



Regione  
Lombardia



UNIVERSITÀ  
DI TORINO



# Il telerilevamento satellitare a supporto della gestione forestale



**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

Erba, 19 maggio 2023

**Donato Morresi**

Postdoc presso il Dipartimento di Scienze Agrarie,  
Forestali e Alimentari – Università di Torino

# Struttura della presentazione

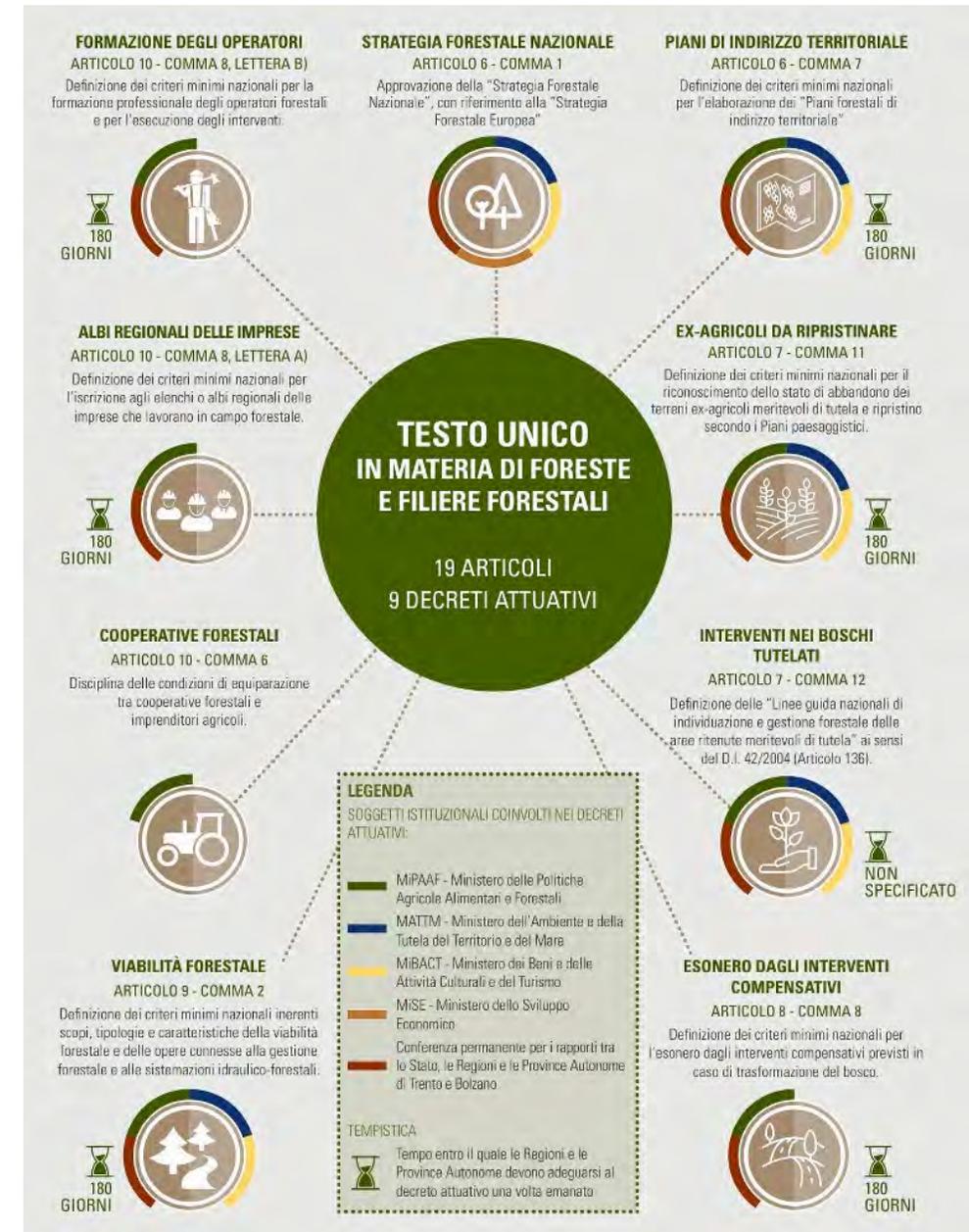
1. Pianificazione forestale e TUFF
2. Introduzione ai dati ottici
3. Introduzione ai dati LiDAR
4. Mappatura del volume legnoso con dati satellitari: il progetto USEFOL



# Pianificazione forestale e TUFF

## Testo unico in materia di foreste e filiere forestali - D.lgs.34/2018:

- **Strategia forestale nazionale (Art. 6 – Comma 1):**
  - ✓ principi della **Gestione Forestale Sostenibile (GFS)**;
- **Armonizzazione a scala nazionale degli strumenti di pianificazione forestale (Art. 6 – Comma 7):**
  - ✓ **standard minimi** (contenuti tecnici e terminologia univoca);
- **Pianificazione forestale multilivello:**
  - ✓ regionale, territoriale, aziendale.



**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Pianificazione forestale e TUFF

Pianificazione forestale su tre livelli: **regionale**, territoriale, aziendale.

## 1) PROGRAMMA FORESTALE REGIONALE (PFR)

- Definisce obiettivi e azioni prioritarie nel quadro dell'**attuazione delle norme e atti di indirizzo** (in primis, la SFN).
- **Carta forestale regionale e il sistema informativo forestale regionale** tra i principali strumenti del PFR.



Regioni dotate di programma forestale regionale  
(fonte: RaF Italia, 2019).



**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Pianificazione forestale e TUFF

Pianificazione forestale su tre livelli: regionale, **territoriale**, aziendale.

## 2) PIANO FORESTALE DI INDIRIZZO TERRITORIALE (PFIT)

- **Aree boschive colturalmente omogenee** per categoria forestale e tipo colturale.
- **Indirizzo di gestione** in termini di **funzione prevalente** per ciascun'area omogenea.
- Area geografica definita principalmente da **confini amministrativi** (territori comunali).
- **Interventi strutturali e infrastrutturali**, forme di governo, tutela biodiversità, tutela aree sensibili e gestione rischi naturali



Regioni in cui sono stati realizzati piani forestali di indirizzo territoriale (RaF Italia, 2019).



# Pianificazione forestale e TUFF

## Strati informativi tecnico-scientifici minimi a corredo del PFIT:

- a) carta di **destinazione di uso del suolo**;
- b) carta dei **vincoli**;
- c) carta delle **proprietà forestali e silvo-pastorali pubbliche e collettive** e degli usi civici;
- d) carta delle **aree boschive colturalmente omogenee**;
- e) carta degli **interventi strutturali e infrastrutturali**;
- f) carta degli eventuali **boschi vetusti e alberi monumentali e dei boschi da seme**;
- g) carta dei boschi di **protezione diretta**.

Elementi di orientamento  
per la pianificazione forestale  
alla luce del Testo Unico in materia  
di foreste e filiere forestali

PIRELLA GÖTTSCHE LOWE  
FRANCESCO CERAMICCHI, LUCIA DE SALVATORE, UMBERTO DE SALVATORE,  
RAIULI ROSSANO, GIORGIO VAUGHANO, FABRIZIO FERRETTI



Regioni in cui sono stati realizzati piani forestali di indirizzo territoriale (RaF Italia, 2019).

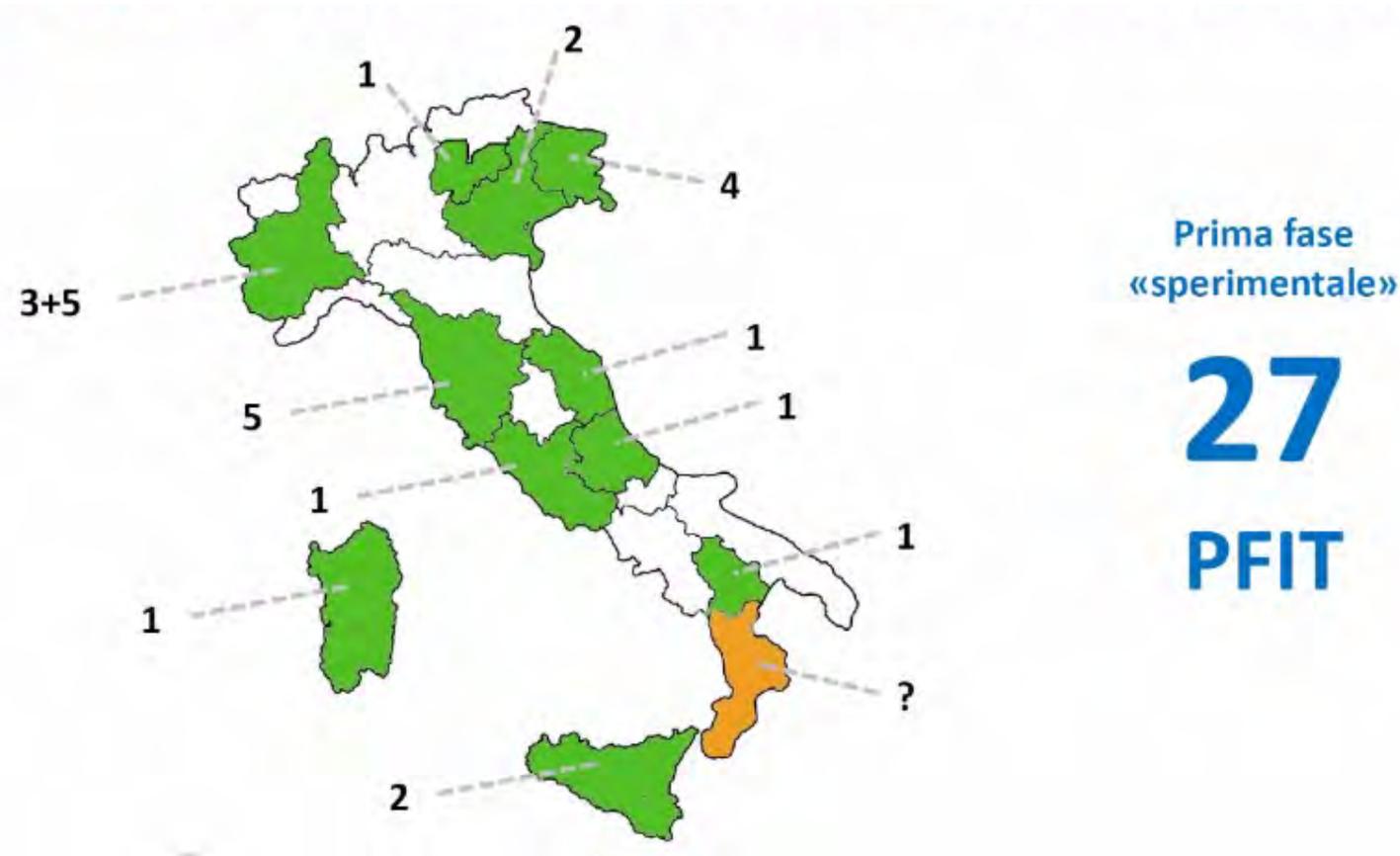


**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Pianificazione forestale e TUFF

Quanti sono i PFIT in fase di realizzazione?



fonte: Paolo Mori 2023, SFIDE E OPPORTUNITÀ PER LA REDAZIONE DEI PIANI FORESTALI DI INDIRIZZO TERRITORIALE

# Pianificazione forestale e TUFF

Pianificazione forestale su tre livelli: regionale, territoriale, **aziendale**.

