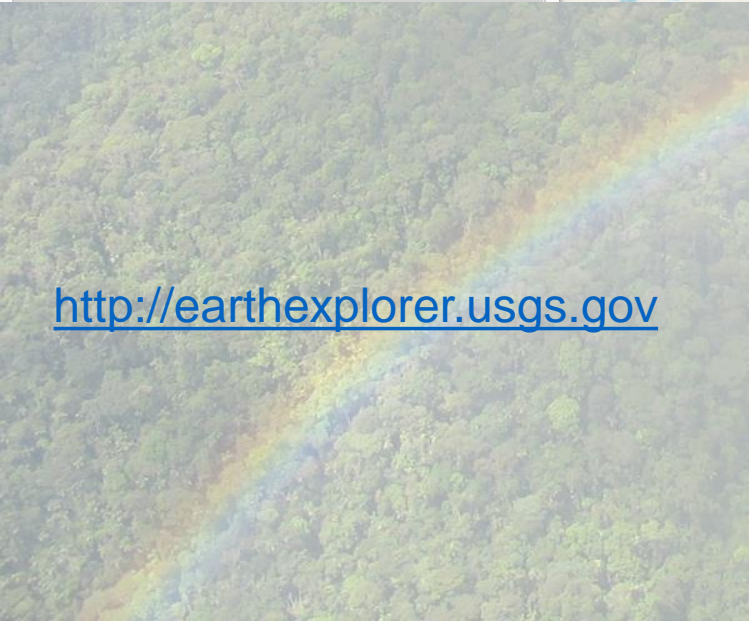
Data Set Filter

- DOQ
- EO-1 ALI
- EO-1 Hyperion
- Global Land Survey
- IRS AWIFS
- IRS LISS-3

6 scenes match your criteria.

Metadata Filter

<https://glovis.usgs.gov/>



<http://earthexplorer.usgs.gov>

EarthExplorer - Home

Home Login Register Feedback Help

Search Criteria Data Sets Additional Criteria Results

2. Select Your Data Set(s)

Check the boxes for the data set(s) you want to search. When done selecting data set(s), click the Additional Criteria or Results buttons below. Click the plus sign next to the category name to show a list of data sets.

Use Data Set Profiler (What's This?)

Data Set Search:

- Aerial Imagery
- AVHRR
- CEOS Legacy
- Commercial Satellites
- Declassified Data
- Digital Elevation
- Digital Line Graphs
- Digital Maps
- EO-1
- Global Fiducials
- HCMM
- ISERV
- Land Cover
- Landsat
- NASA LPDAAC Collections
- Radar
- Sentinel
- UAS

