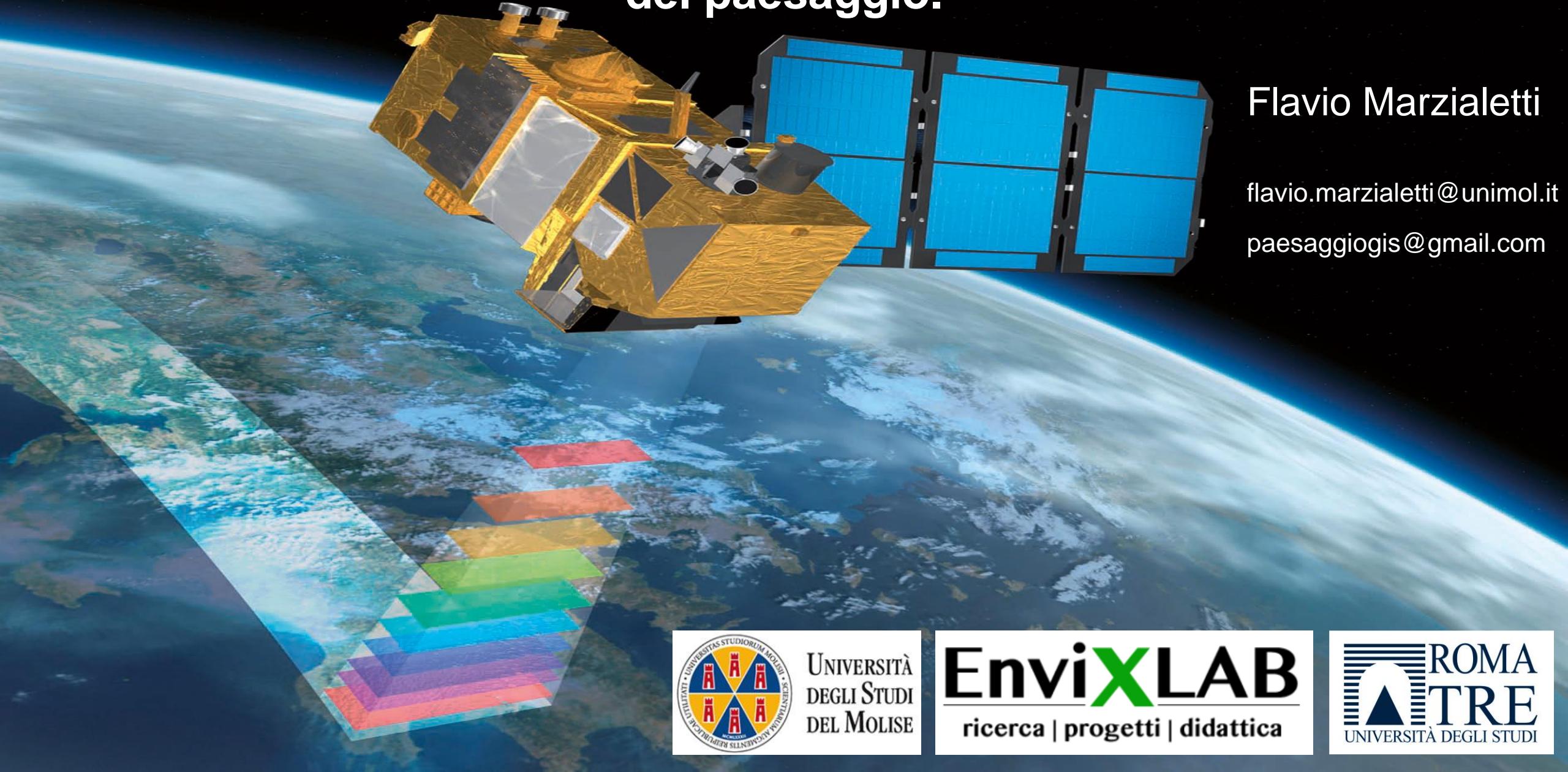


# Remote sensing – Teoria : introduzione e casi applicativi in ecologia del paesaggio.



Flavio Marzialetti

[flavio.marzialetti@unimol.it](mailto:flavio.marzialetti@unimol.it)

[paesaggiogis@gmail.com](mailto:paesaggiogis@gmail.com)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DEL MOLISE

**EnviXLAB**  
ricerca | progetti | didattica

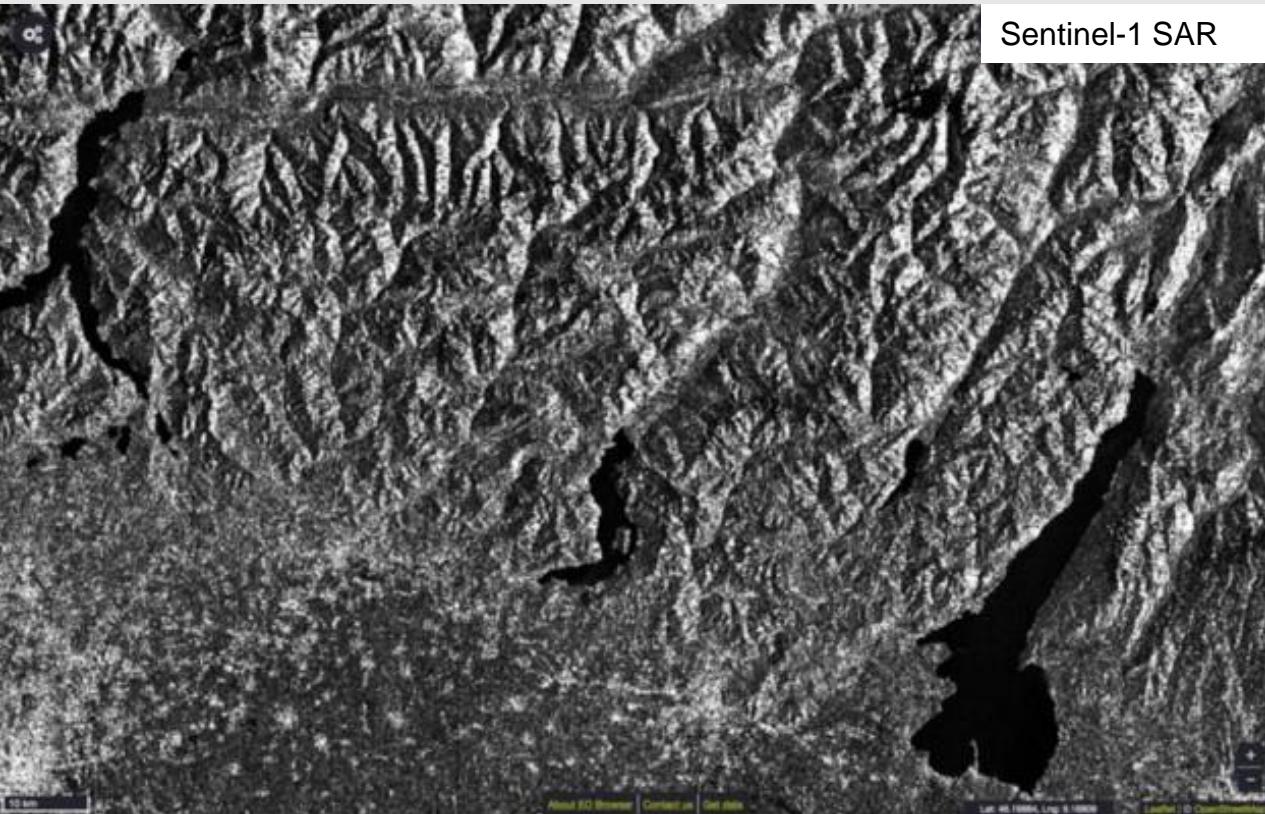
**ROMA TRE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI

# Definizione

## Remote sensing o telerilevamento:

Disciplina scientifica che studia oggetti o fenomeni sulla superficie terrestre raccogliendo informazioni tramite l'utilizzo di sensori senza il diretto contatto con l'oggetto/fenomeno in analisi.

Ogni oggetto sulla superficie terrestre che subisce una radiazione elettromagnetica ne assorbe una porzione e ne riemette una parte. Secondo questo principio le energie rimesse dagli oggetti possono essere utilizzate per formare delle immagini.



Sentinel-1 SAR

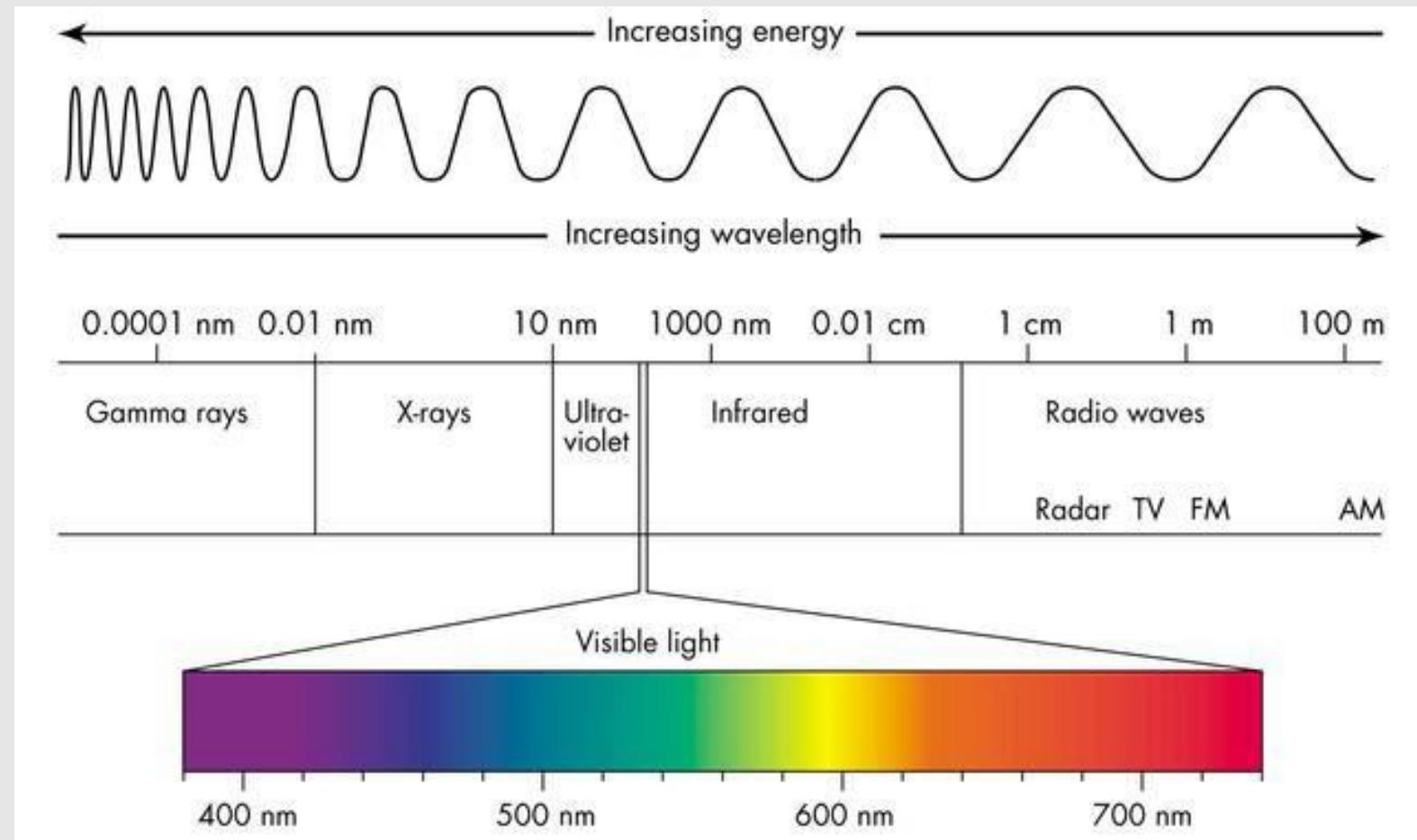


Landsat ETM+

# Spettro Elettromagnetico

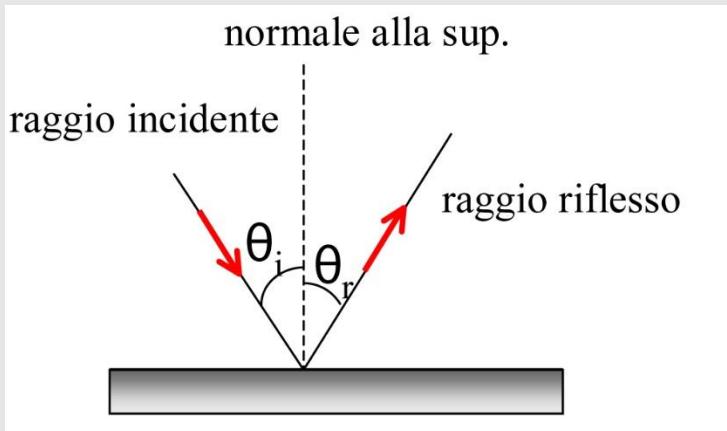
Lo spettro elettromagnetico è la gamma di tutti i tipi di radiazioni elettromagnetiche.

Possiamo suddividere lo spettro sulla base delle lunghezze d'onda e al variare del energia (frequenza).

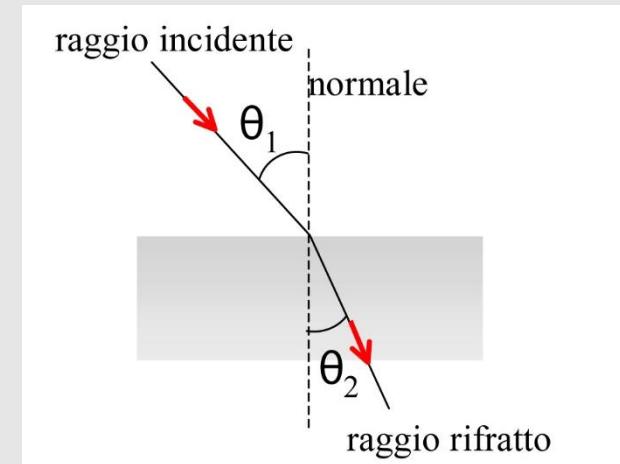


# Riflessione e Rifrazione

Riflessione è l'emissione di un raggio elettromagnetico da parte di un oggetto colpito da un raggio elettromagnetico.



Rifrazione è la deviazione che un raggio elettromagnetico subisce nel passare da un mezzo ad un altro.

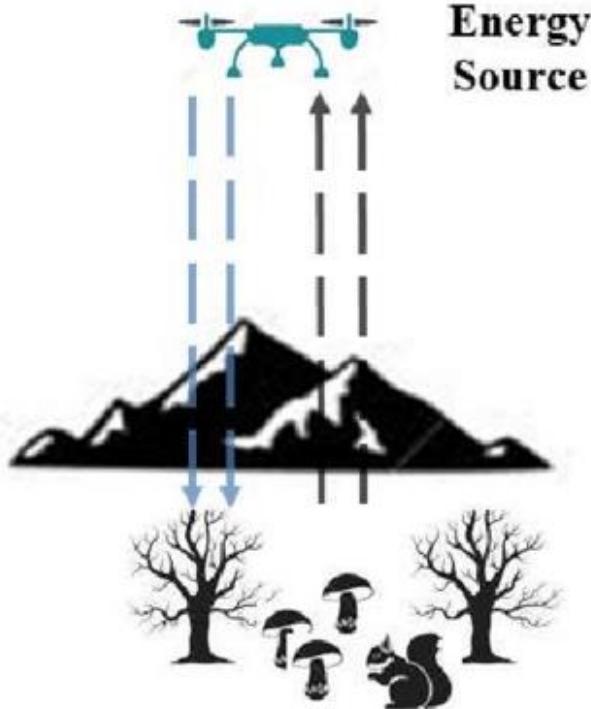


Caso reale:



# Sensori

## Active Sensing



Laser altimetrico;  
SAR (Synthetic-Aperture Radar);  
Radar;  
LiDaR (Light detection and Ranging).

## Passive Sensing



Energy Source



Radiometro iperspettrale, multispettrale, monobanda;

Spettrometro iperspettrale, multispettrale, monobanda.

# Sensore attivo: LiDAR

**Light Detection and Ranging (LiDAR)** – sensore attivo emette impulsi laser pulsato che colpiscono un oggetto. Il sistema LiDAR calcola il tempo di ritorno del impulso al sensore secondo la formula seguente.

Il tempo di ritorno degli impulsi combinati con il dato di posizione tramite un gps GNSS e l'angolazione del impulso è possibile ricreare la forma tridimensionale di un oggetto e la sua georeferenziazione.