## **3) PIANO DI GESTIONE FORESTALE (PGF)**

Il piano di gestione forestale (Art. 6 Comma 6, TUFF) è lo strumento di **programmazione e gestione a breve e medio termine degli interventi selvicolturali delle proprietà forestali (pubbliche, private o collettive, singole o associate) e delle opere connesse**.

**Nomenclatura** fino ad oggi: piano economico, piano di assestamento forestale, piano di assestamento e gestione forestale, ecc.

**Durata** indicativa da 10 a 20 anni.

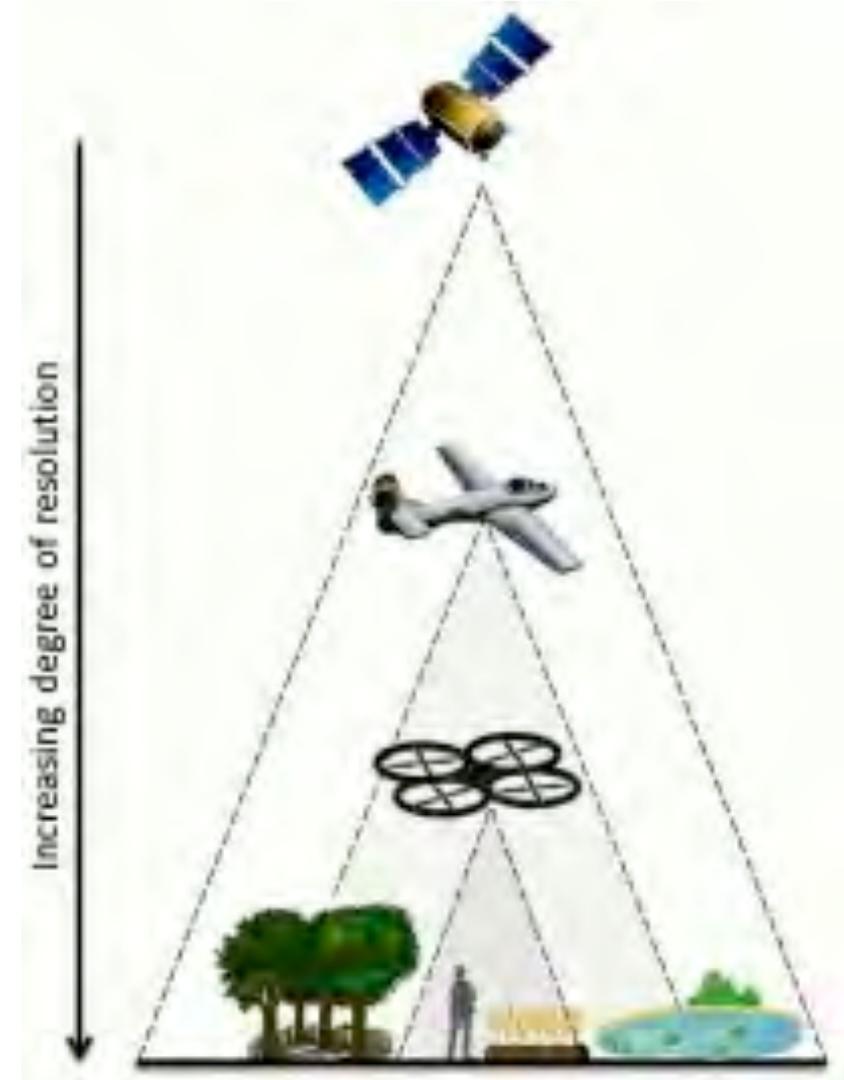


# II telerilevamento

E' l'insieme di tecniche e metodi di osservazione a distanza per il rilievo delle caratteristiche fisiche della superficie terrestre

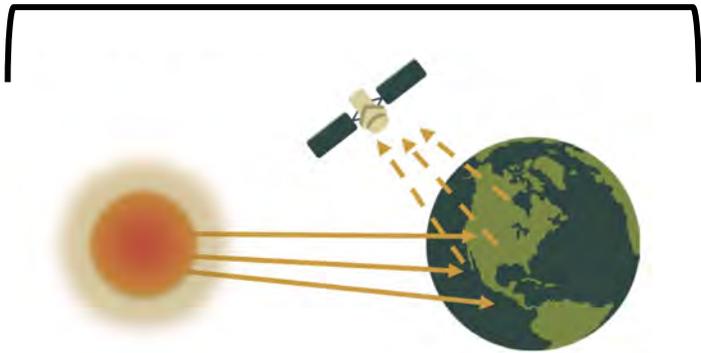
Tre elementi essenziali:

1. un **oggetto o una superficie** da osservare;
2. uno **strumento o un sensore** per osservare l'oggetto;
3. una **piattaforma** in grado di sostenere lo strumento.



# I dati telerilevati: tipologie

## SENSORI PASSIVI

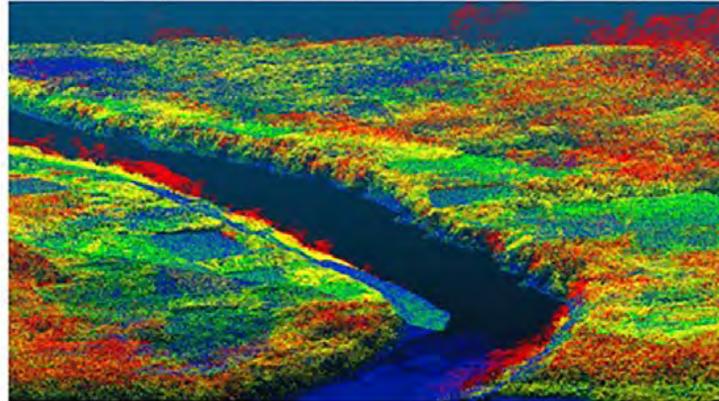
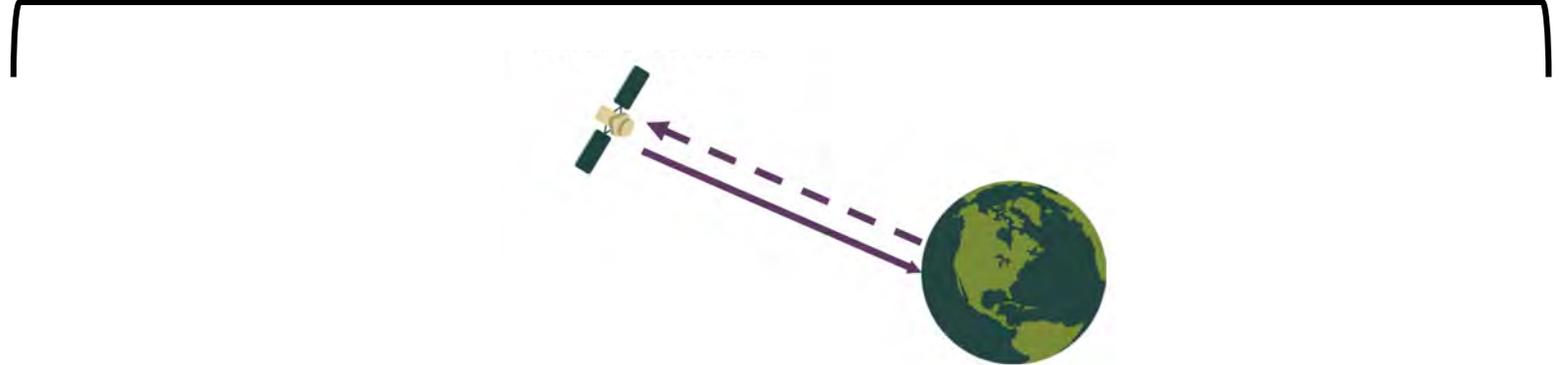


True-colour  
Multi-spectral

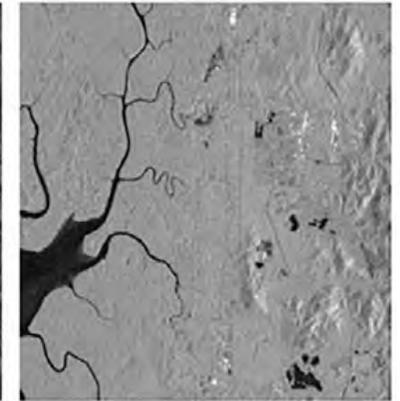
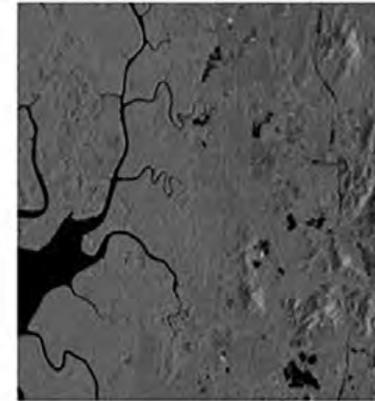