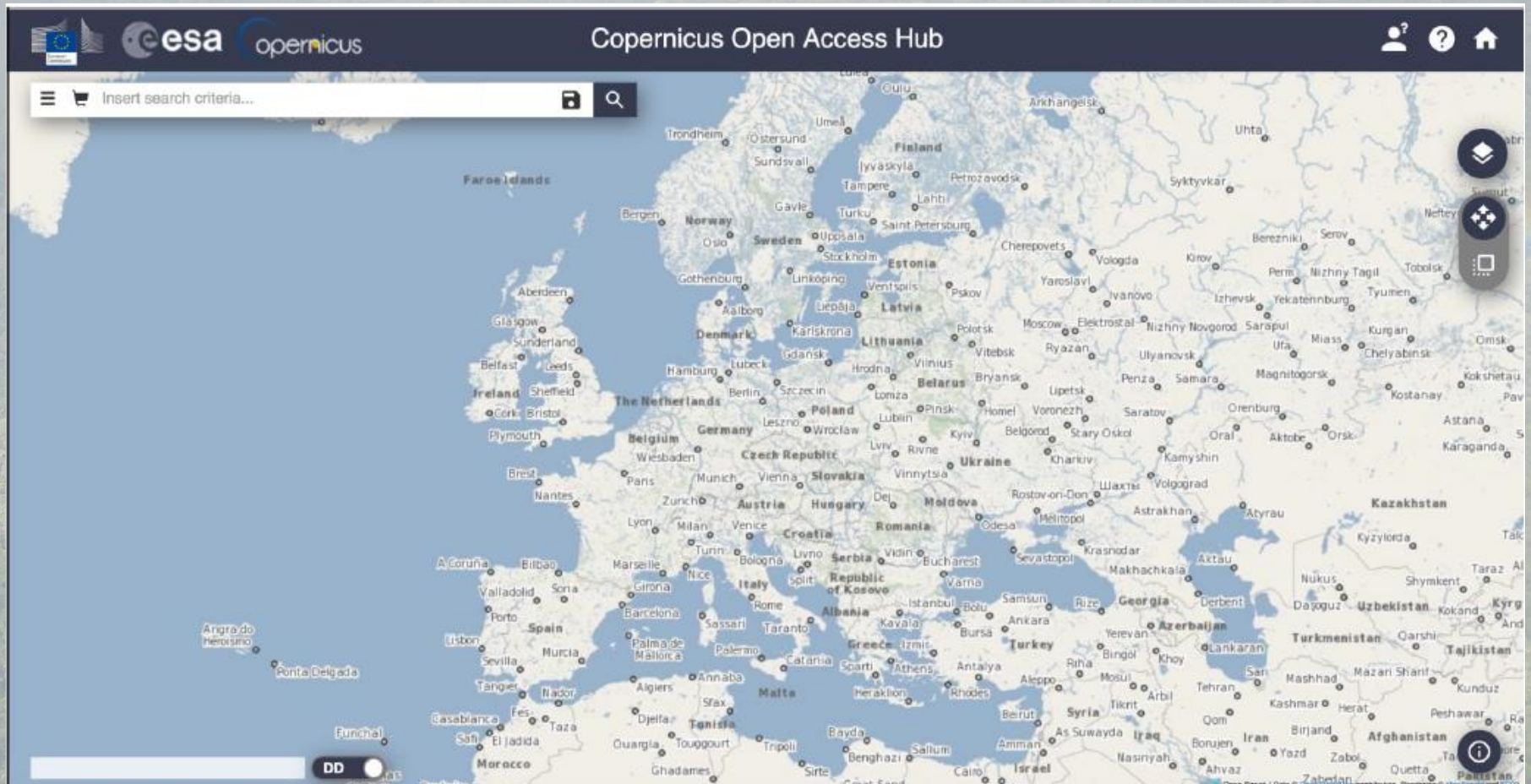
Search Criteria Summary (show)

Clear Search Criteria

Come ottenere le immagini satellitari

ESA

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>



SW opensource per processare e analizzare Immagini da RS

Free and Open Source Remote Sensing Software

| Name | Description | Reference |
|---|--|--------------------------------|
| QGIS | GIS software with raster processing capabilities | (QGIS Development Team, 2012) |
| QGIS and Semi-Automatic Classification (SCP) Plugin | QGIS plugin to search, download, process, and classify satellite imagery | (Congedo, 2017) |
| ESA SNAP Toolbox | Fully functional remote sensing capabilities for optical and radar imagery | (European Space Agency, 2017b) |
| Google Earth Engine Code Editor | Cloud-based coding platform for processing FOSI at global scales | (Gorelick et al., 2017) |
| SAGA | GIS software with raster processing capabilities | (Conrad et al., 2015) |
| GRASS | GIS software with raster processing capabilities | (Neteler et al., 2012) |
| OTB | Tools for processing of remote sensing images | (Christophe et al., 2008) |

Bevington, 2018

Biblio/sitio-grafia per slides e per approfondire

- Schiavon R. (2018), Satelliti Landsat 8 e Sentinel-3 per l'identificazione delle aree interessate da schianti da vento: il caso Vaia. Tesi di laurea Magistrale in Scienze e tecnologie forestali e ambientali, aa. 2018/19
- Bevington A. et al. (2018), A Review of Free Optical Satellite Imagery for Watershed-Scale Landscape Analysis. <http://confluence-jwsm.ca/index.php/jwsm/article/view/18>
- Valdiviezo-N J. et al. (2017), Built-up index methods and their applications for urban extraction from Sentinel 2A satellite data: discussion. Journal of the Optical Society of America A, vol. 35, n. 1
- Surian N. e Massironi M., slides dei corsi di Remote Sensing del Master di II livello in GIScience e SPR, UNIPD
- <https://gisgeography.com/remote-sensing-earth-observation-guide/>
- <http://www.fao.org/3/T0446E/T0446E04.htm>
- <https://seos-project.eu/remotesensing/remotesensing-c01-p01.html>
- <https://fromgistors.blogspot.com/>
- <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/fundamentals-remote-sensing>