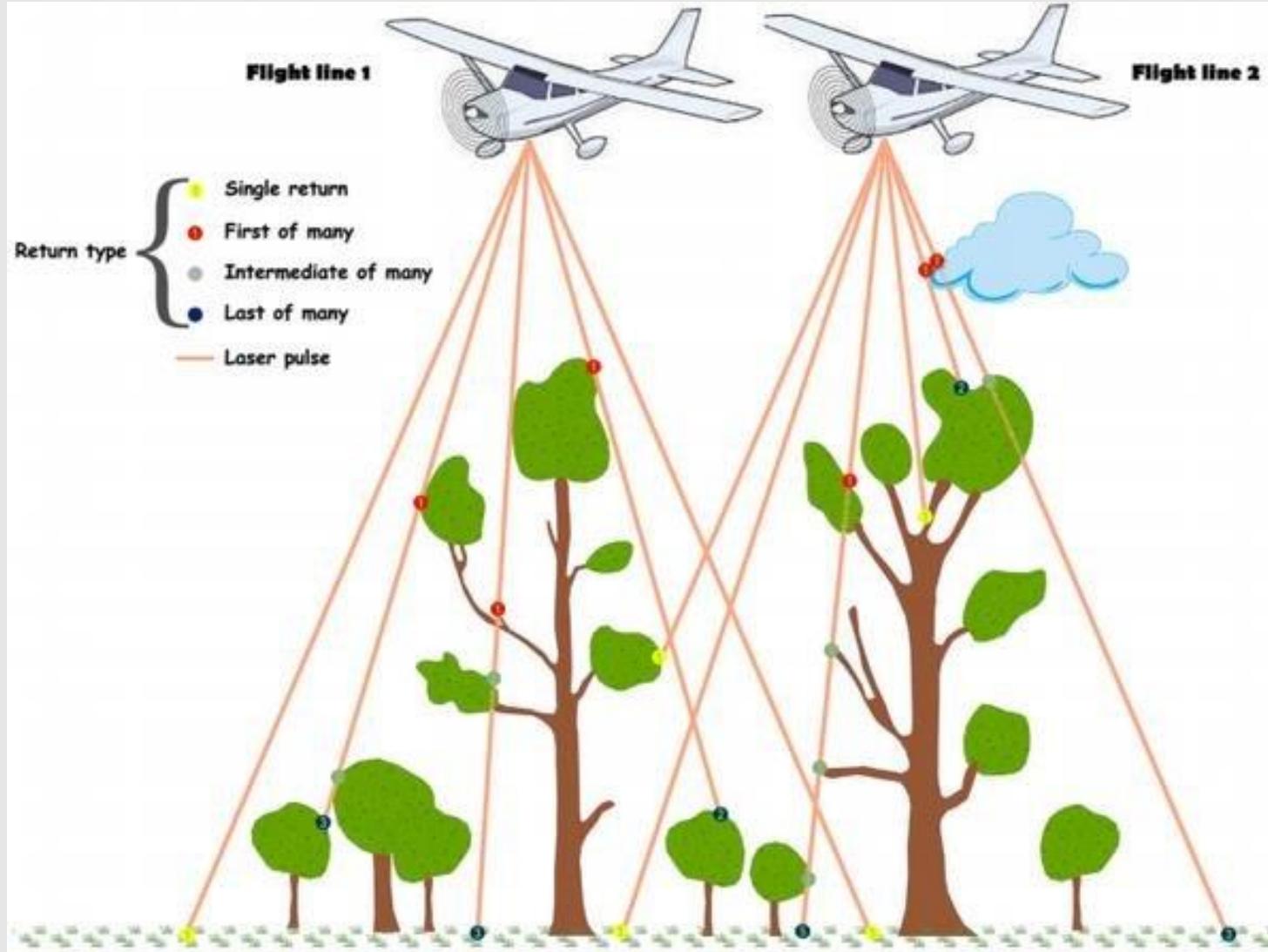
$$D = r*t/2$$

D = the distance from the sensor to the target

r = rate of speed (speed of light =  $3 \times 10^8$  m/s)

t = time it takes for the pulse to return

*Note: the time is divided by 2 because the light must travel to the object and back to the sensor*

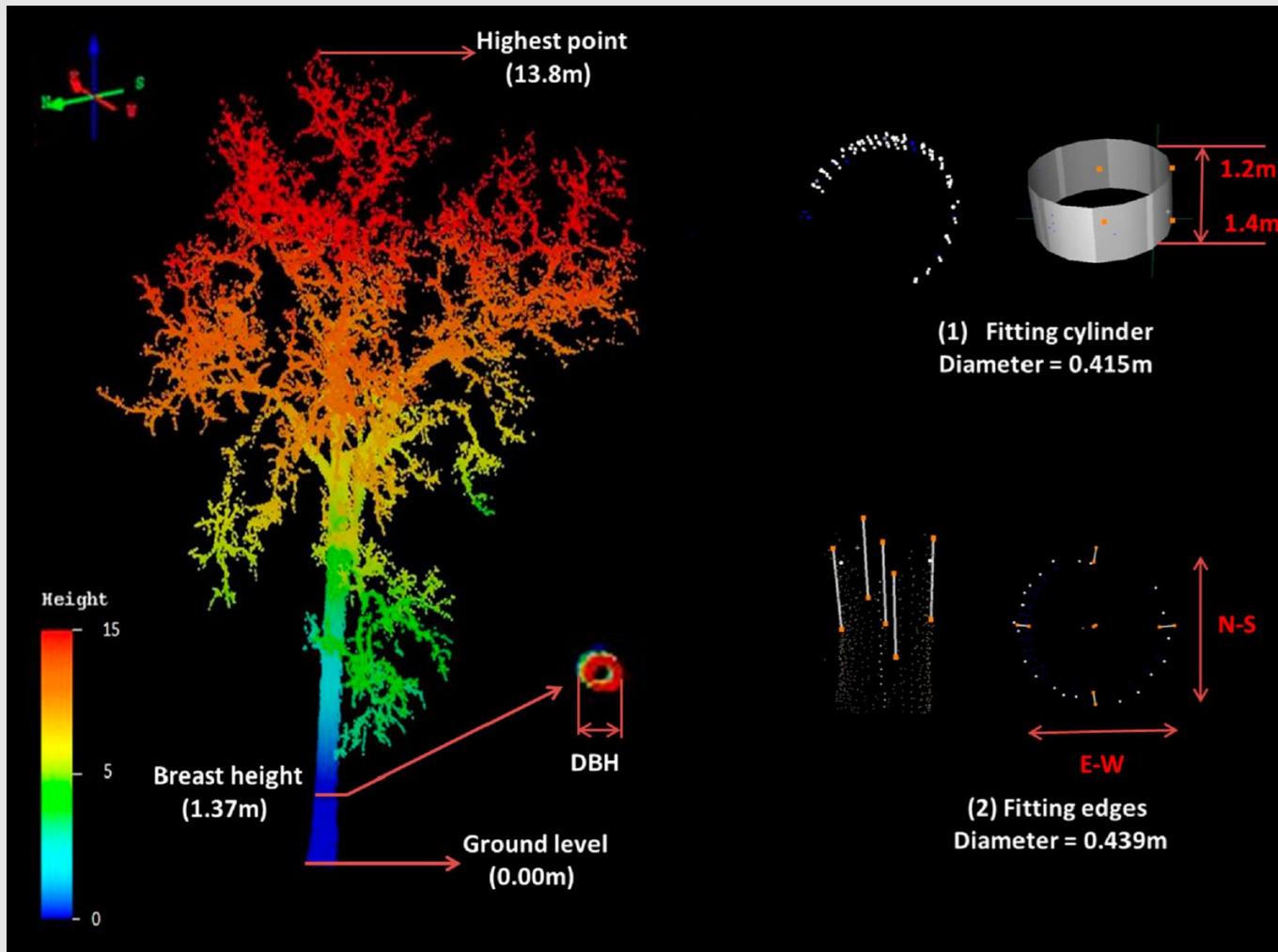


# Sensore attivo: LiDAR

LiDAR sono utilizzati su tre principali piattaforme:

- 1) Terrestri – utilizzo in ambito forestale a scala di singolo albero (calcolo del altezza, area basale, diametro del tronco, biomassa fuori da terra, ecc.);
- 2) Aviotrasportati – sia da aerei sia da SAPR, utilizzati principalmente per analisi della morfologia del territorio, della canopy forestale, ecc. a scala locale;
- 3) Satellitari – raccolta di dati sulla copertura nuvolosa , sulla volta della vegetazione, sulle calotte polari, ecc. a scala globale (esempio di satellite IceSat-2)

Esempio di utilizzo di LiDAR terrestre per analisi forestali



# Sensore attivo: SAR

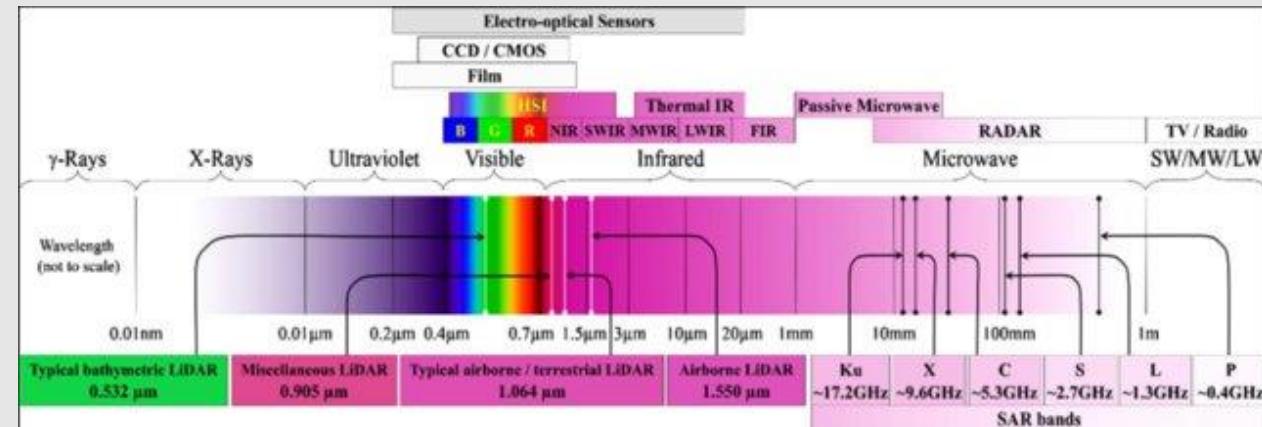
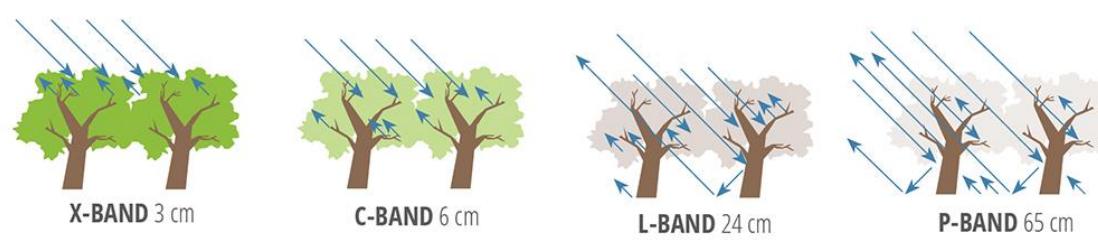
**Synthetic-Aperture Radar (SAR)** – sensore attivo che acquisisce dati ad alte lunghezze d'onda. I ritorni del SAR permettono di analizzare le caratteristiche fisiche della superficie analizzata ( rugosità superficiale, struttura geometrica, ecc.).

Vantaggi:

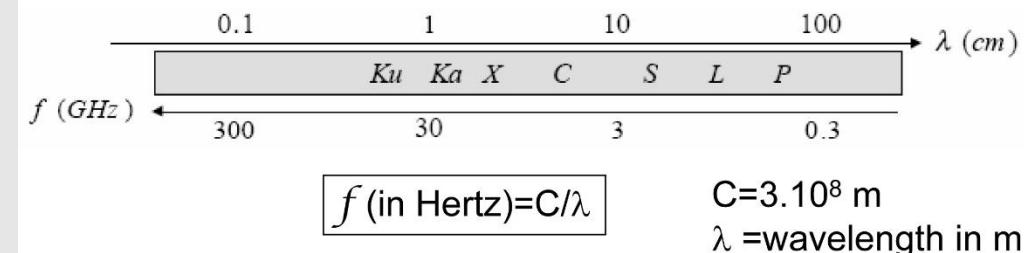
- i) Acquisizioni di dati in ogni condizione meteorologica;
- ii) Acquisizioni di dati sia durante le ore giornaliere sia durante le ore notturne.

Banda utilizzata per analisi della morfologia della canopy forestale

Banda utilizzata per analisi della morfologia della suolo



Frequency band	Wavelength (cm)	Frequency (GHz)
Ka	0.8-1.1	40 - 26.5
K	1.1-1.7	26.5 - 18
Ku	1.7-2.4	18 - 12.5
X	2.4-3.8	12.5 - 8
C	3.8-7.5	8 - 4
S	7.5-15	4 - 2
L	15 - 30	2 - 1
P	30 - 100	1 - 0.3

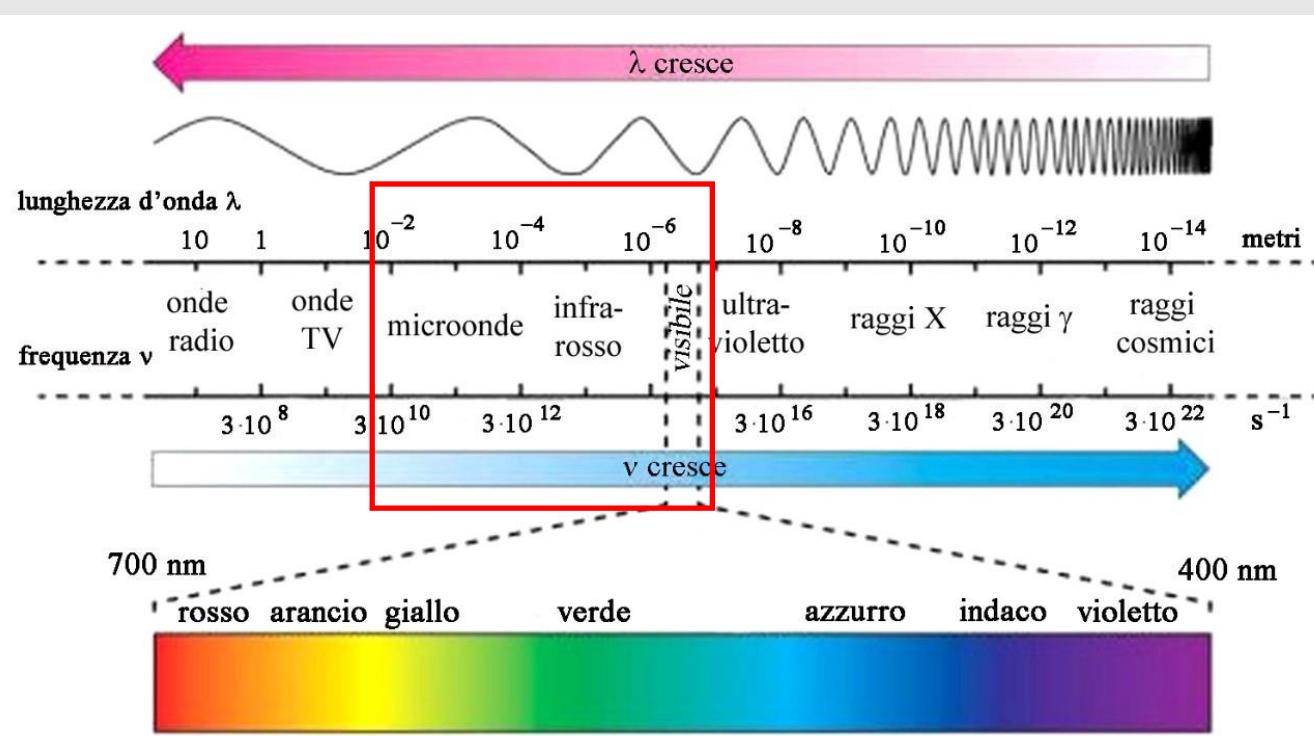


# Sensore passivo: fotocamera

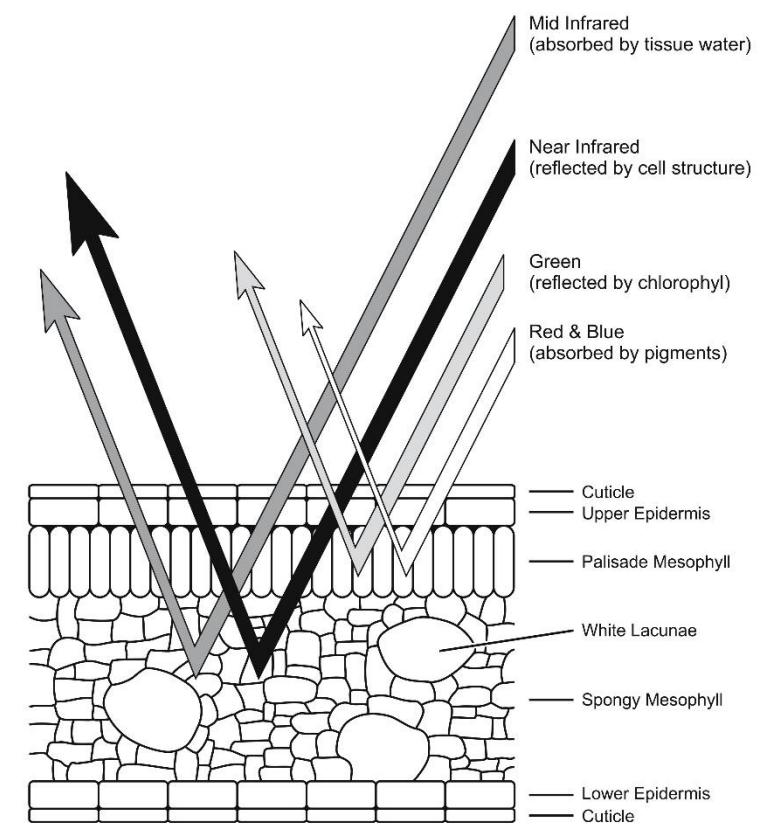
Un sensore passivo misura la lunghezza d'onda di radiazione elettromagnetica riemessa dall'oggetto in esame, esempio: fotocamera.

Infatti oggetti diversi mostrano spettri elettromagnetici diversi.