False-colour  
Multi-spectral

## SENSORI ATTIVI



LiDAR 3D point cloud



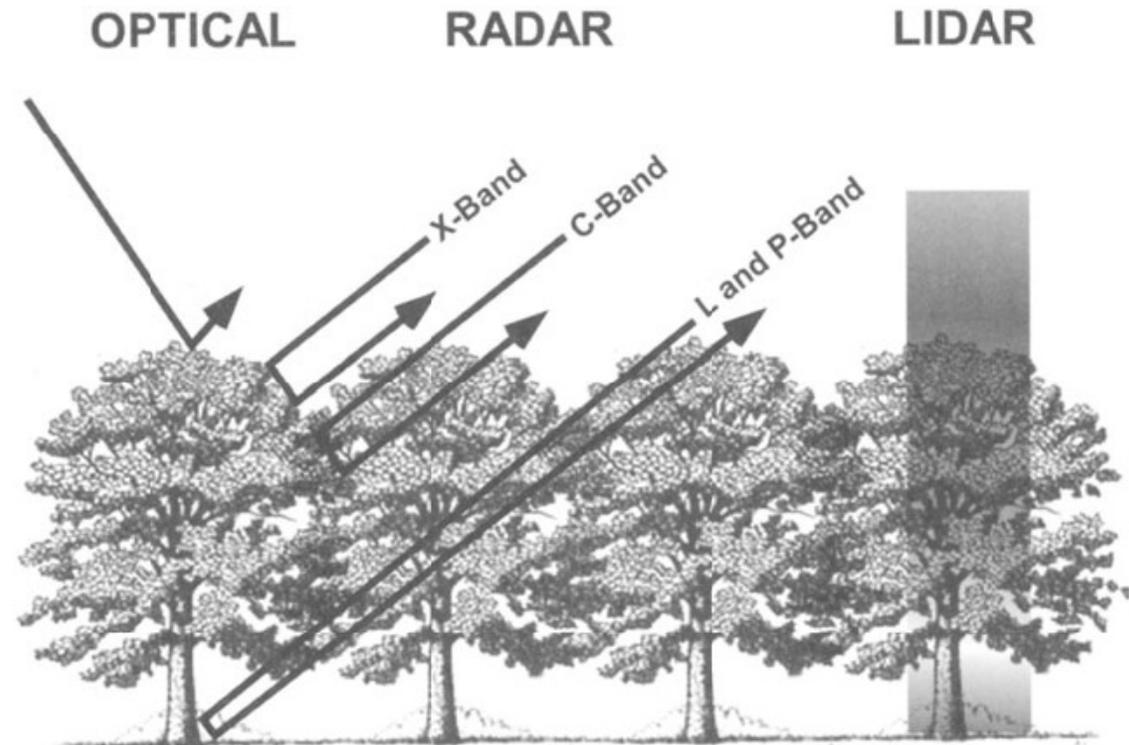
Synthetic Aperture Radar



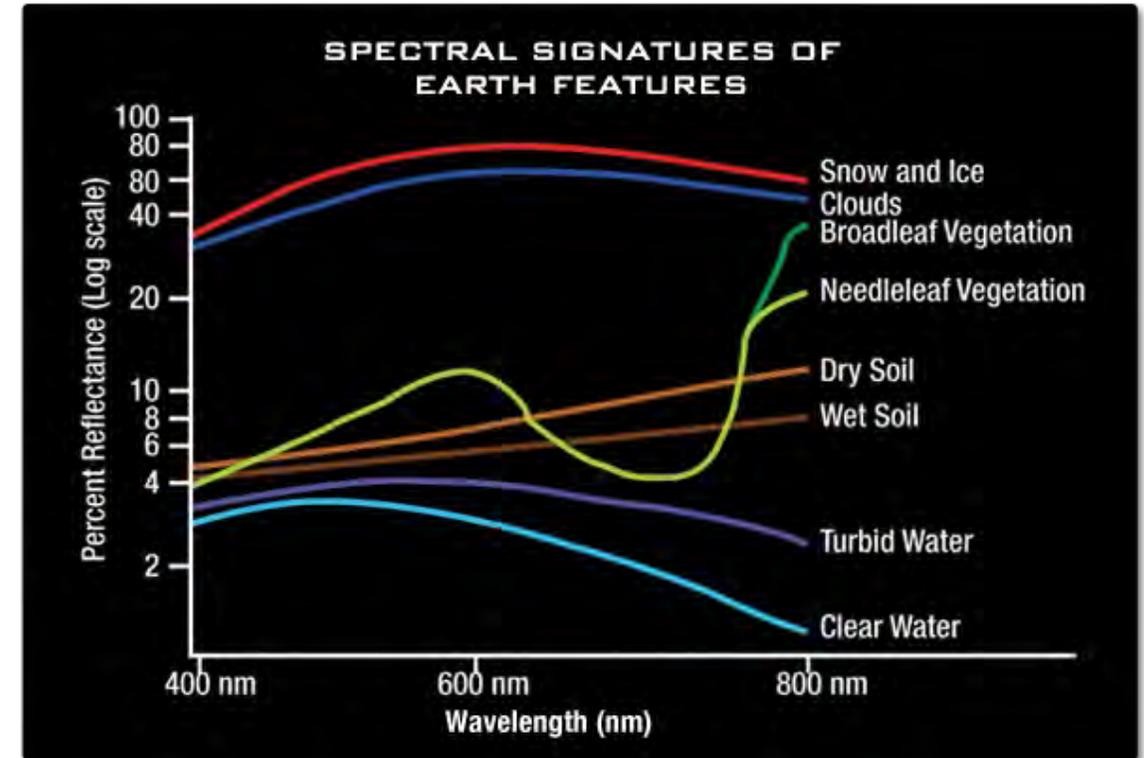
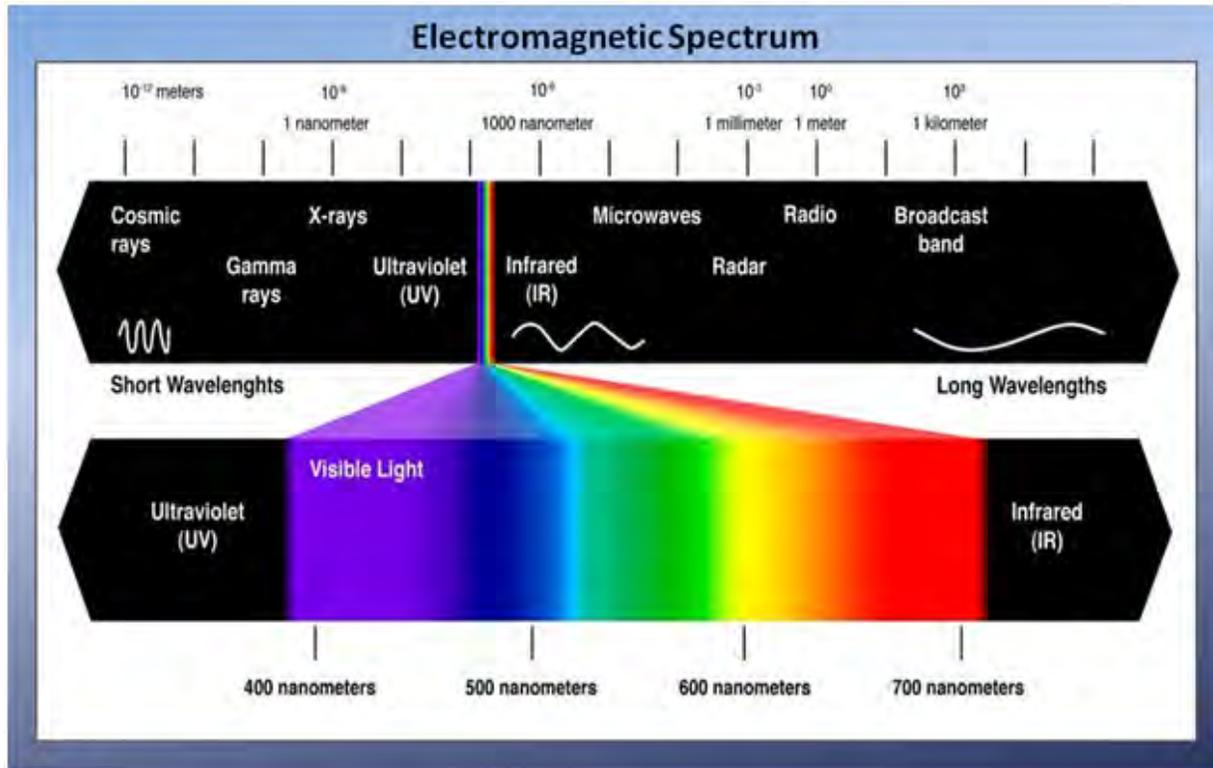
# I dati telerilevati: tipologie

Le informazioni sulla **copertura forestale** sono in funzione della **tipologia di dato** telerilevato.

**Esempio:** differente capacità di penetrazione delle chiome arboree da parte dei dati ottici, radar e lidar.



# Il telerilevamento ottico



**Visibile:** 400nm - 700nm (blu 475nm, verde 510nm e rosso 650nm)

**Infrarosso vicino (NIR):** 700nm - 1300nm

**Infrarosso ad onda corta (SWIR):** 1300nm – 2500nm

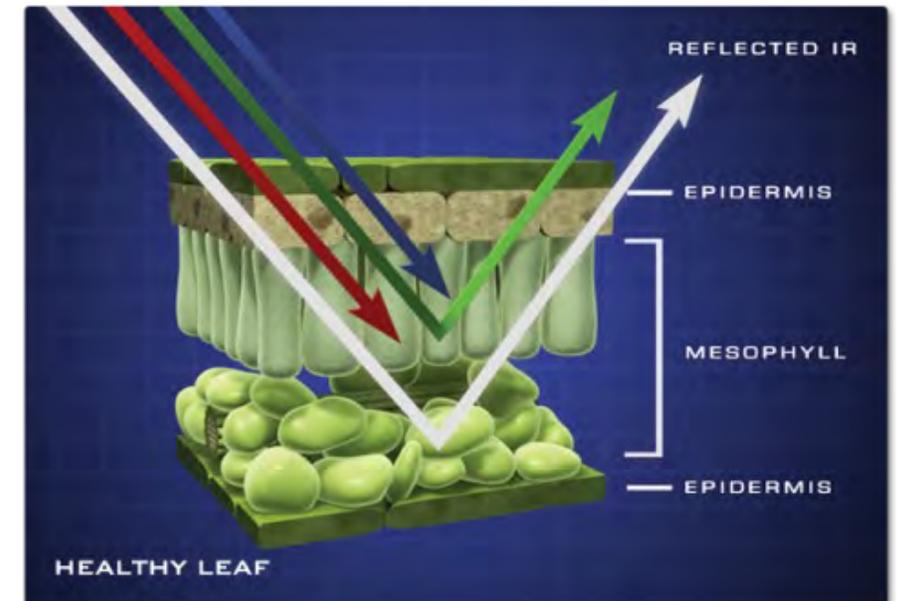
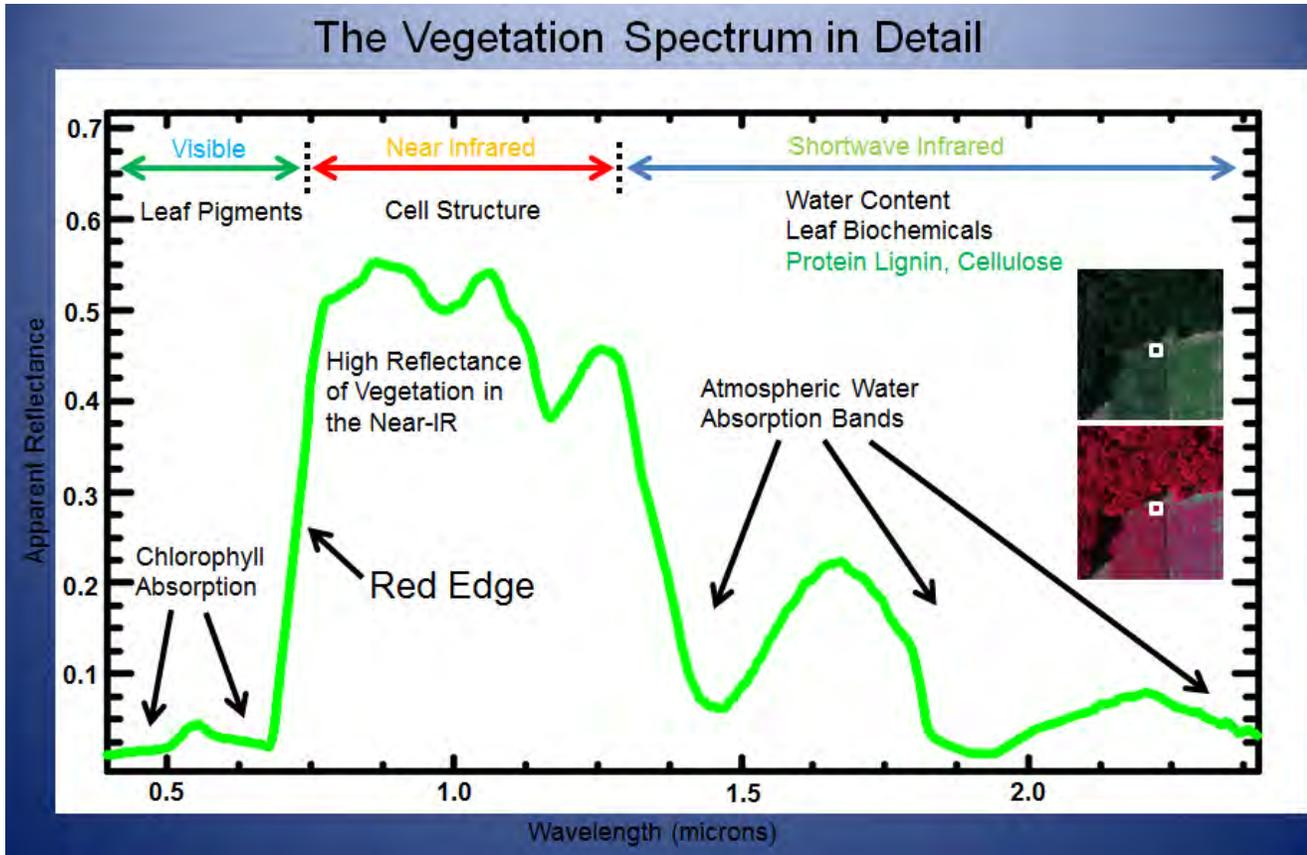


**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Caratteristiche spettrali della vegetazione

Esempio di curva di riflettanza della vegetazione fotosintetizzante



fonte: [https://science.nasa.gov/ems/08\\_nearinfraredwaves](https://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves)

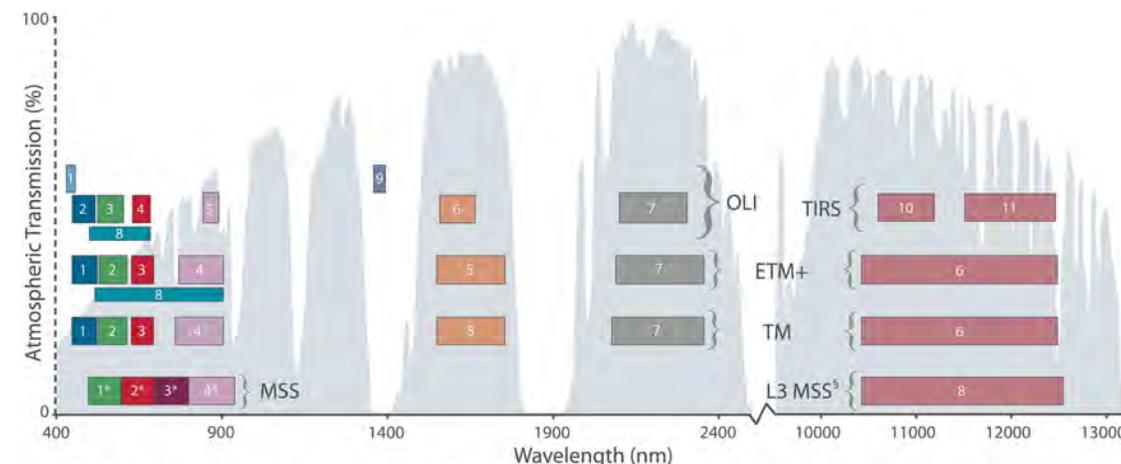
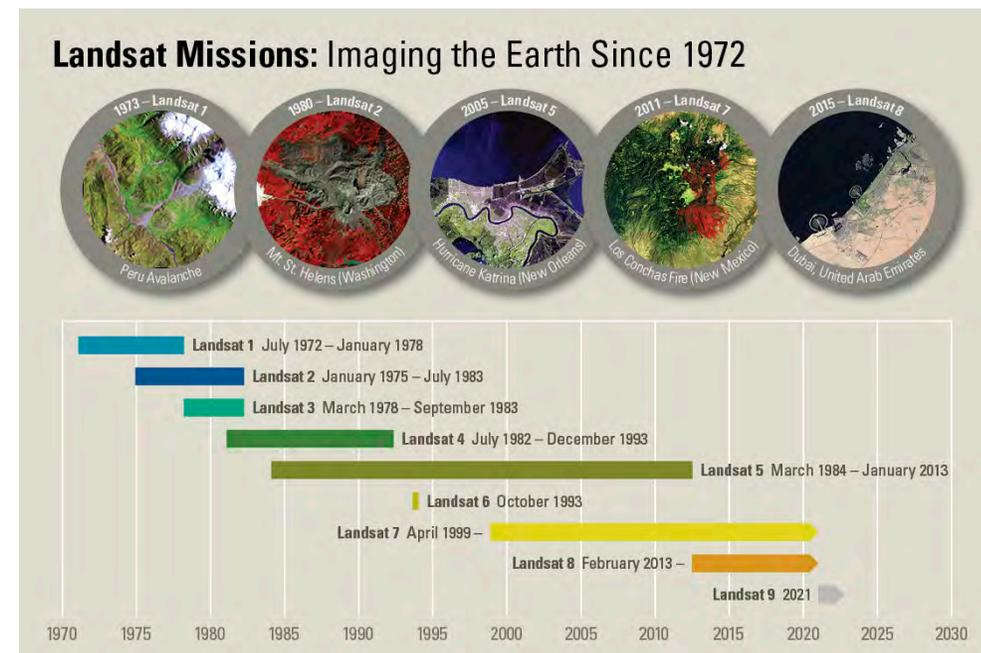


**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Dati ottici satellitari

- Primo satellite **Landsat** in orbita nel 1972, attualmente Landsat 7, Landsat 8 e Landsat 9.
- Primo satellite **Sentinel-2** in orbita nel 2015 (Sentinel-2A); Sentinel-2B in orbita nel 2017.
- **Risoluzione spaziale:** da 10 a 30 m
- **Risoluzione temporale:** da 5 a 16 giorni in base al numero dei satelliti.