Spettro elettromagnetico

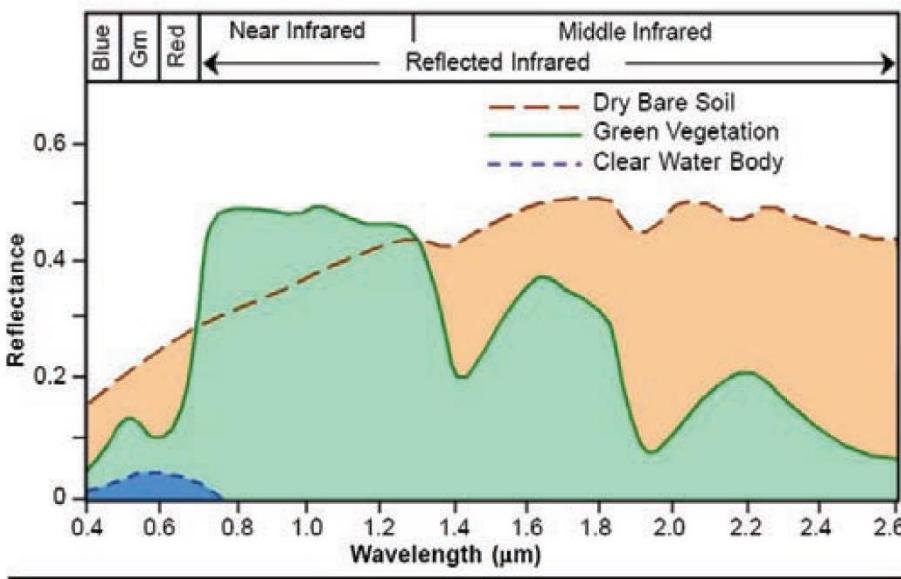


**Fig. 1** Leaf-radiation interactions at microscopic level. Arrow thickness is proportional to the magnitude of radiation fluxes



# Sensore passivo: fotocamera

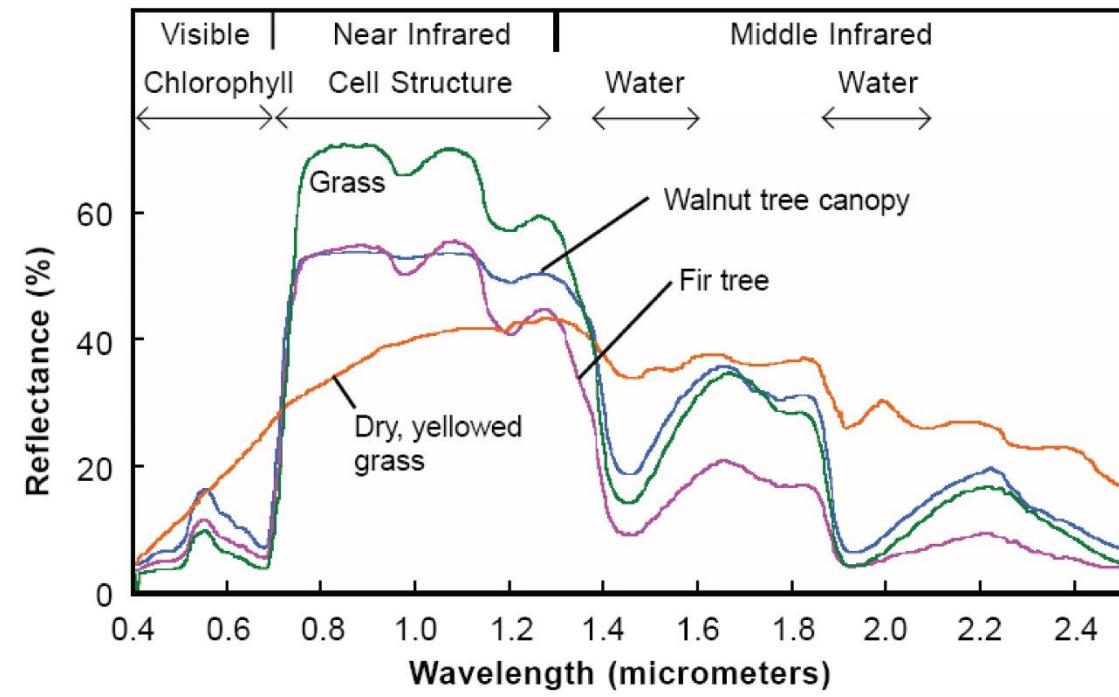
E' possibile discriminare in un'immagine un gran numero di elementi (suolo, vegetazione, acqua ecc.) e di riconoscere le loro caratteristiche (umidità, stato di salute, concentrazione dei nutrienti ecc.) analizzando il diverso comportamento spettrale nelle varie lunghezze d'onda ovvero la loro **firma spettrale**



**Figure 1**

Spectral signatures for dry bare soil, green vegetation and clear water (Smith, 2000b)

**Figure 2**  
Reflectance spectra of different types of green vegetation compared to a spectral signature for senescent leaves (Smith, 2001a)



# Cenni di storia

Un primo tentativo di telerilevamento fu inventato dal farmacista tedesco Julius Neubronner nel 1908, tramite fotografie aeree da voli di piccione.



## Piattaforme oggi

Satelliti (Landsat, Sentinel,  
PlanetScope)



Aerei



SAPR – Sistema Aeromobile a Pilotaggio  
Remoto



# Elaborazioni delle immagini telerilevate

Foto di Christian Åslund (National Geographic)  
ghiacciai delle Svalbard, in Norvegia.

Primi del '900



2002



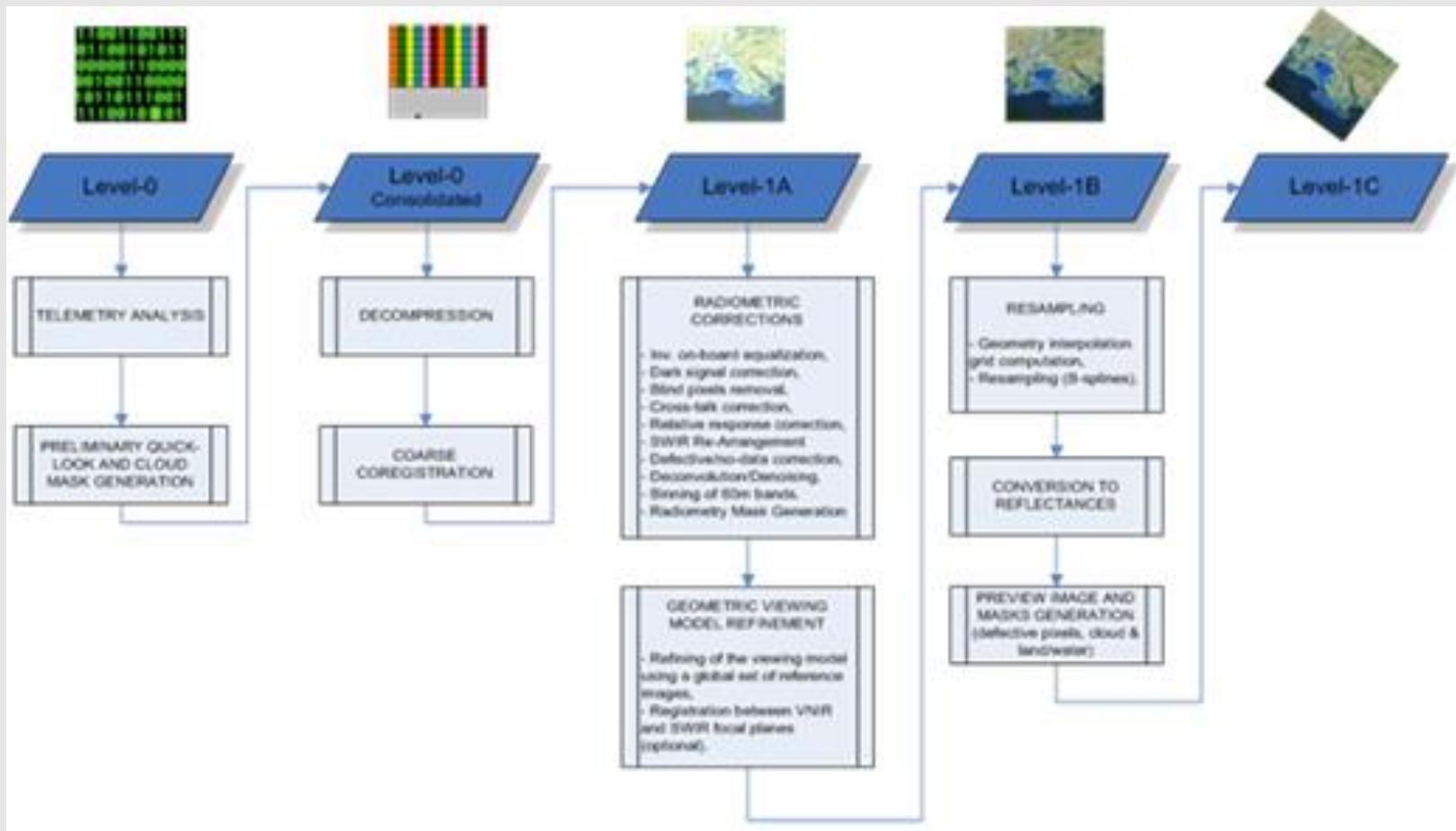
Le immagini telerilevate per poter essere utilizzate devono possedere tre proprietà:

- Ortorettifica – La correzione geometrica per cui ogni punto è perpendicolare rispetto al piano dell'immagine telerilevata. Correzione delle distorsioni dell'immagine telerilevata.
- Georeferenziazione – La procedura che permette di assegnare ad ogni punto dell'immagine telerilevata una coordinata spaziale di longitudine, latitudine e altitudine.
- Correzione atmosferica – Eliminazione dei disturbi dovuti all'atmosfera nei valori delle bande spettrale. I valori delle bande vengono convertiti da Radianza a Reflettanza.

# Livelli di elaborazione per sensori passivi (in particolare per sensori satellitari)

I dati acquisiti dai sensori spettrali satellitari necessitano elaborazioni per essere utilizzati dagli utenti.

Esempio per Sentinel-2:



# Livelli di elaborazione per sensori passivi (in particolare per sensori satellitari)

Esempio per Sentinel-2:

Non utilizzabili dal utente

**Livello 0:** Operazioni per impacchettare i dati grezzi raccolti dal sensore spettrale, per la pulizia di eventuali errori dell'acquisizione e archiviare i metadati delle immagini.

**Livello 1:**

**1A** – Decompressione dei pacchetti di dati.

**1B** – Correzioni radiometriche ed identificazione dei pixel difettosi;

  Allineamento delle immagini per ogni banda;

  Individuazione dei punti di controllo a terra necessari per l'ortorettifica.

Utilizzabili dal utente

**1C – Level TOP OF THE ATMOSPHERE (TOA)** - Ortorettifica, valori dei pixels in Radianza.

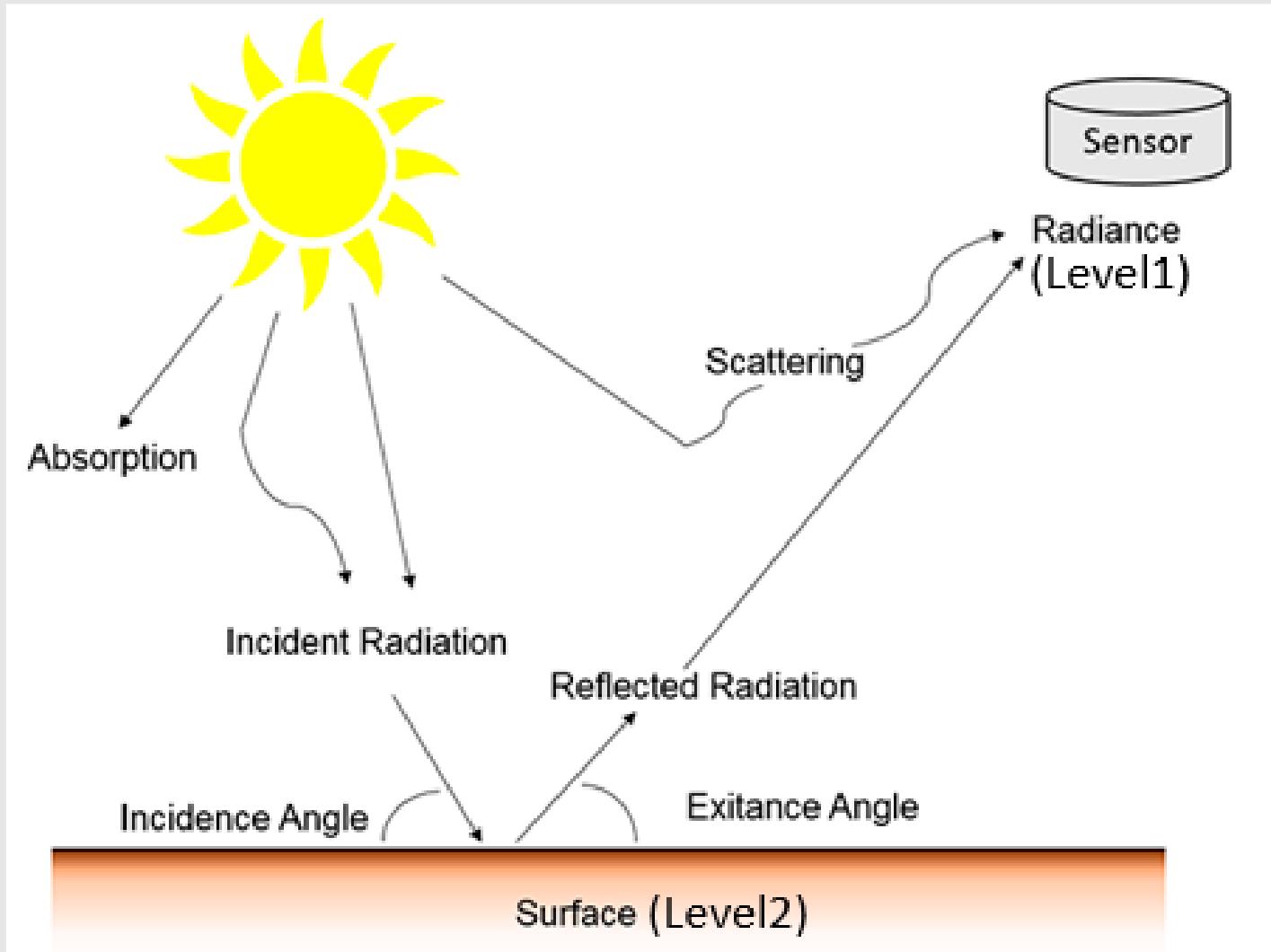
**2A – Level BOTTOM OF THE ATMOSPHERE (BOA)** – Correzione atmosferica, riduzione delle distorsioni dovute a atmosfera, nuvole, neve e ombre e conseguente conversione dei valori di Radianza in Riflettanza.

# Radianza e Riflettanza

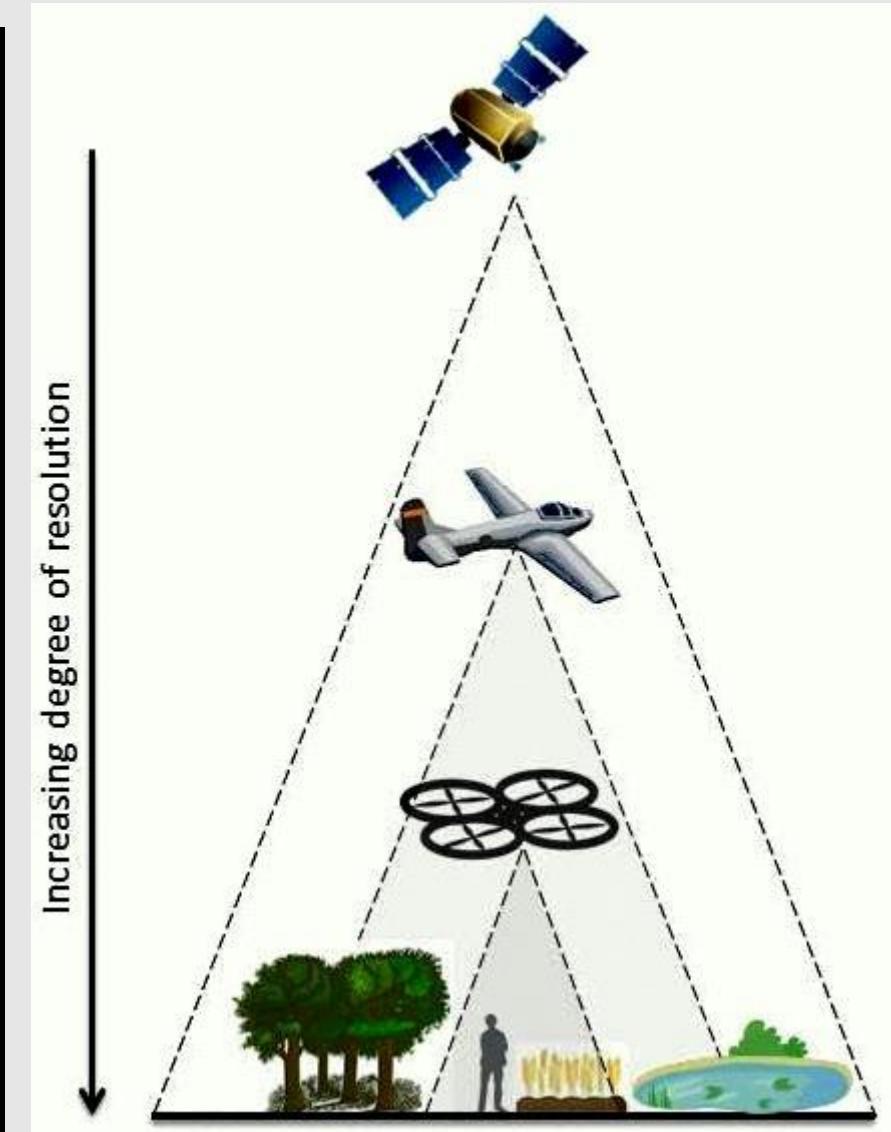
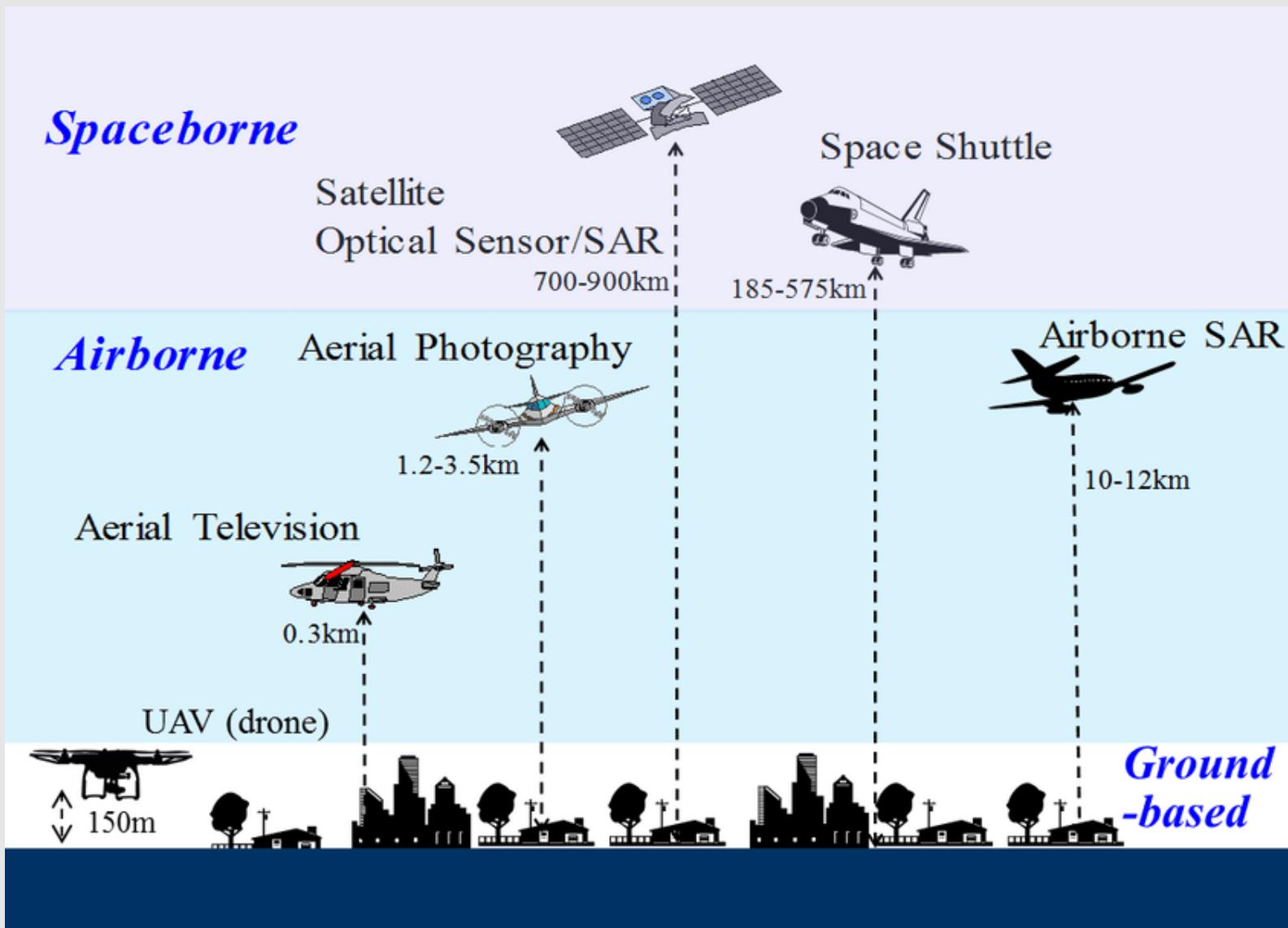
**Radianza:** Variabile misurata direttamente dagli strumenti di telerilevamento.

La Radianza include sia la radiazione riflessa dalle superficie sia la radiazione riflessa dall'atmosfera. Infatti il percorso della luce attraverso l'atmosfera può cambiare mentre la luce viaggia verso la terra, subendo una dispersione dipendente dalla lunghezza d'onda .

**Riflettanza:** Rapporto tra la quantità di luce che lascia un oggetto e la quantità di luce che colpisce il bersaglio. La Riflettanza è un valore dipendente dall'oggetto, dalla quantità di luce e dall'angolo di osservazione.



# Risoluzione



# Risoluzione

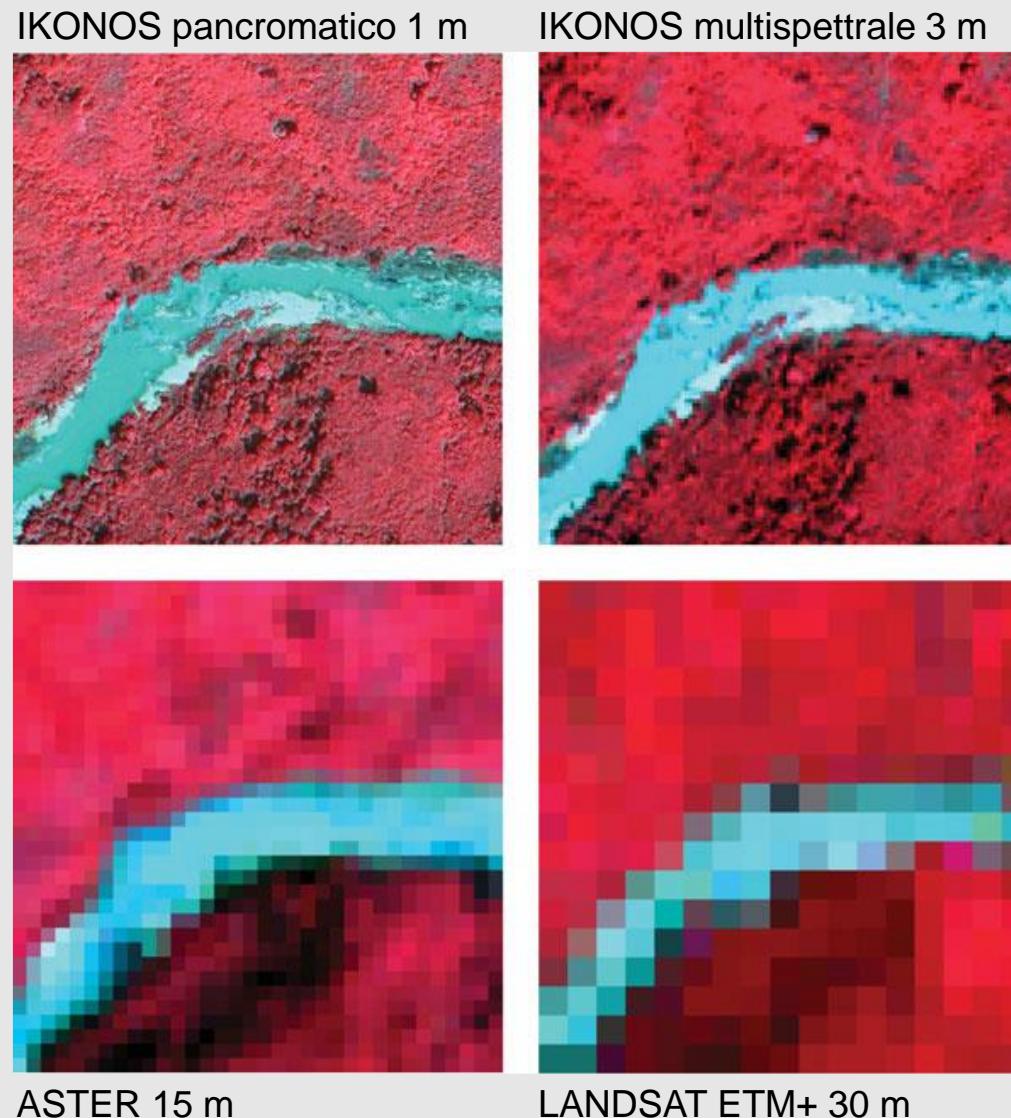
Le specifiche sia del sensore sia della piattaforma determinano la risoluzione dei dati telerilevati. La risoluzione definisce il potenziale informativo fornito dalle immagini.

## Risoluzione spaziale

La lunghezza del lato di un pixel.

Es. Satelliti ad altissima risoluzione spaziale

Satellite	Sensors	Spatial resolution (m)	SWATH (km)
IKONOSS (1999)	PAN	0.82	11.3
	MS (multispectral)	3.2	
QUICKBIRD (2001)	PAN	0.61	16.8
	Multispectral	2.44	
WORLDVIEW-1 (2007)	PAN	0.50	17.2
WORLDVIEW-2 (2009)	PAN	0.46	16.4
	MS	1.85	
WORLDVIEW-3 and 4 (2014, 16)	PAN	0.31	13.1
	MS	1.24	
	SWIR	3.70	
CARTOSAT-1 (2005)	PAN (stereo)	2.5	30
CARTOSAT-2 (2007)	PAN	0.83	~10
GEOEYE-1 (2008)	PAN	0.46	
PLEIADES-1A/1B (2011, 12)	PAN	0.7	20
	MS	2.8	
KOMPSAT-3A (2015)	PAN	0.7	16.8
	MS	2.8	



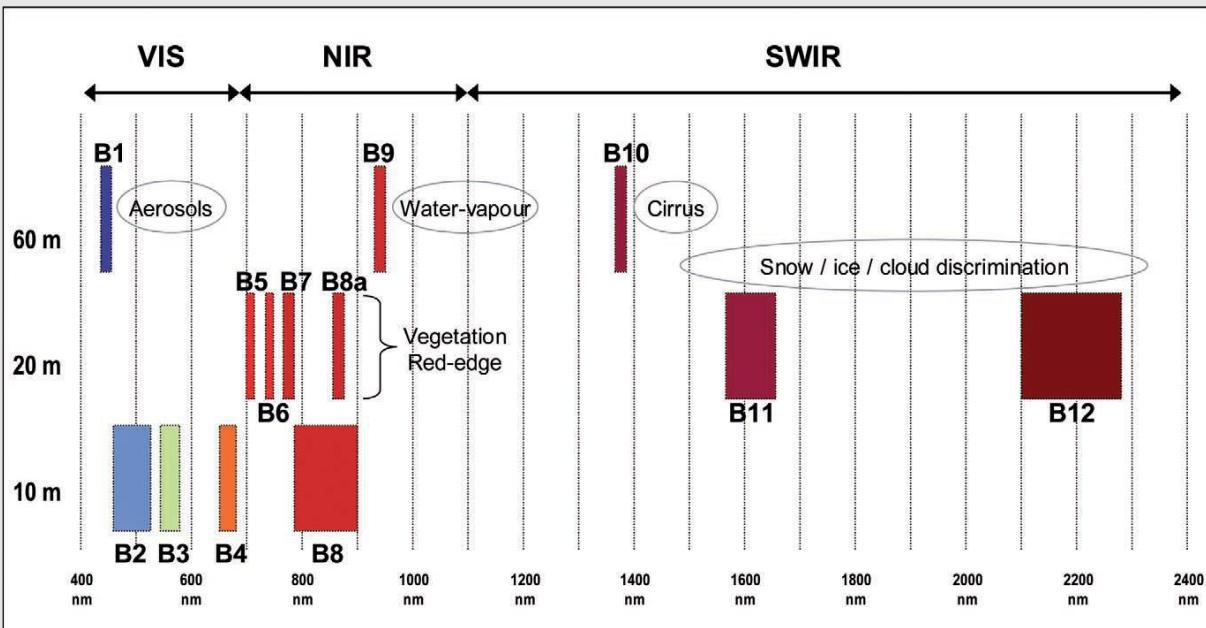
# Risoluzione

Le specifiche sia del sensore sia della piattaforma determinano la risoluzione dei dati telerilevati. La risoluzione definisce il potenziale informativo fornito dalle immagine.

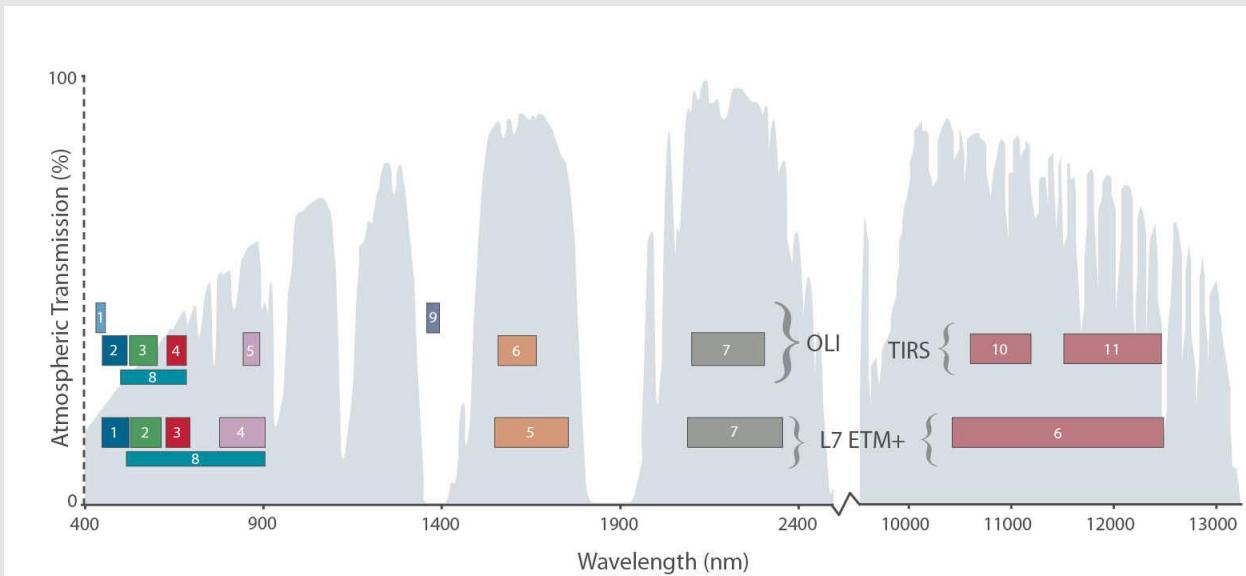
## Risoluzione spettrale

Il numero e la larghezza delle bande spettrali di un sensore

Risoluzione spettrale Sentinel-2



Risoluzione spettrale Landsat 8

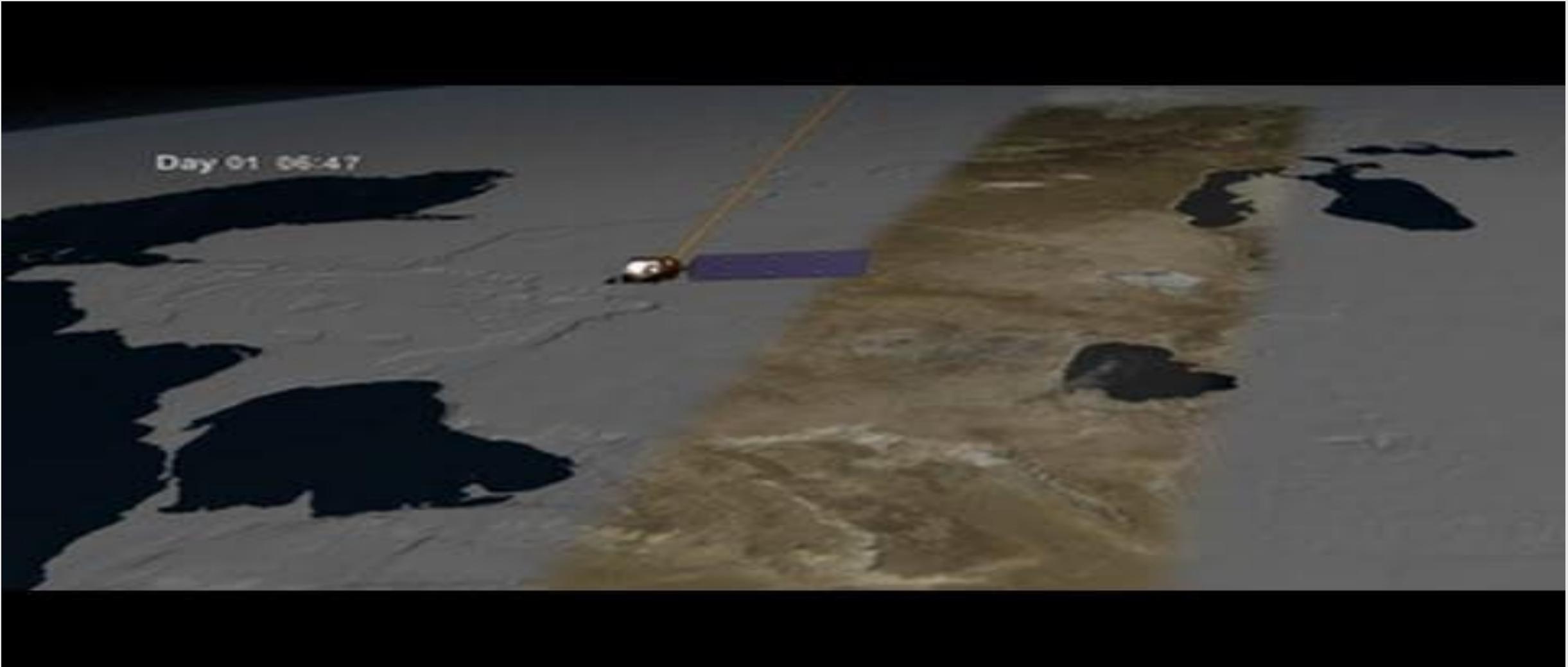


# Risoluzione

Le specifiche sia del sensore sia della piattaforma determinano la risoluzione dei dati telerilevati. La risoluzione definisce il potenziale informativo fornito dalle immagine.

## Risoluzione temporale

La frequenza con cui il sensore rivisita la stessa superficie terrestre.



# Risoluzione

Le specifiche sia del sensore sia della piattaforma determinano la risoluzione dei dati telerilevati. La risoluzione definisce il potenziale informativo fornito dalle immagine.

## Risoluzione radiometrica

La capacità del sensore di distinguere differenze nell'intensità della luce e della riflettanza. Viene espressa in bit.

Es. Sentinel-2

Risoluzione radiometrica 8 bit



Risoluzione radiometrica 4 bit



Risoluzione radiometrica 2 bit



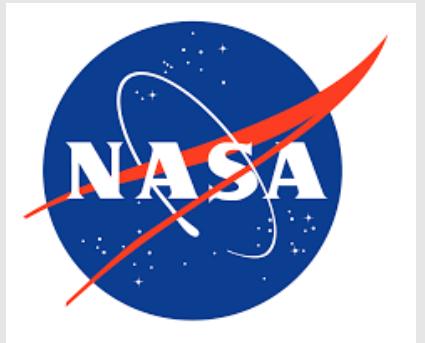
# Principali satelliti multispettrali

<https://earth.esa.int/eogateway/search?text=&category=Missions&subFilter=third%20party%20missions&sortBy=RELEVANCE>

# Principali satelliti multispettrali

## MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometric

Inizio acquisizioni Febbraio 2000

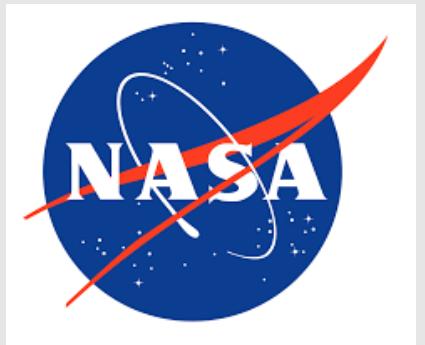


Orbit:	705 km, 10:30am descending node (Terra) or 1:30p.m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, near-polar, circular
Repeat Cycle:	16 days Risoluzione Temporale
Swath Dimensions:	2330km (cross track) by 10km (along track at nadir)
Weight:	228.7kg
Spatial Resolution:	250m (bands 1-2) 500m (bands 3-7) Risoluzione Spaziale 1000m (bands 8-36)
Data Rate:	10.6 Mbs/sec
Quantization:	12 bits Risoluzione Radiometrica
Field of View:	110 deg
Wavebands:	36 bands: 1-19 from 405 to 2155nm Risoluzione Spettrale 20-36 from 3.66 to 14.28 microns
Design Life:	6 years
Duration:	Operational

# Principali satelliti multispettrali

## Landsat

Inizio acquisizioni 1975, continui miglioramenti dei satelliti. Ad oggi disponibili le immagini di Landsat-8, in orbita da Febbraio 2013.