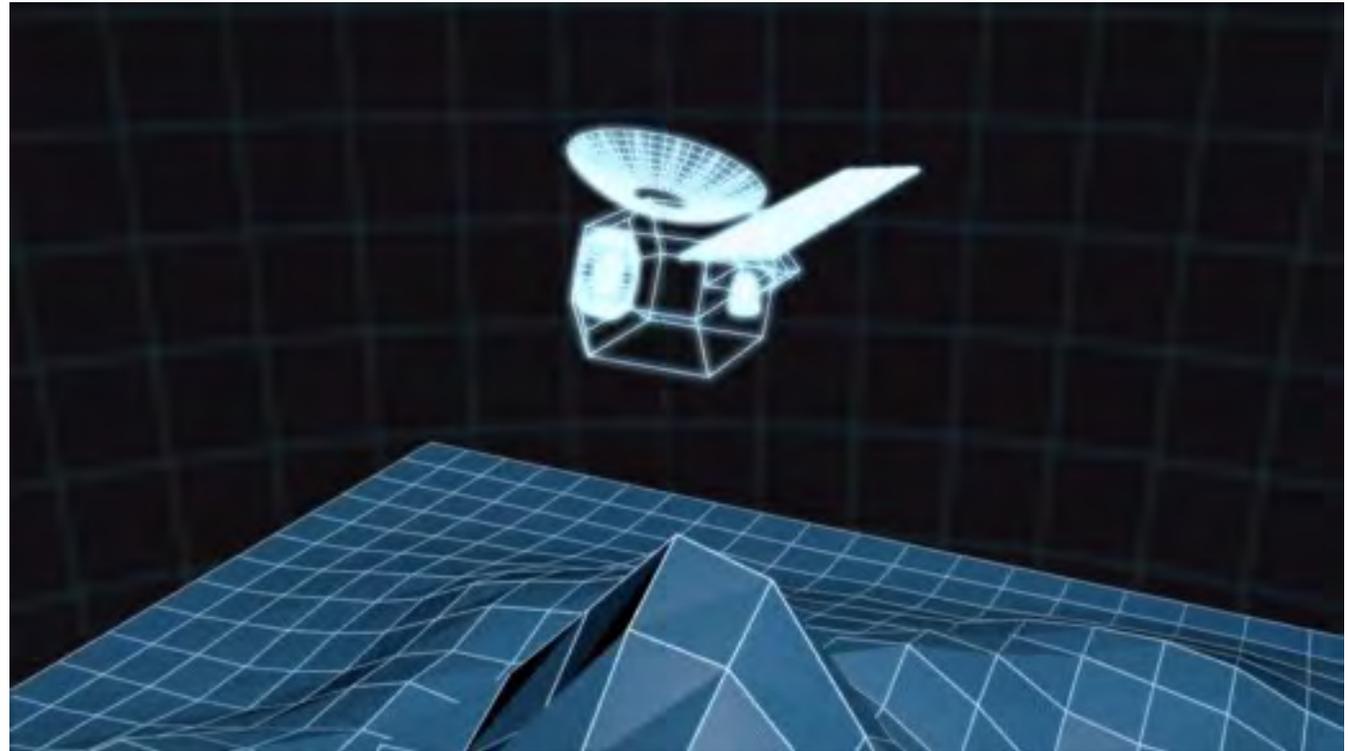


\* MSS bands 1-4 were known as bands 4-7, respectively, on Landsats 1-3

† The 240 m thermal band on Landsat 3 was out of spec within three weeks of launch and turned off in March 1979

# I dati LiDAR

- Il LiDAR (Light Detection and Ranging) è una tecnologia basata su **impulsi laser**.
- Misura la **distanza di un oggetto o una superficie** dal sensore.
- **Misura del tempo** che intercorre tra la trasmissione di un impulso e la ricezione del segnale riflesso.



fonte: NASA



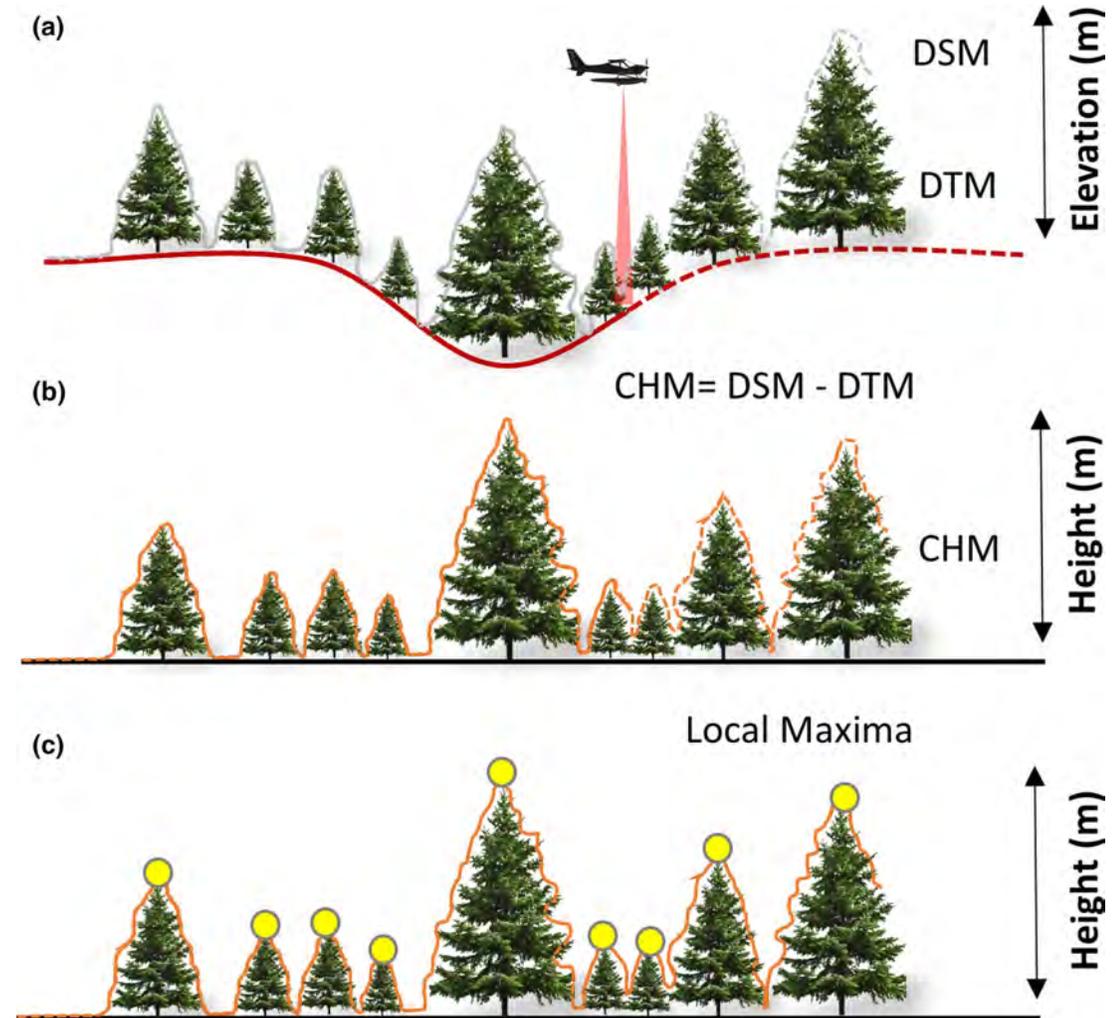
**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# I dati LiDAR

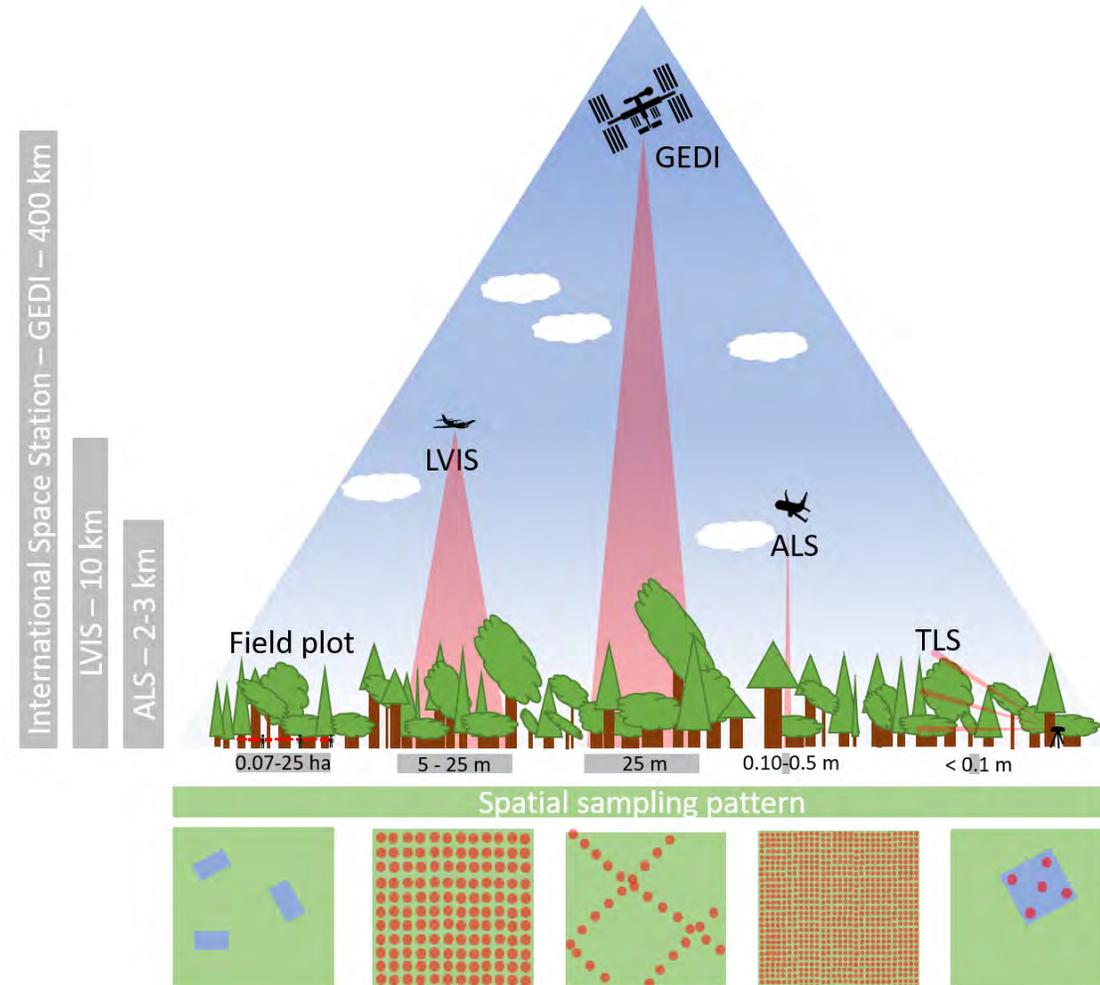
I dati LiDAR forniscono tre prodotti principali:

- **DSM** – Digital Surface Model
- **DTM** – Digital Terrain Model
- **CHM** – Canopy Height Model



# I dati LiDAR: piattaforme

- Treppiedi – TLS (Terrestrial Laser Scanner)
- Aerei – ALS (Aerial Laser Scanner)
- Satelliti
- Droni