Risoluzione Spaziale

	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)  Launched February 11, 2013	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Risoluzione Spettrale

Risoluzione Temporale – 16 giorni

Risoluzione Radiometrica – 16 bits

# Principali satelliti multispettrali

## Sentinel-2

Inizio acquisizioni Giugno 2015. La missione è costituita da due satelliti identici Sentinel-2A e Sentinel-2B.

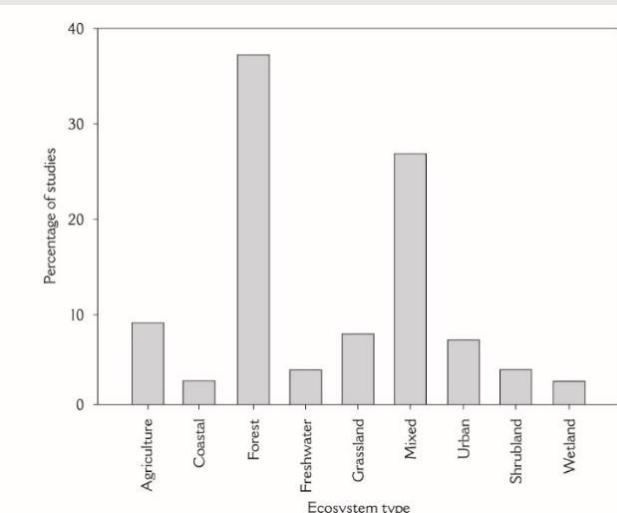
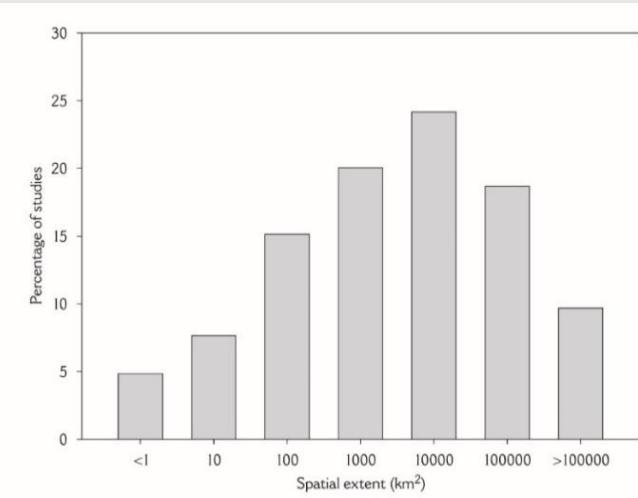


Immagini scaricabili su: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> Necessaria registrazione

Sentinel-2 bands	Central wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)	Risoluzione Spaziale
			Risoluzione Spettrale
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 – Cirrius	1.375	60	
Band 11 – SWIR	1.610	20	
Band 12 – SWIR	2.190	20	

# Ruolo del Remote Sensing

il Remote Sensing fornisce strumenti in grado di analizzare nello stesso istante aree di notevoli estensioni e ambienti diversi riducendo fortemente tempi e costi.



# Importanza del Remote Sensing in ecologia

Permette di analizzare e modellizzare le attuali condizioni della maggior parte degli ecosistemi esistenti e di monitorare nel tempo i cambiamenti dalla scala locale alla globale.

In particolare permette di:

- **Raccolta dei dati:** Realizzazione di dataset sulla caratteristica ecologica da esaminare es. copertura del suolo, composizione di specie, presenza di incendi, elevazione del terreno, morfologia ecc.
- **Analisi e misurazioni:** Stimare e/o quantificare un gran numero di proprietà ecologiche come biomassa, contenuto di clorofilla, fenologia, temperatura, precipitazione, ecc.
- **Produzione di mappe:** Spazializzazione dai dati e delle misurazioni ottenute tramite il telerilevamento es. mappe di uso e copertura del suolo, mappe fenologiche, mappe di hotspot della biodiversità ecc.
- **Monitoraggio nel tempo e nello spazio:** Analizzare i cambiamenti sia nel tempo sia nello spazio dei parametri ambientali analizzati e predire le variazioni nel futuro.

# Importanza del Remote Sensing in ecologia

Variabili ecologiche quantificabili tramite approcci diretti e indiretti dal Remote Sensing.

Table 1. Examples of ecological variables and data sources useful for quantifying and modeling biodiversity<sup>a</sup>

Ecological variable	Sensor <sup>b</sup> Space (S)/ Airborne (A)	Spatial resolution	Revisit time	Spectral resolution	Description	Website
<b>Direct approaches</b>						
Species composition	TM/ETM + (S), ALI (S), HYPERION (S), ASTER (S), IKONOS (S), Quickbird (S), AVIRIS (A), CASI (A)	< 1–30 m	16 days (ETM, ALI, Hyperion); 4–16 days (ASTER); 2–5 days (IKONOS); 2–4 days (Quickbird); N/A for aircraft	V/NIR, SWIR, ASTER also has TIR	These sensors are being tested for their ability to measure directly canopy community, and perhaps species, type based upon unique spectral signatures	c–i
Land cover	MODIS (S), TM/ETM + (S), ASTER (S), ALI (S), IKONOS (S), Quickbird (S)	< 1–1000 m	1–2 days (MODIS); 16 days (TM/ETM + ); 4–16 days (ASTER); 2–5 days (IKONOS); 2–4 days (Quickbird)	V/NIR, SWIR, MODIS and ASTER also have TIR	Can discriminate different land surfaces at various resolutions; land cover classification is considered a first-order analysis for species occurrence	c–e,h,i,k
<b>Indirect approaches</b>						
<b>Primary Productivity</b>						
Chlorophyll	SeaWiFS (S), MODIS (S), ASTER (S), TM/ETM + (S), ALI (S), Hyperion, (S), IKONOS (S), Quickbird (S), AVIRIS (A), CASI (A)	< 1–1000 m	1 day (SeaWiFS); 1–2 days (MODIS); 4–16 days (ASTER); 16 days (TM/ETM + , ALI, Hyperion); 2–5 days (IKONOS); 2–4 days (Quickbird); N/A (AVIRIS, CASI)	V/NIR, SWIR, MODIS and ASTER also have TIR	Measure reflectance to assess presence/absence of vegetation and relative greenness measures enabling detection of ocean and land surface chlorophyll useful for calculating productivity and plant health	c,d,f–k
Ocean color and circulation	TOPEX/Poseidon (S), AVHRR (S), MODIS (S), SeaWiFS (S)	1–10 km	10 days (TOPEX/Poseidon); 1 day (AVHRR); 1–2 days (MODIS); 1 day (SeaWiFS)	TOPEX/Poseidon; (microwave) AVHRR, MODIS, SeaWiFS (V/NIR, SWIR, MODIS and AVHRR also have TIR)	Circulation patterns can be inferred from changes in ocean color, sea surface height, and ocean temperature, important for understanding larval transport and movement of pathogens and sediment	j–m

# Importanza del Remote Sensing in ecologia

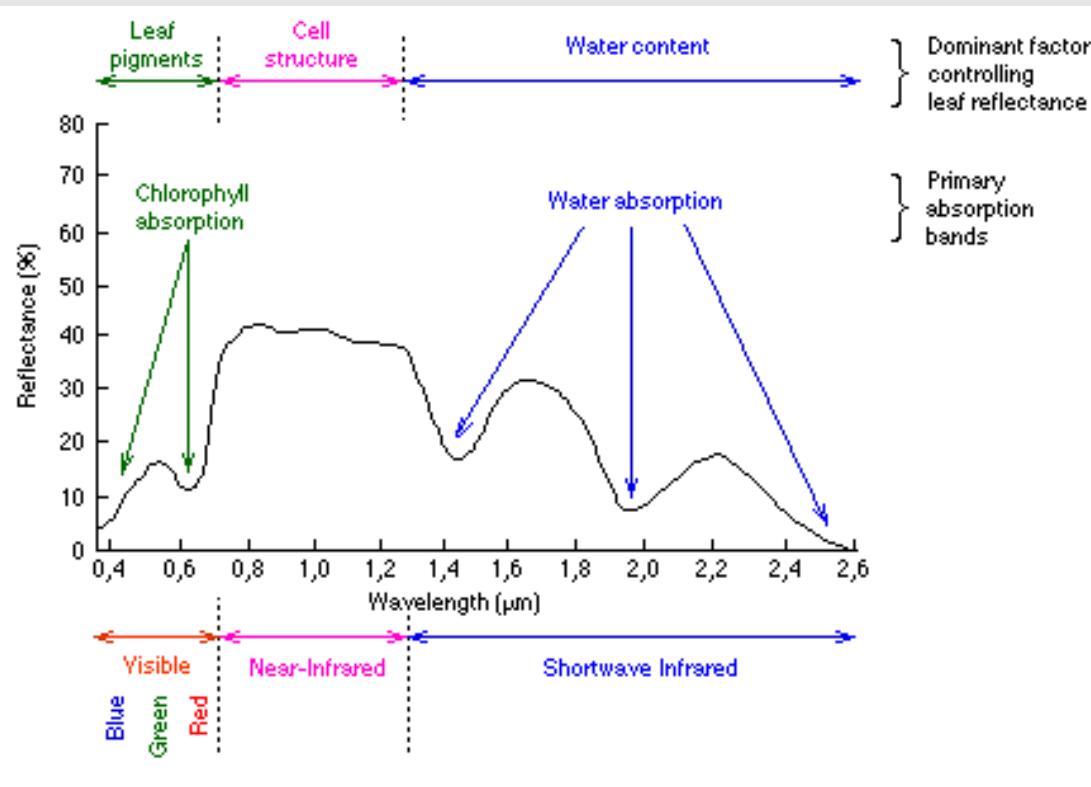
Variabili ecologiche quantificabili tramite approcci diretti e indiretti dal Remote Sensing.

<b>Climate</b>						
Rainfall	CERES (S), AMSR-E (S)	20–56 km	1–2 days (CERES, AMSR-E)	Microwave	Enable detection of precipitation and surface moisture at coarse resolutions; such data parameterize models of species occurrence based on drought tolerance	n,o
Soil moisture	AMSR-E (S)	5.4–56 km	1–2 days	Microwave	Can be estimated over rel. large areas; data parameterize models of species occurrence based on moisture requirements	o
Phenology	MODIS (S), TM/ETM + (S), ASTER (S), ALI (S), HYPERION (S), IKONOS (S), Quickbird (S)	1–1000 m	1–2 days (MODIS); 16 days (TM/ETM + , ALI, Hyperion); 4–16 days (ASTER); 2–5 days (IKONOS); 2–4 days (Quickbird)	V/NIR, SWIR, MODIS and ASTER also have TIR	Information on leaf turnover and flowering/fruiting cycles can be inferred from comparisons of time series of images. Provides for identification of species tied to certain phenological events	c-e,h,i,k
<b>Habitat Structure</b>						
Topography	SRTM (S), ATM (A), ASTER (S), IKONOS (S), SLICER (A), LVIS (A)	90 m SRTM; 30 m/15 m ASTER; 1–15 m IKONOS, SLICER, LVIS	N/A (SRTM); 4–16 days (ASTER); 2–5 days (IKONOS); N/A (SLICER, LVIS)	Microwave SRTM; V/NIR and SWIR for others	Digital elevation models derived from radar signals via interferometry (SRTM); image stereo pairs (ASTER) or discrete-return (usually) LIDAR signals. Many species are constrained by microhabitats resulting from changes in altitude; elevation also determines watershed flows	e,h,p-s

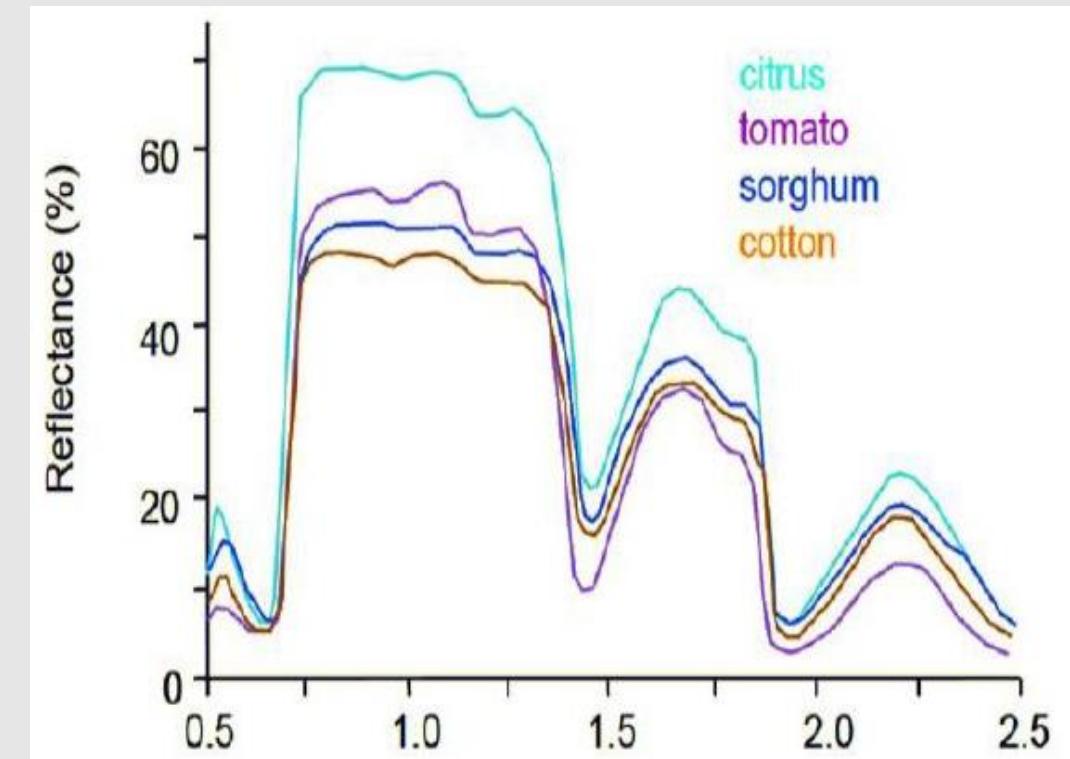
# Firma spettrale vegetazione

La **Firma Spettrale** è definita variazione dei livelli di riflettanza di un oggetto nelle diverse bande.

Firma spettrale di una vegetazione ideale.



Differenze nelle firme spettrali in specie diverse.

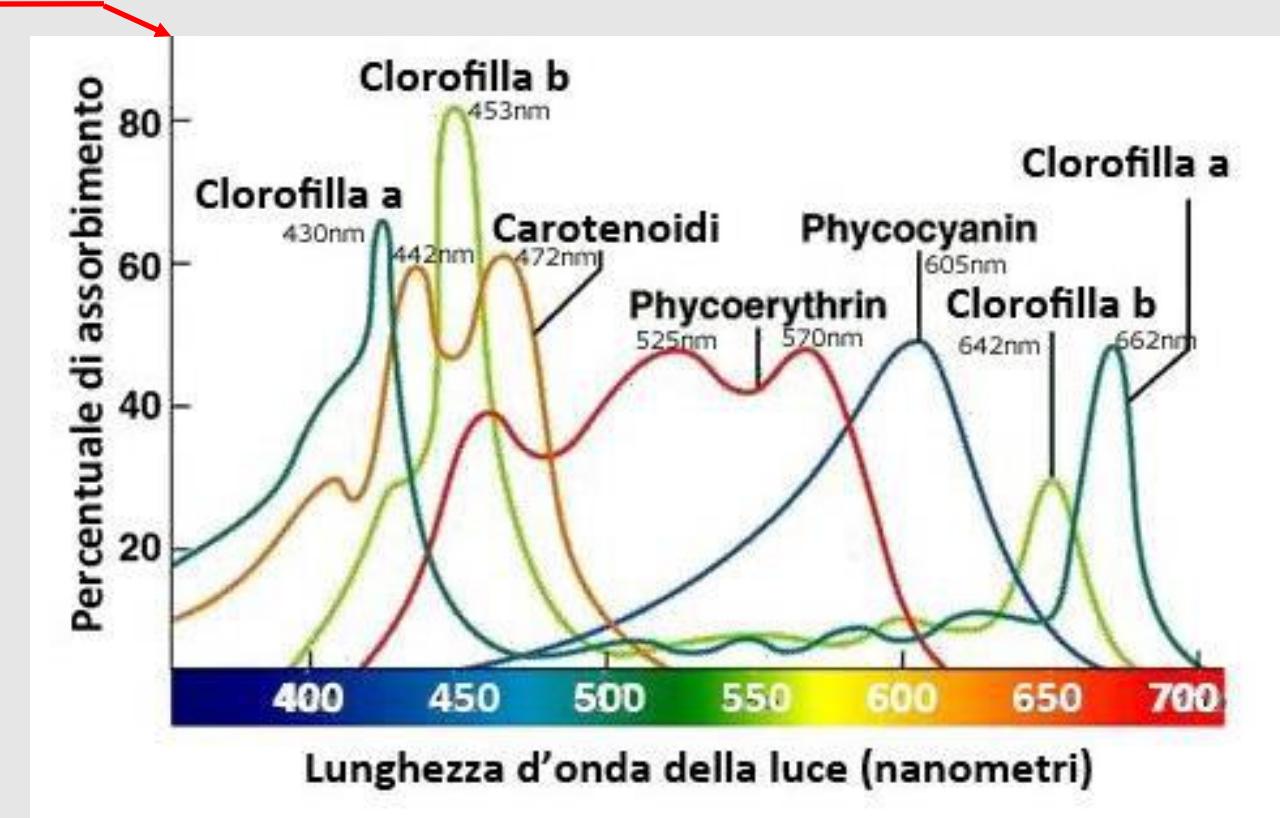
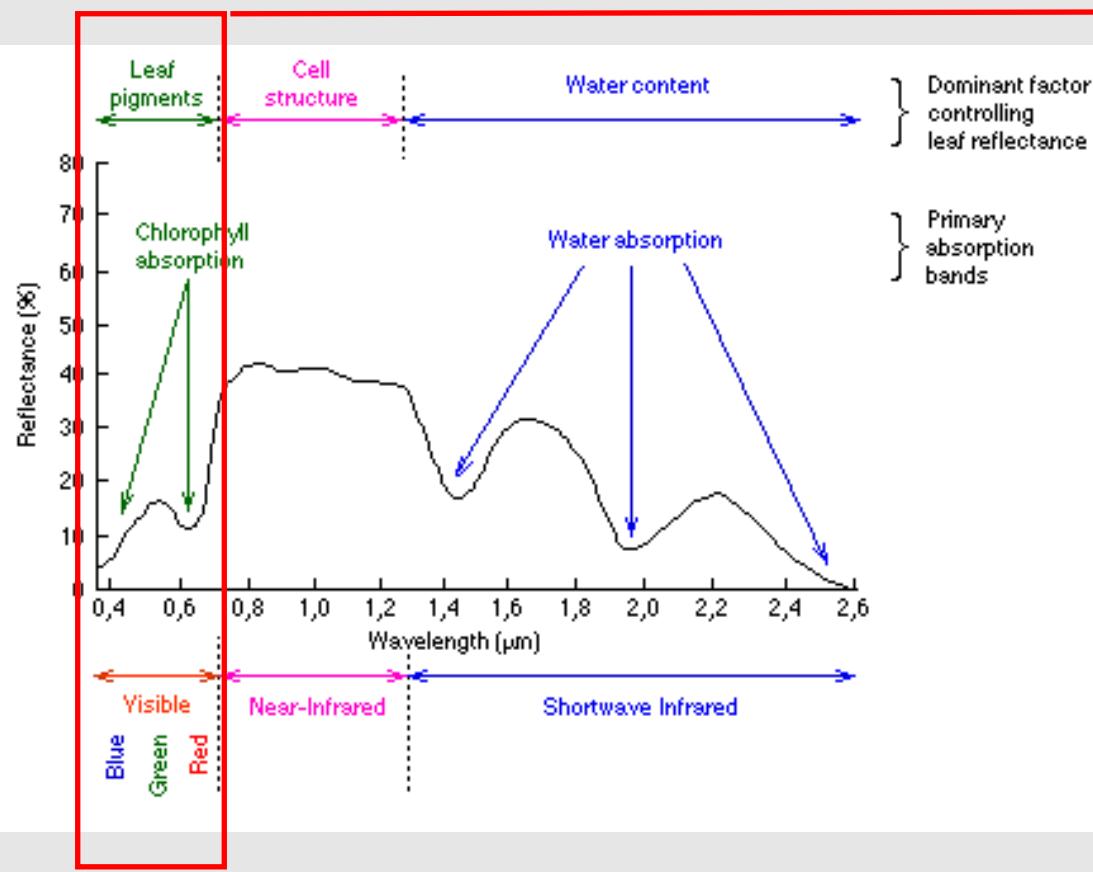


# Firma spettrale vegetazione

## Pigmenti fogliari – Lunghezze d'onda del visibile

la porzione di energia riflessa nel campo del visibile (VIS) è correlata all presenza di pigmenti fogliari quali la clorofilla, la xantofilla e il carotene. La clorofilla in particolare (65% dei pigmenti) assorbe principalmente nelle bande del blu (0.45  $\mu\text{m}$ ) e del rosso (0.66  $\mu\text{m}$ ), mentre riflette nel verde (0.50  $\mu\text{m}$ ), per questo motivo la nostra vista ci fa apparire la vegetazione di colore verde.

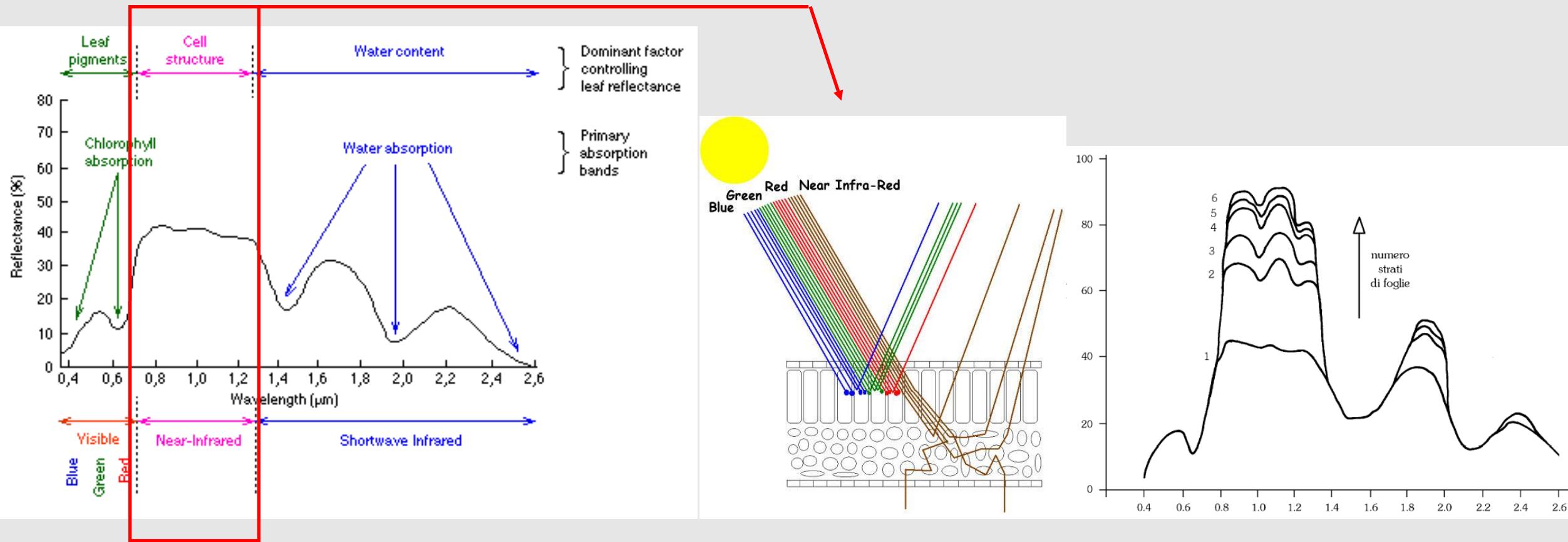
I carotenoidi invece, riflettono maggiormente nelle lunghezze d'onda in vicinanza del rosso e impariscono quei toni giallo-arancio alle foglie povere o prive di clorofilla.



# Firma spettrale vegetazione

## Struttura cellulare – Lunghezze d'onda del vicino infrarosso (NIR)

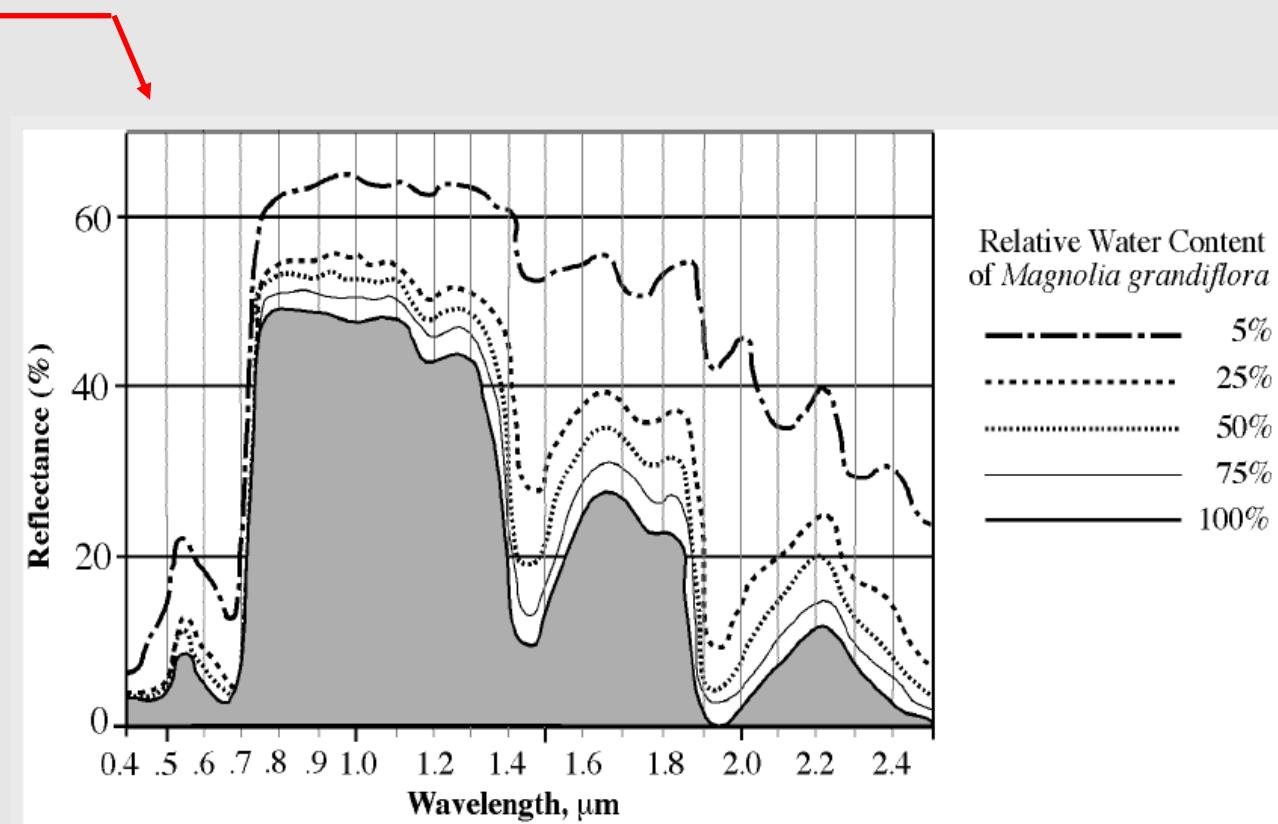
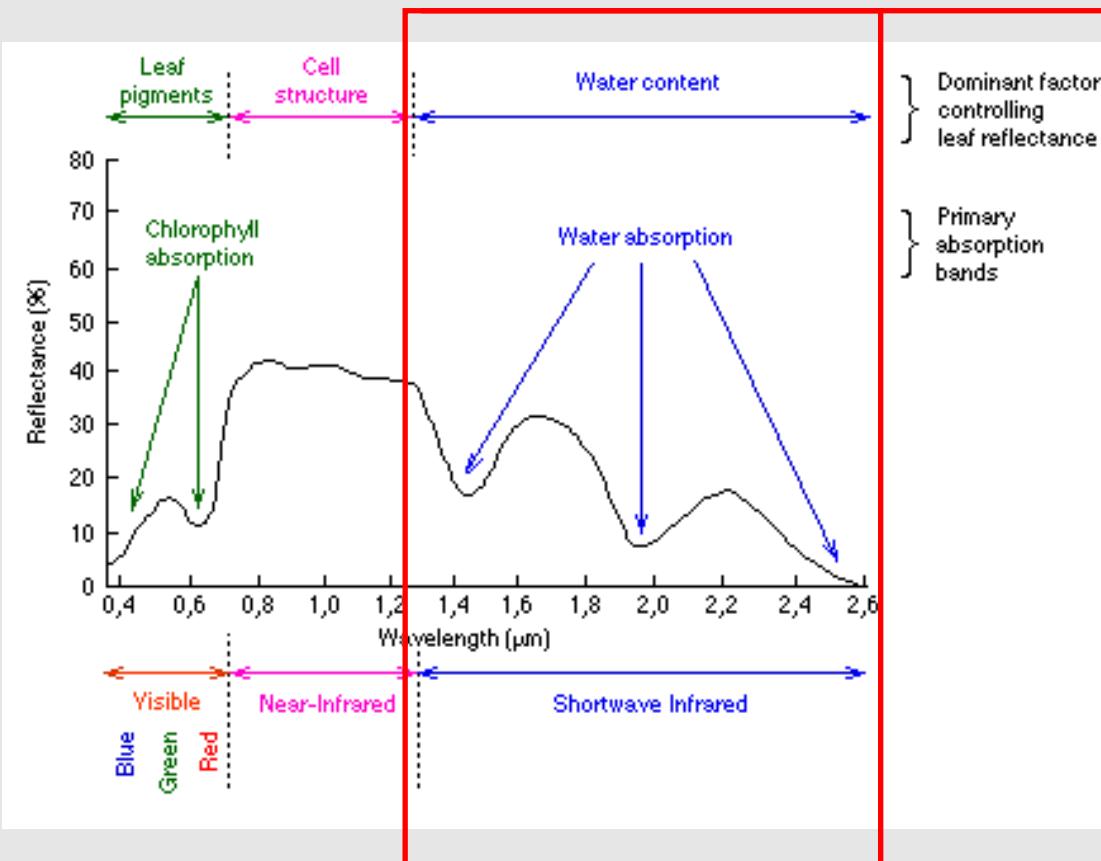
intende l'organizzazione spaziale delle cellule della foglia con riferimento alla sua evidenza morfologica che varia da una specie ad un'altra. La Struttura Cellulare riflette altamente nell'infrarosso vicino determinando un tipico *platò* nella firma come in figura



# Firma spettrale vegetazione

## Contenuto d'acqua – Lunghezze d'onda del infrarosso a onde corte (SWIR)

Nello SWIR le proprietà spettrali della vegetazione dipendono strettamente dal tenore in acqua nella foglia



# Indici spettrali

Al fine di fornire misure quantitative sulle caratteristiche degli ecosistemi sono stati formulati moltissimi indici spettrali ottenuti tramite la combinazione delle diverse bande spettrali.

- **Indici di Vegetazione:** forniscono informazioni sulla vegetazione come **biomassa, contenuto di clorofilla, contenuto di acqua nella vegetazione, evapotraspirazione.**

Index	In Index Expression
Normalized difference vegetation index - NDVI	$(NIR - R)/(NIR + R)$
Soil-adjusted vegetation index – SAVI	$[(NIR-RED)/(NIR+RED+L)]*(1+L)$ where $L=0.5$
Ratio Vegetation Index – RVI	$NIR/RED$
Green normalized difference vegetation index – GNDVI	$(NIR - G)/(NIR + G)$

- **Indici di Suolo:** forniscono informazioni sulla struttura del suolo come **luminosità, contenuto organico, ecc.**

Spectral color indices	Equation	Note	Reference
Brightness index (BI)	$BI = \sqrt{\frac{(B^2 + G^2 + R^2)}{3}}$	B is blue reflectance flux G is green reflectance flux R is red reflectance flux	Mathieu and Pouget (1998)
Coloration index (CI)	$CI = \frac{R - G}{R + G}$	NIR is near infrared reflectance flux	Mathieu and Pouget (1998)
Hue index (CD)	$HI = \frac{2 * R - G - B}{G - B}$	SWIR is shortwave infrared reflectance flux	Mathieu and Pouget (1998)
Redness index (RI)	$RI = \frac{R^2}{(B - G^3)}$	SWIR is shortwave infrared reflectance flux	Mathieu and Pouget (1998)

- **Indici di Acqua:** forniscono informazioni sulla **presenza di specchi d'acqua, fiumi, ecc**

Normalised Difference Water Index (McFeeters, 1996)	$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$
Modified NDWI (Xu, 2006)	$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$

# Indici vegetazione

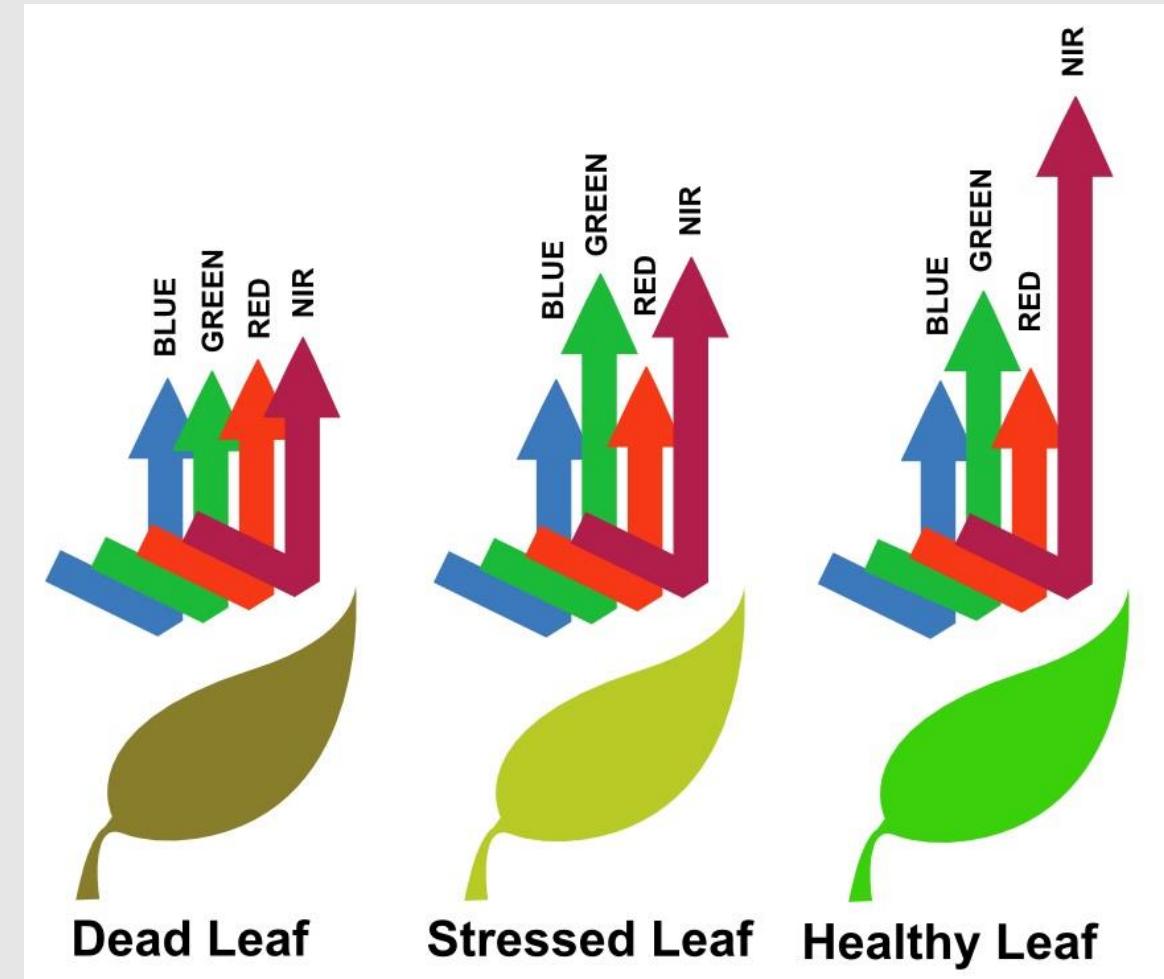
Ratio Vegetation Index (RVI) – sviluppato da Jordan 1969

$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

L'indice stima la biomassa e il contenuto di clorofilla, in aree con elevata copertura della vegetazione. Mentre in aree con vegetazione più rada tende ad essere a perdere la correlazione con la biomassa.