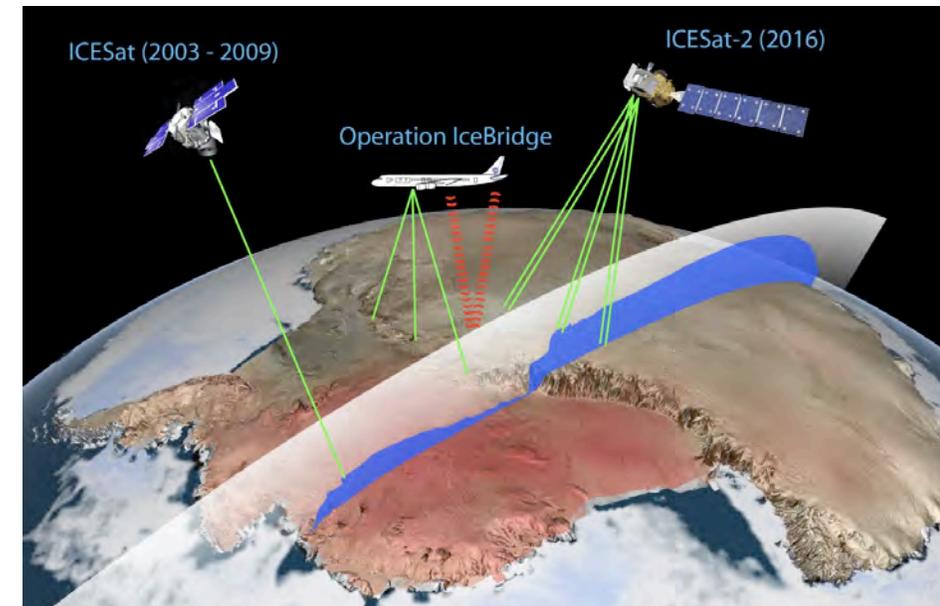


# I dati LiDAR satellitari

- Missioni NASA ICESat-2 e GEDI acquisiscono dati per la mappatura della biomassa forestale.

mission	pulse rate	energy per shot	output power	telescope area	wavelength	operated
ICESat	40 Hz	100 mJ	4 W	0.50 m <sup>2</sup>	1064/532 nm	2003–2009
CALIPSO	20 Hz	110 mJ	2.2 W	0.79 m <sup>2</sup>	1064/532 nm	2006–
CATS	10 kHz and 5 kHz	1 mJ and 2 mJ	15 W	0.28 m <sup>2</sup>	1064/532/355 nm	2015–2017
Aeolus	51 Hz	110 mJ	5.6 W	1.8 m <sup>2</sup>	355 nm	2018–
ICESat-2	10 kHz	1.2 mJ	12 W	0.50 m <sup>2</sup>	532 nm	2018–
GEDI	242 Hz	3 × 10 mJ	7.3W	0.50 m <sup>2</sup>	1064 nm	2018–