Range valori: 0.0 a infinito

Con valori vicini a 0.0 indicano aree con assenza di vegetazione, valori elevati di solito tra 2 e 8 indicano aree con elevata copertura di vegetazione.



# Indici di vegetazione

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – sviluppato da Tucker et al. 1979

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

L'indice è considerato un proxy dell'attività fotosintetica della vegetazione, della biomassa.

Range valori: -1.0 e 1.0

Classificazione

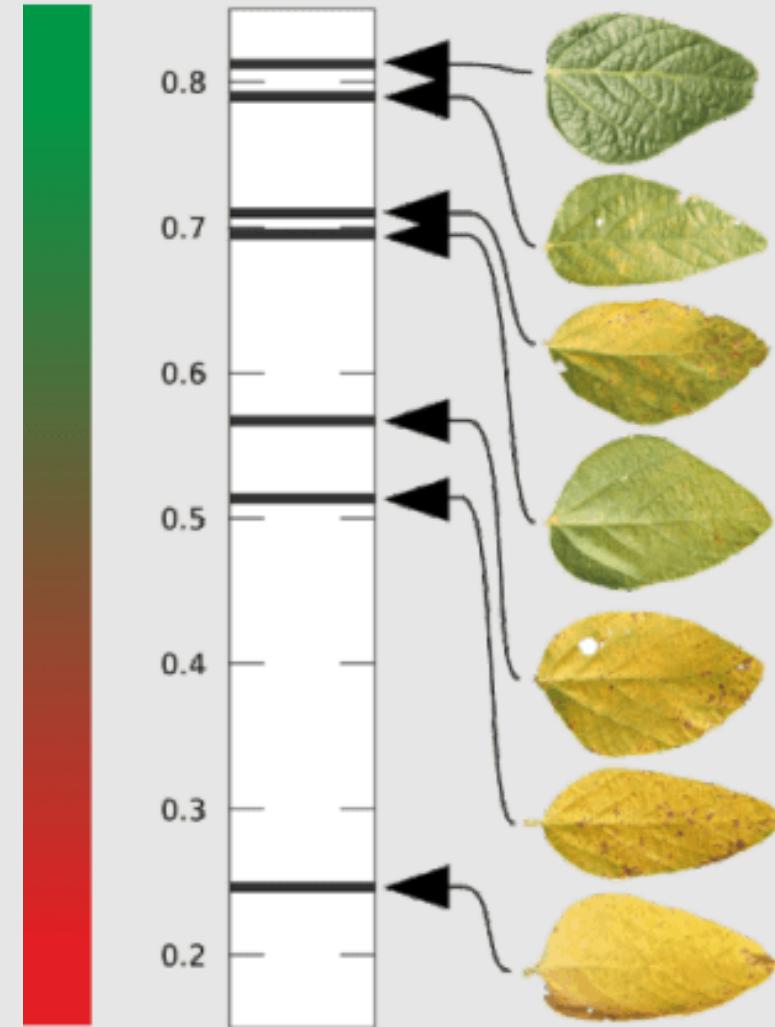
NDVI < 0.0 → Acqua, Nuvole, Neve.

0.0 < NDVI < 0.1 → Suolo Nudo, Artificiale.

0.1 < NDVI < 0.3 → Vegetazione erbacea.

0.3 < NDVI < 0.5 → Arbusti.

NDVI > 0.5 → Foreste.



# Indici di vegetazione

NDVI è sensibile alla luminosità e colorazione del suolo, alle nuvole e alle ombre.

**Soil-adjusted vegetation index (SAVI)** – sviluppato da Huete 1988

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} * (1 + L)$$

L = Soil-adjustment factor, varia da 0 aree con copertura vegetale molto alta a 1 aree con bassa copertura vegetale.

Range valori: - 1.0 e 1.0

Sviluppato per ridurre gli effetti del suolo per calcolare l'attività fotosintetica e la biomassa della vegetazione.

**Modified Soil-adjusted vegetation index 2 (MSAVI2)** – sviluppato da Qi et al. 1994

$$MSAVI2 = \frac{\left(2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}\right)}{2}$$

Range valori: - 1.0 e 1.0

Sviluppato per ridurre gli effetti del suolo ma anche per eliminare il fattore L nel calcolare l'attività fotosintetica e la biomassa della vegetazione.

# Indici di vegetazione

**Green Normalized Vegetation Index (GNDVI)** – sviluppato da Gitelson et al. 1996

$$\text{GNDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{GREEN})}{(\text{NIR} + \text{GREEN})}$$

Range valori: 0.0 e 1.0

Sviluppato per avere una maggiore sensibilità nello stimare il contenuto di clorofilla della vegetazione rispetto al NDVI.

# Indici di suolo

**Brightness Index (BI)** – sviluppato da Mathieu et al. 1998

$$BI = \sqrt{\frac{B^2 + G^2 + R^2}{3}}$$

**Brightness Index (BI2)** – sviluppato da Escadafal et al. 1989

$$BI2 = \sqrt{\frac{G^2 + R^2 + NIR^2}{3}}$$

Due indici sensibili alle variazioni di colorazione del suolo. Indici spesso utilizzati per discriminare il suolo dalla vegetazione.

Range valori: 0.0 e infinito

Con 0.0 indica assenza di suolo nudo e valori vicini ad uno indicano elevate percentuali di suolo nudo.

# Indici di suolo

**Coloration Index (CI)** – sviluppato da Mathieu et al. 1998

$$CI = \frac{RED - GREEN}{RED + GREEN}$$

Range valori: - 1.0 e 1.0

Indici di suolo maggiormente sensibile alle concentrazioni di contenuto organico nel suolo rispetto a BI e BI2. Bassi valori indicano suoli con alto contenuto di Carbonati e Sulfati, alti valori suoli sabbiosi.

# Indici di acqua

**Normalized Difference Water Index (NDWI)** – sviluppato da Mathieu et al. 1998

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

Range valori: - 1.0 e 1.0

L'indice è considerato un proxy della presenza di acqua.

# Utilizzo di Remote Sensing: esempi

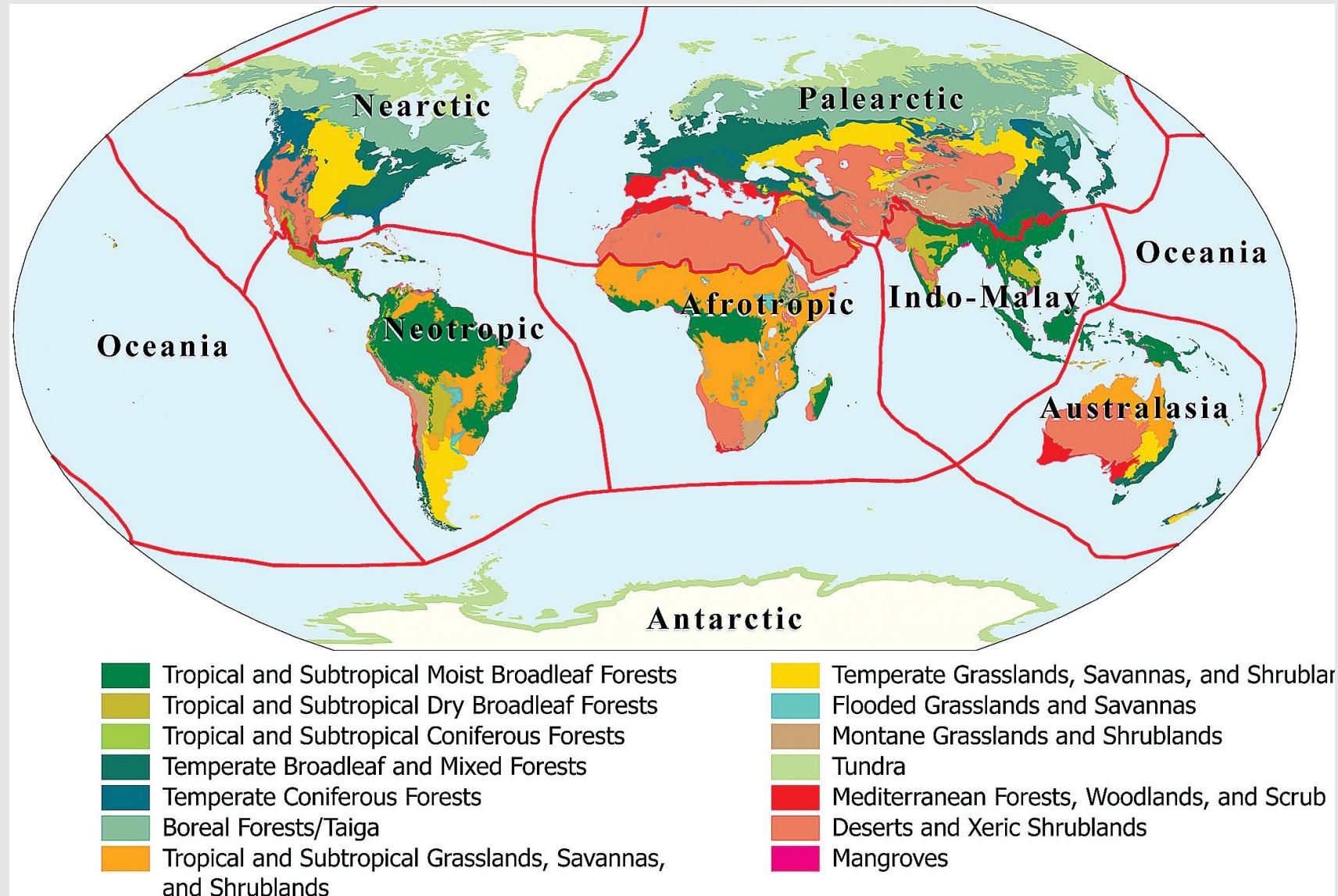
Cartografia vegetazione: Mappa delle Ecoregioni terrestri – Olson et al. 2001

Mappa dei biomi terrestri suddivisi in otto regni biogeografici.

Ogni bioma è poi stato suddiviso in ecoregioni.

<https://ecoregions2017.appspot.com/>

Olson, D. M.; Dinerstein, E.; Wikramanayake, E.D.; Burgess, N. D.; et al. (2001) Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. BioScience, 51(11): 933-938.

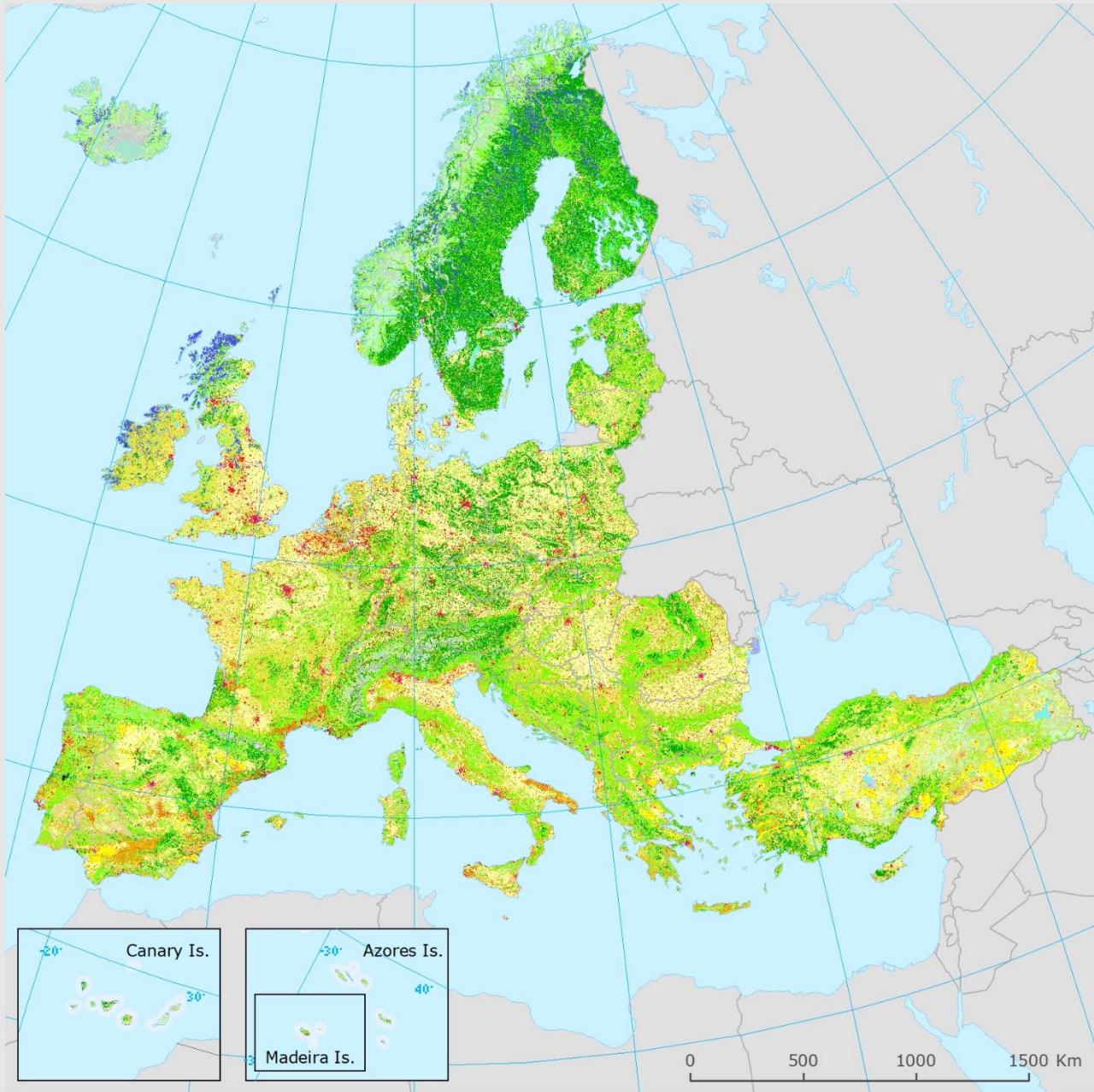


# Utilizzo di Remote Sensing: esempi

Cartografia uso del suolo: CORINE Land Cover 2018

<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>

CLC al 3° livello comprendente 44 classi di uso del suolo.



# Utilizzo di Remote Sensing: esempi

Cartografia cambiamenti di uso del suolo: Cambiamenti uso del suolo costiero 2012-2018

<https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones/coastal-zones-change-2012-2018>

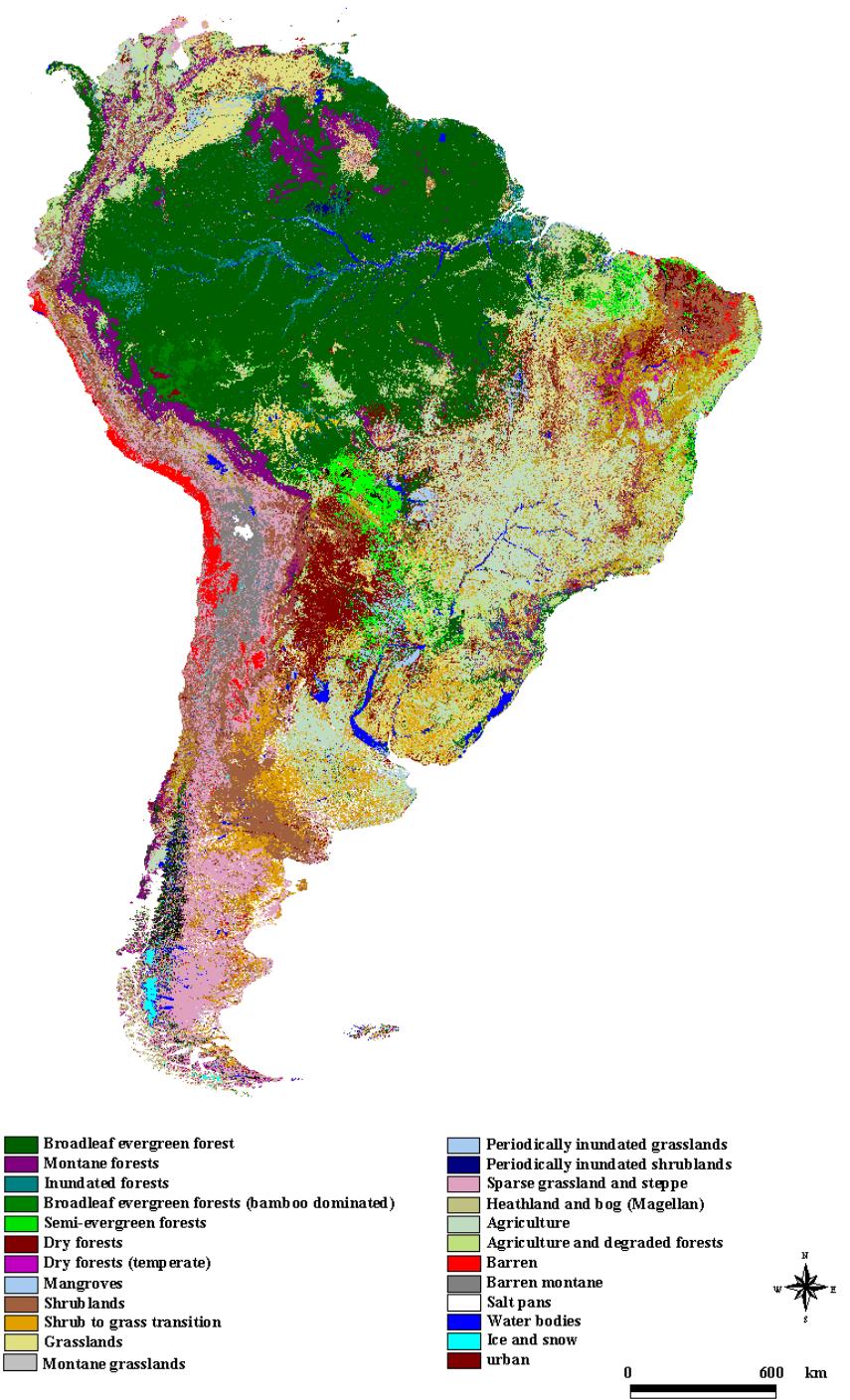
# Utilizzo di Remote Sensing: esempi

Cartografia vegetazione sud america – Eva et al. 2002

**Table 3: Correspondence between the regional legend and the global legend**

GLOBAL LEGEND	REGIONAL LEGEND	Shrub Cover, closed-open, evergreen	Closed shrublands
Tree Cover, broadleaf evergreen	Closed evergreen tropical forest Open evergreen tropical forest Bamboo dominated forest Closed semi-humid forest Open semi-humid forest Temperate closed evergreen broadleaf Montane evergreen forests	Regularly flooded shrub and/or herbaceous cover Bare Areas	Periodically flooded shrublands Periodically flooded grasslands Barren / bare soil Desert Salt pans
Tree Cover, broadleaf, deciduous	Closed deciduous forest Open deciduous forest Closed semi deciduous forest Open semi deciduous forest Semi deciduous transition forest Temperate closed deciduous broadleaf Temperate open deciduous broadleaf Montane deciduous forests	Water Bodies (natural & artificial) Snow and Ice (natural & artificial)	Water bodies Permanent snow / ice
Tree Cover, regularly flooded: Mangrove	Mangroves Fresh water flooded forests Permanent swamp forests	Artificial surfaces and associated areas	Urban
Tree Cover, needleleaf, evergreen	Forest plantation*		
Tree Cover, mixed phenology or leaf type	Temperate mixed evergreen broadleaf Montane mixed forests		
Cultivated and managed areas	Agriculture – intensive		
Cropland / Other natural vegetation (non-trees)	Mosaic agriculture / degraded vegetation		
Cropland / Tree Cover	Mosaic agriculture / degraded forest		
Herbaceous Cover, closed-open	Grass savannah Shrub savannah Moorlands / heathlands Closed montane grasslands Open montane grasslands Closed steppe grasslands Open shrublands Open steppe grasslands Sparse desertic steppe shrub /grassland		
Sparse Herbaceous or sparse shrub cover			

Eva, H.D.; de Miranda, E.E.; Di Bella C.M.; Gond, V. et al. (2002) A vegetation map of South America. European Commission.



# Utilizzo di Remote Sensing: esempi

Cambiamenti dell'estensioni nel tempo di classi di copertura di suolo all'interno di siti di Natura 2000 (Molise) – Drius et al. 2013

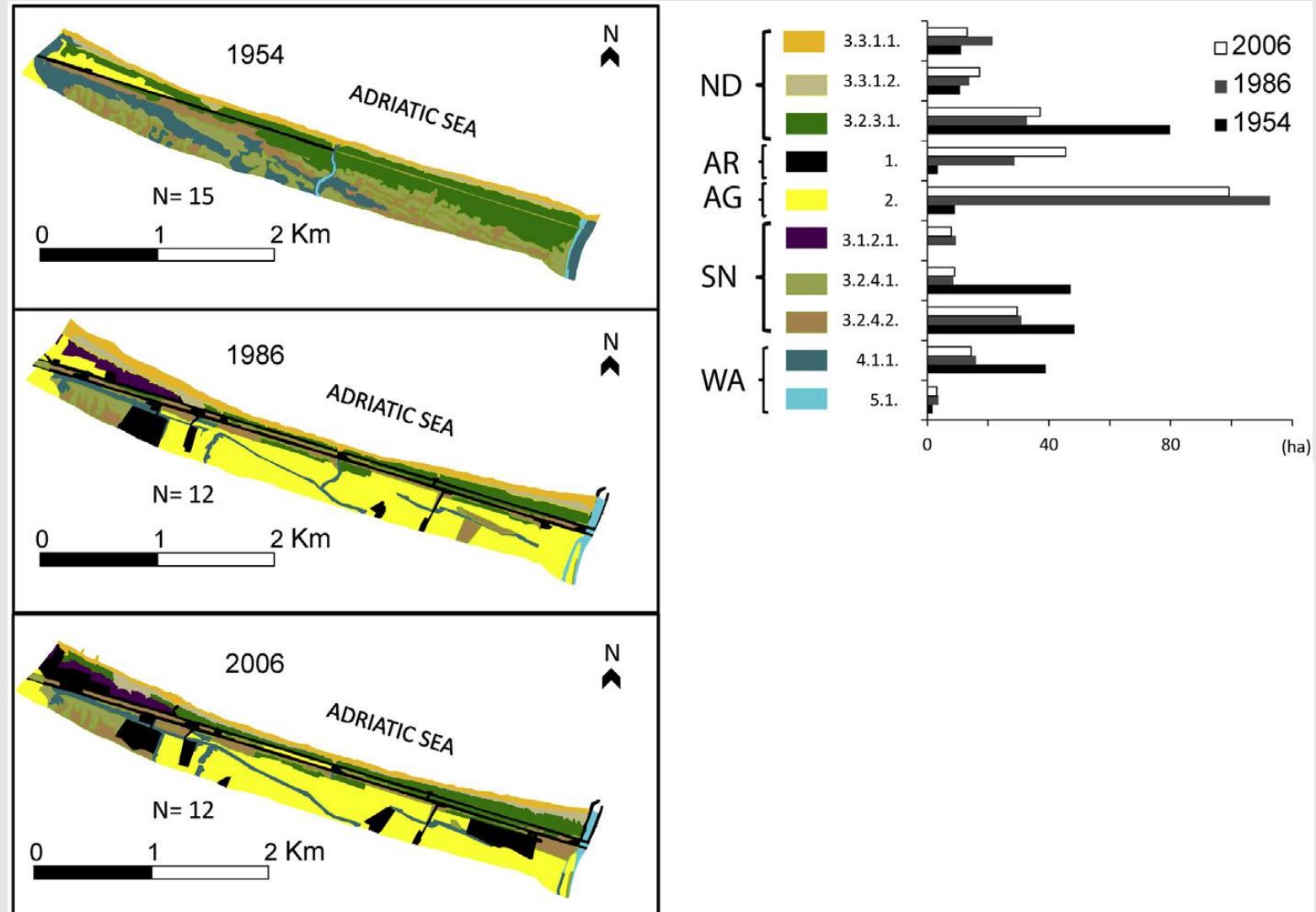
ND: Natural dune cover types (3.3.1.1. Open sand, 3.3.1.2. Partially vegetated dunes and densely vegetated dunes, 3.2.3.1. Mediterranean macchia);

AR: 1. Artificial surfaces;

AG: 2. Agricultural areas;

SN: Semi-natural vegetation (3.1.2.1. Reforestation, 3.2.4.1. Semi-natural woody vegetation, 3.2.4.2. Semi-natural herbaceous ruderal vegetation);

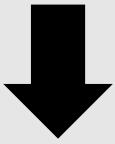
WA: Water bodies and wetlands (4.1.1. Inland marshes, 5.1. Inland waters).



# Utilizzo di Remote Sensing: esempi

Fotogrammetria da drone

Immagini drone

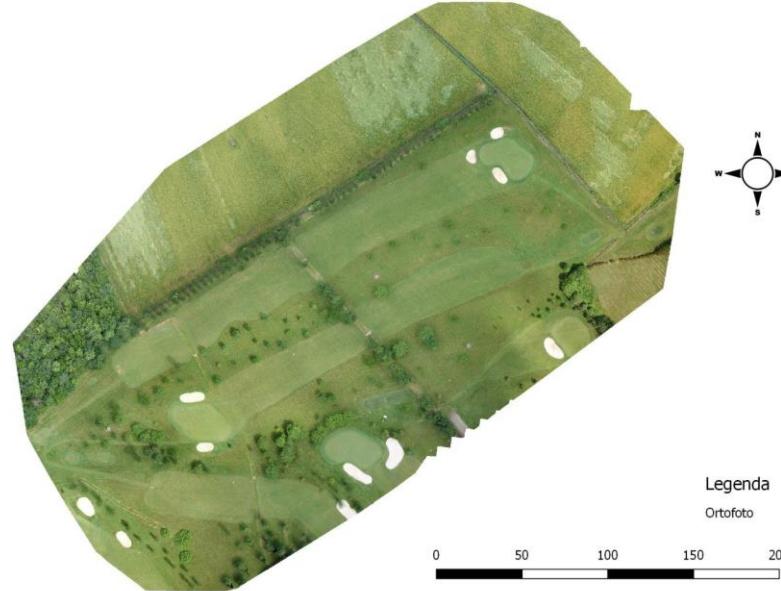


Nuvola di punti

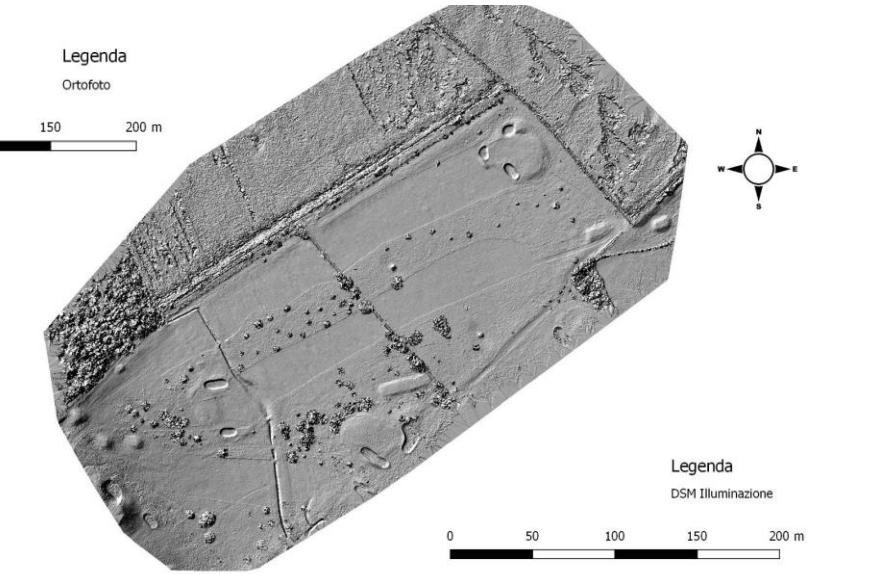


Prodotti finali

Ortofoto ottenuta da volo fotogrammetrico con SAPR



DSM ottenuto da volo fotogrammetrico con SAPR



# Caso studio: Fotointerpretazione del Monumento Naturale Torre Flavia – Ladispoli (RM)

Obiettivo: Classificazione del uso del suolo

## Fotointerpretazione

L'attività di fotointerpretazione richiede un'ampia esperienza da parte del tecnico che la esegue, che deve essere in grado di riconoscere visivamente e definire geometricamente gli elementi che compongono il territorio in osservazione, a partire dalle immagini a sua disposizione.

La prima fase consiste sempre in una ricognizione in campo dell'area da fotointerpretare.



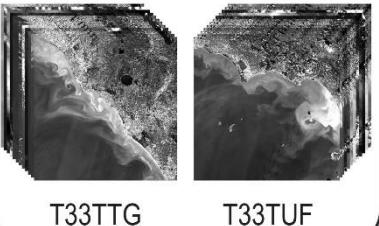
# Caso studio: Classificazione semi-automatica della vegetazione costiera usando un approccio basato sulla fenologia

Obiettivo: Classificazione della vegetazione costiera laziale sfruttando le caratteristiche fenologiche degli habitat

## Sentinel-2 imagery and multitemporal dataset

### 1 SENTINEL images

Level 1C - Top Of Atmosphere  
Year: 2017



## NDVI calculation and masking

### 2 NDVI index

- Calculated for each image

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

- Stack of NDVI images

## Data Classification

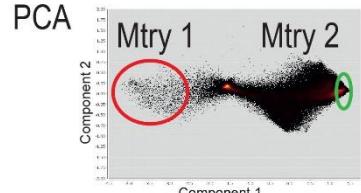
### 3 Iterative cycles

#### Random forest

Number of trees: 100 - - -

Training set pixels: Mtry 1 (red dot) Mtry 2 (green dot)

#### PCA



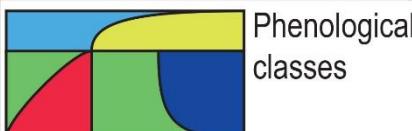
#### Classification



Class 1 (red) Class 2 (green)

New cycle

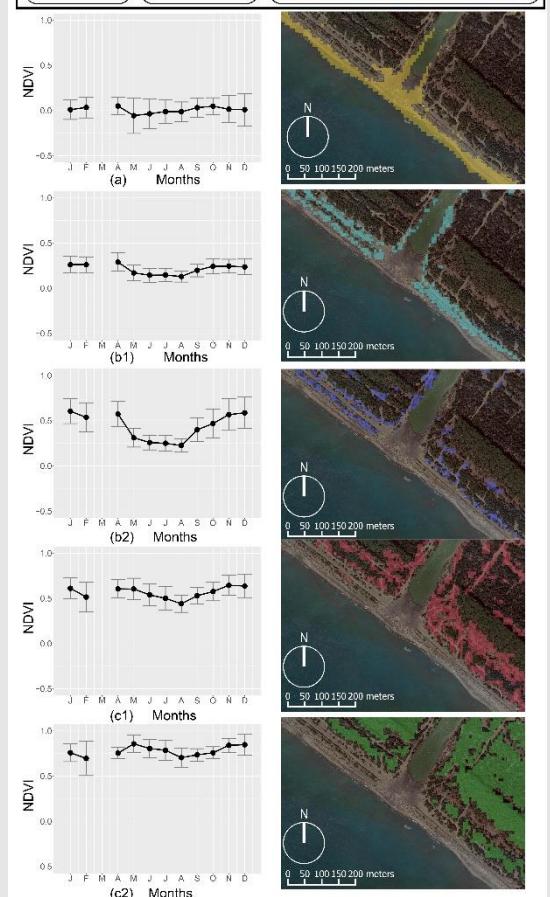
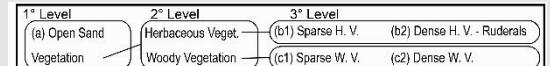
### Phenological map



#### Article

## Capturing Coastal Dune Natural Vegetation Types Using a Phenology-Based Mapping Approach: The Potential of Sentinel-2

Flavio Marzialetti <sup>1</sup>, Silvia Giulio <sup>2,\*</sup>, Marco Malavasi <sup>3</sup>, Marta Gaia Sperandii <sup>2</sup>, Alicia Teresa Rosario Acosta <sup>2</sup> and Maria Laura Carranza <sup>1</sup>



# Caso studio: Classificazione automatica della vegetazione costiera usando l'eterogeneità temporale.

Obiettivo: Classificazione della vegetazione costiera molisana sfruttando l'eterogeneità annuale della biomassa, della presenza di acqua e di percentuali di suolo nudo.

## 1. Sentinel-2 imagery selection

Monthly temporal dataset:

Tile: T33TWG

T33TVG

Satellites: Sentinel-2  
Level: 2A - Bottom of atmosphere  
Cloud percentage: ~ 0 in the study area  
Year: 2019  
Spatial resolution: 10 m  
Time resolution: Month

## 2. Spectral indices calculation and temporal variability computation

### (a) Monthly values of spectral indices

$$MSAVI2 = \frac{2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}}{2} \quad NDWI2 = \frac{\text{GREEN} - \text{NIR}}{\text{GREEN} + \text{NIR}} \quad BI2 = \sqrt{\frac{(\text{RED} * \text{RED}) + (\text{GREEN} * \text{GREEN}) + (\text{NIR} * \text{NIR})}{2}}$$

### (b) Temporal heterogeneity computation

$$\text{Rao's Q index} \quad Q_{index\_n} = \sum_{i=1}^{C-1} \sum_{j=i+1}^F d_{nij} * p_i * p_j$$

### (c) Rao's Q-derived variables

Temporal heterogeneity	Rao's Q index: $Q_{MSAVI2} - Q_{NDWI2} - Q_{BI2}$
Central tendency	Mean: $M_{MSAVI2} - M_{NDWI2} - M_{BI2}$
Variation range	10 <sup>th</sup> percentile: 10 <sup>th</sup> $M_{MSAVI2} - 10^{th} M_{NDWI2} - 10^{th} BI2$ 90 <sup>th</sup> percentile: 90 <sup>th</sup> $M_{MSAVI2} - 90^{th} M_{NDWI2} - 90^{th} BI2$



Algoritmo di classificazione: Random Forest



remote sensing

Article

## Mapping Coastal Dune Landscape through Spectral Rao's Q Temporal Diversity

Flavio Marzialetti <sup>1</sup>, Mirko Di Febbraro <sup>1</sup>\*, Marco Malavasi <sup>2,\*</sup>, Silvia Giulio <sup>3</sup>, Alicia Teresa Rosario Acosta <sup>3</sup> and Maria Laura Carranza <sup>1</sup>