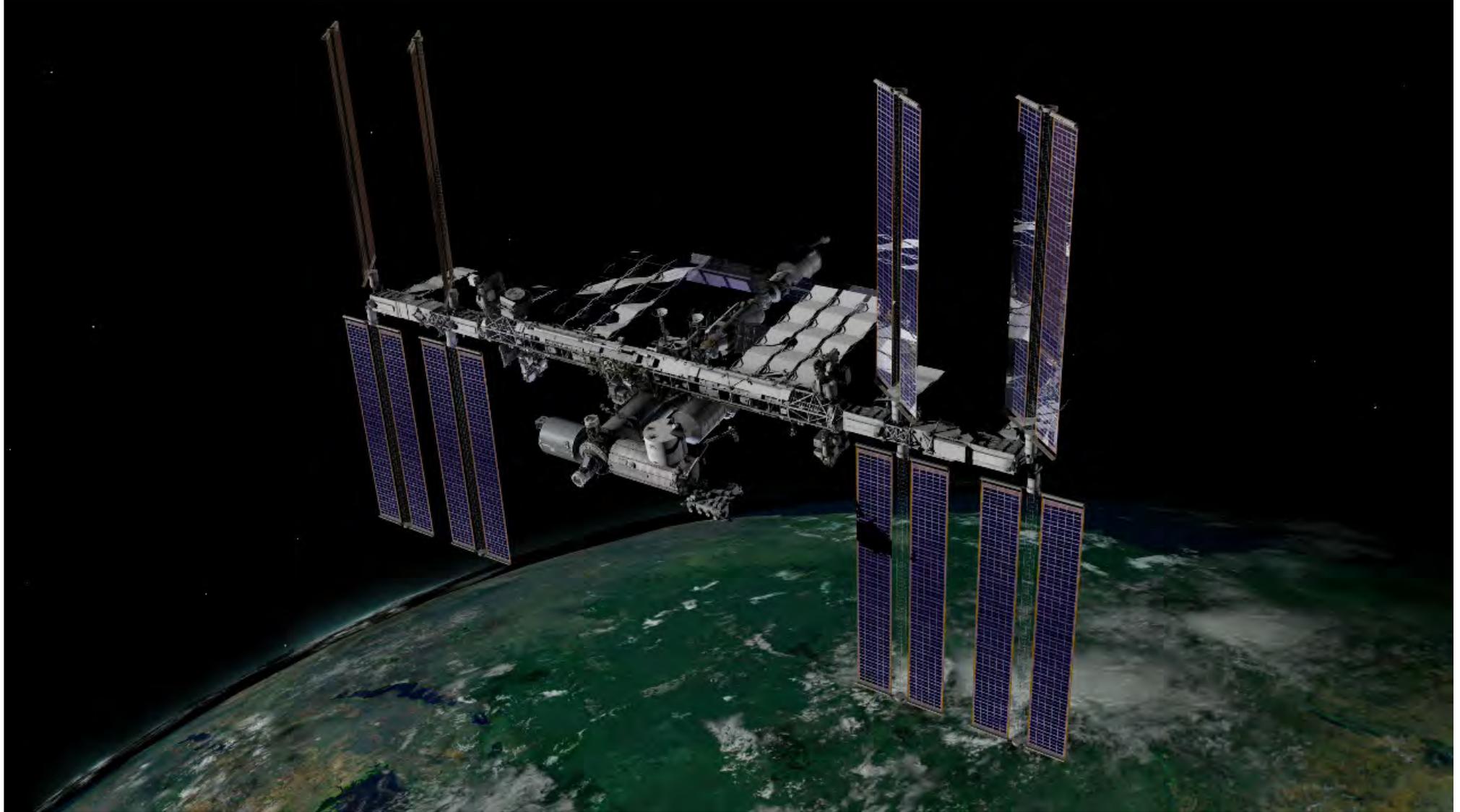
fonte: Hancock et al. 2021



**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# I dati LiDAR satellitari: la missione GEDI



# Mappatura del volume legnoso: il progetto

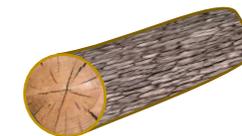
## USEFOL

1. Stima del volume legnoso a terra



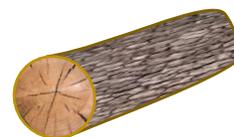
Diametro  
Altezza

Volume

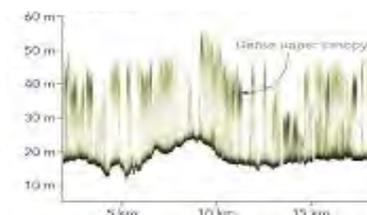


2. Modello a scala locale  
(volume a terra – LiDAR)

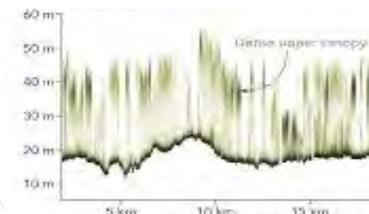
Volume



$f_{X_1}$



3. Modello a scala di paesaggio  
(LiDAR – dati multispettrali)



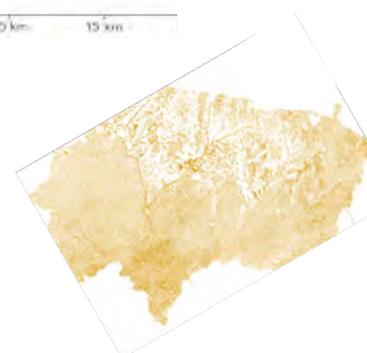
$f_{X_2}$



4. Stima volume su intera area  
(wall-to-wall)



$f_{X_1}$



$f_{X_2}$

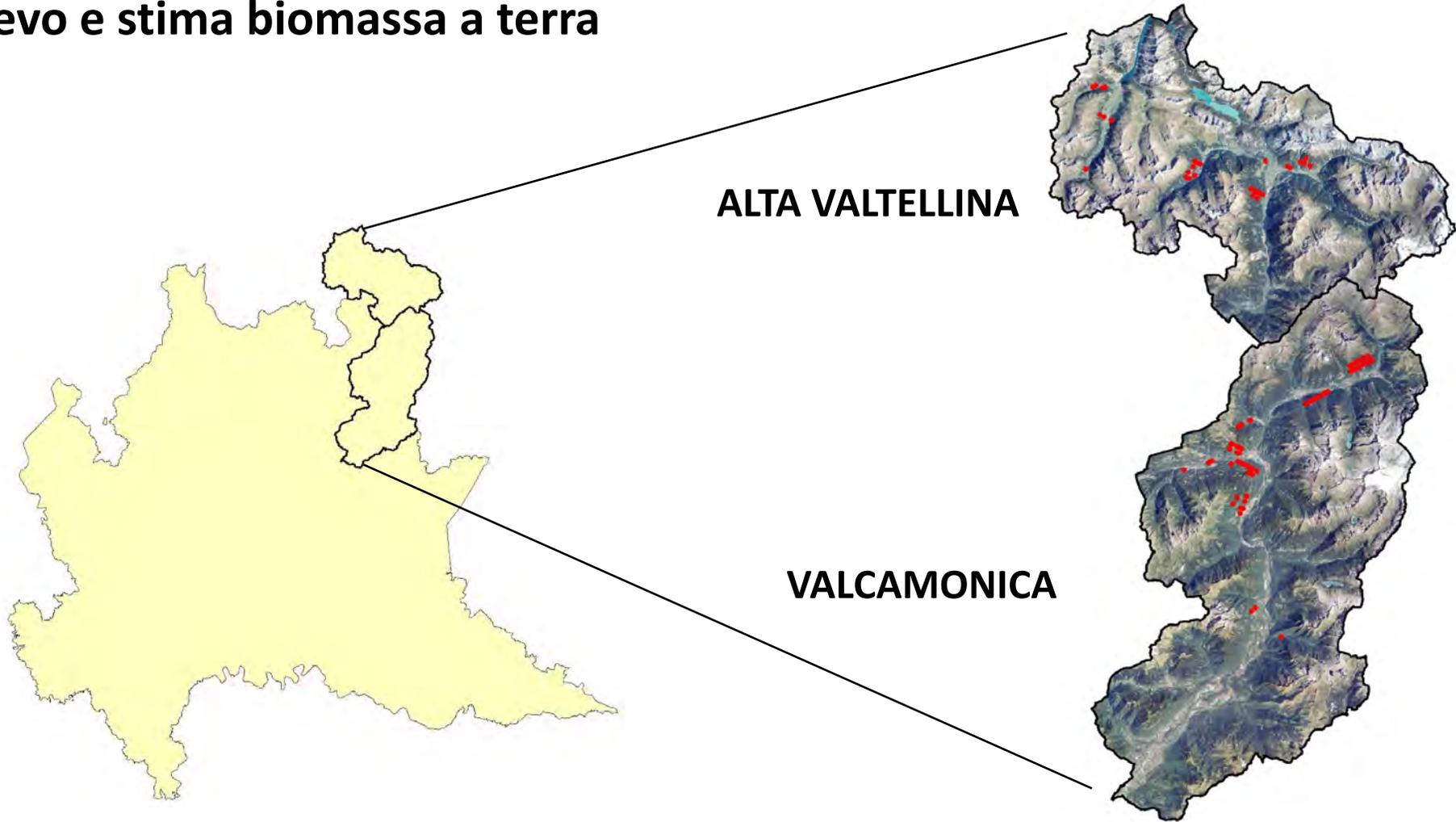


**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Mappatura del volume legnoso: il progetto USEFOL

## Fase 1. Rilievo e stima biomassa a terra



# Mappatura del volume legnoso: il progetto

## USEFOL

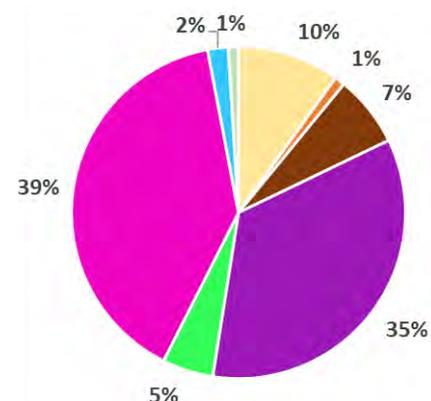
### Fase 1. Rilievo e stima biomassa a terra

#### Aree di saggio & categorie forestali

- numero di aree proporzionale alla superficie occupata da ciascuna categoria forestale
- prevalenza di conifere (76%)

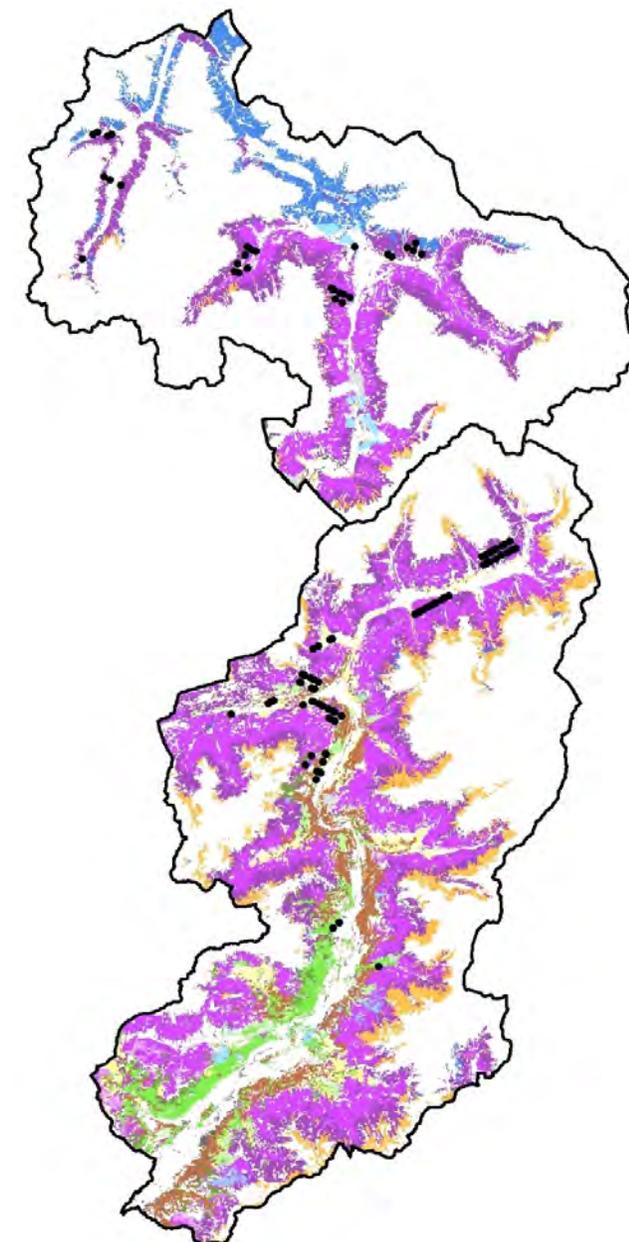
#### Stima del volume legnoso

- 4 comprensori: Valtellina zona Livigno, Valtellina zona Bormio, alta Valcamonica, bassa Valcamonica
- curve ipsometriche per ciascun comprensorio
- equazioni di cubatura dell'inventario forestale nazionale (INFC)



#### CATEGORIA FORESTALE

Abieteti
Aceri-frassineti ed Aceri-tiglieti
Alneti
Betuleti e Corileti
Castagneti
Faggete
Formazioni antropogene
Formazioni particolari
Lariceti Larici-cembreti e Cembrete
Mughete
Non classificabile
Non classificabile DUSAF
Orno-ostrieti
Peccete
Piceo-faggeti
Pinete di pino silvestre
Querceti

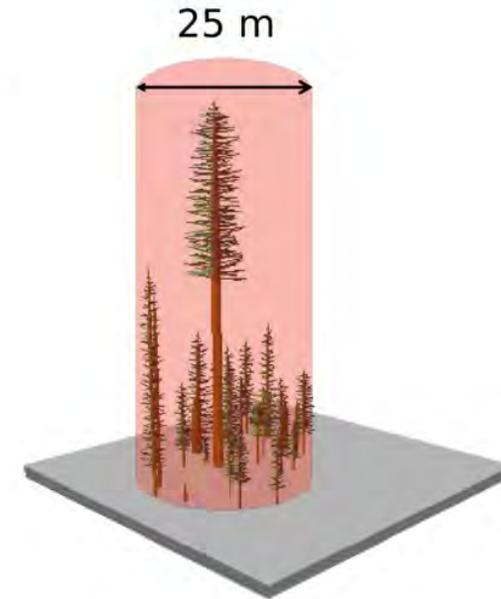
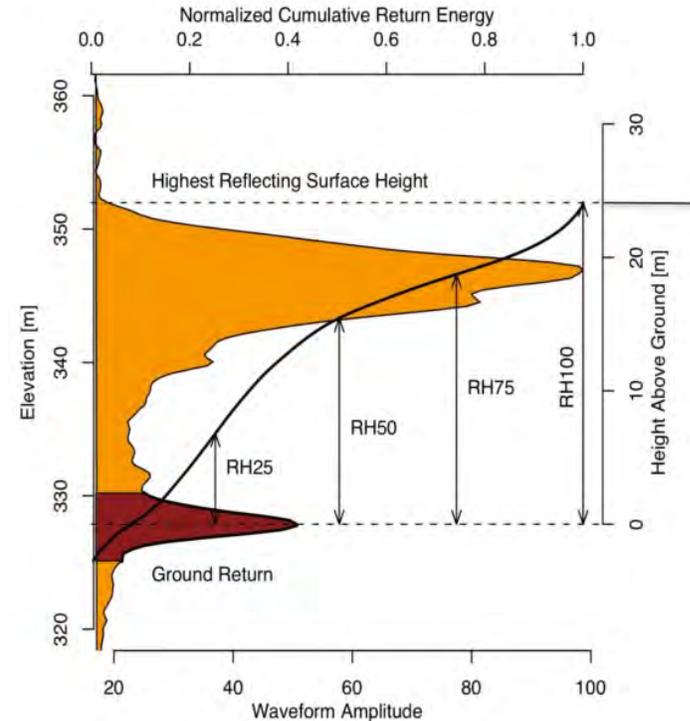


# Mappatura del volume legnoso: il progetto

## USEFOL

### Fase 2. Modello a scala locale (volume a terra – dati LiDAR)

- Dati GEDI L2A e L2B acquisiti nel 2019 e 2020 (1/5 – 31/10).
- Selezione punti GEDI in funzione della potenza del segnale inviato (power beams) e la qualità del segnale di ritorno.
- Regressione lineare multipla tra volume legnoso misurato in campo e dati GEDI.



fonte: <https://gedi.umd.edu/data/products/>



**FORLENER**  
FORESTA\_LEGNO\_ENERGIA

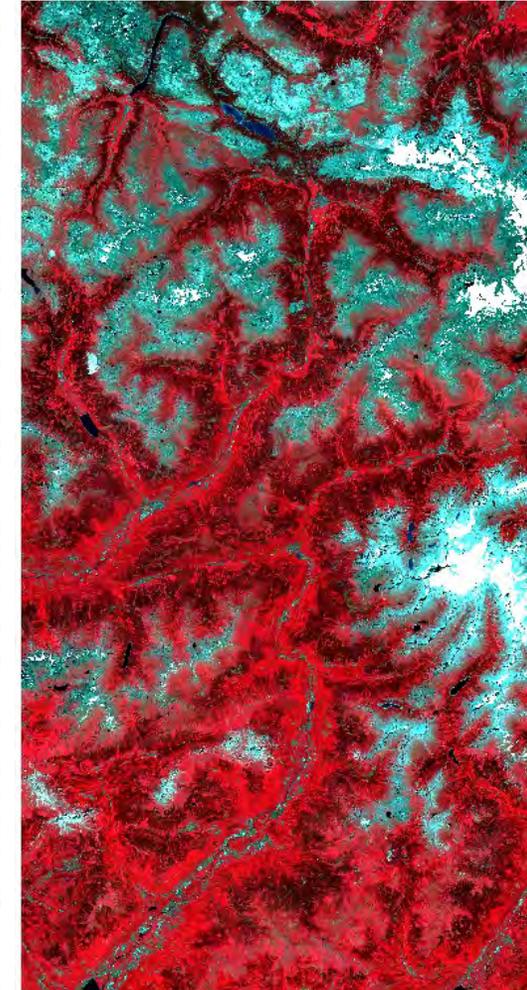
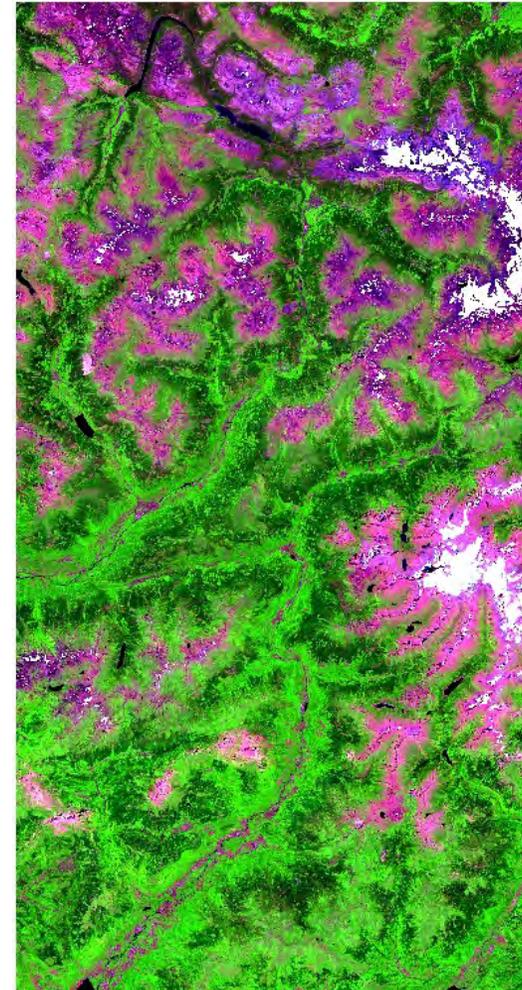
LARIOFIERE, ERBA (CO)  
19 MAGGIO 2023

# Mappatura del volume legnoso: il progetto

## USEFOL

### Fase 3. Modello a scala di paesaggio (volume da LiDAR – dati multispettrali)

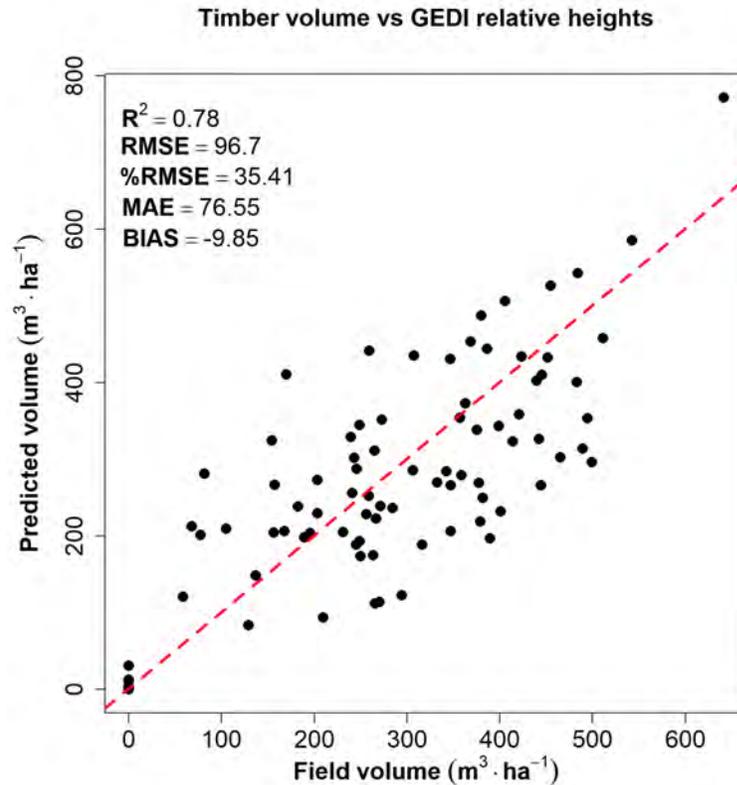
- **Topografia** (quota, pendenza, Heat Load Index).
- **Bande spettrali** Sentinel-2 a 20 m (Blue, Green, Red, Rededge1, Rededge2, Rededge3, NIR, SWIR1, SWIR2).
- **Indici di vegetazione** (es. NDVI, EVI, NDRE1, NDRE2, NDRE3, NDMI, NBR, NBR2, MSI).
- **Metriche di fenologia.**



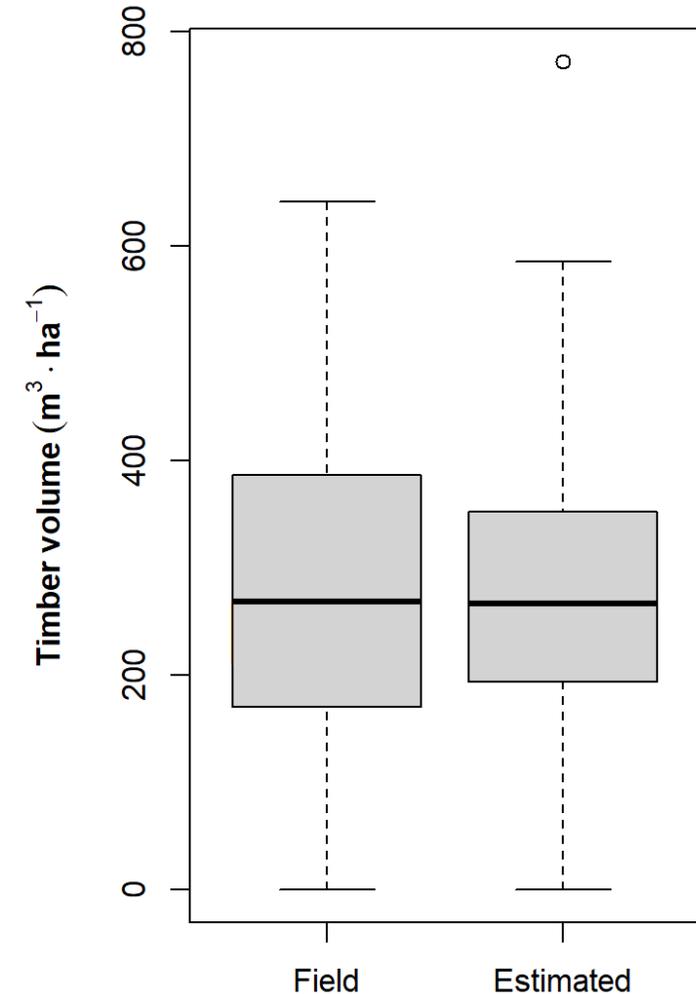
# Mappatura del volume legnoso: il progetto USEFOL

## Risultati: modello a scala locale

$$volume = rh_{15} + rh_{95} + rh_{100} + cover$$



Field vs estimated timber volume

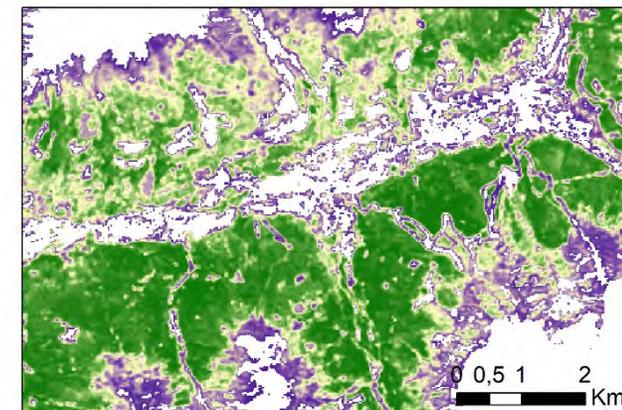
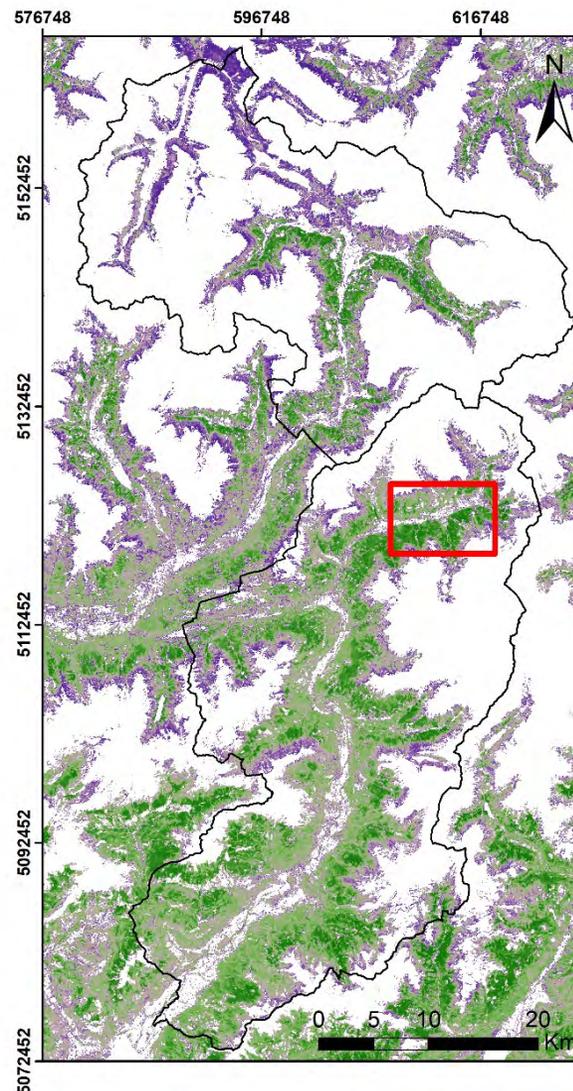
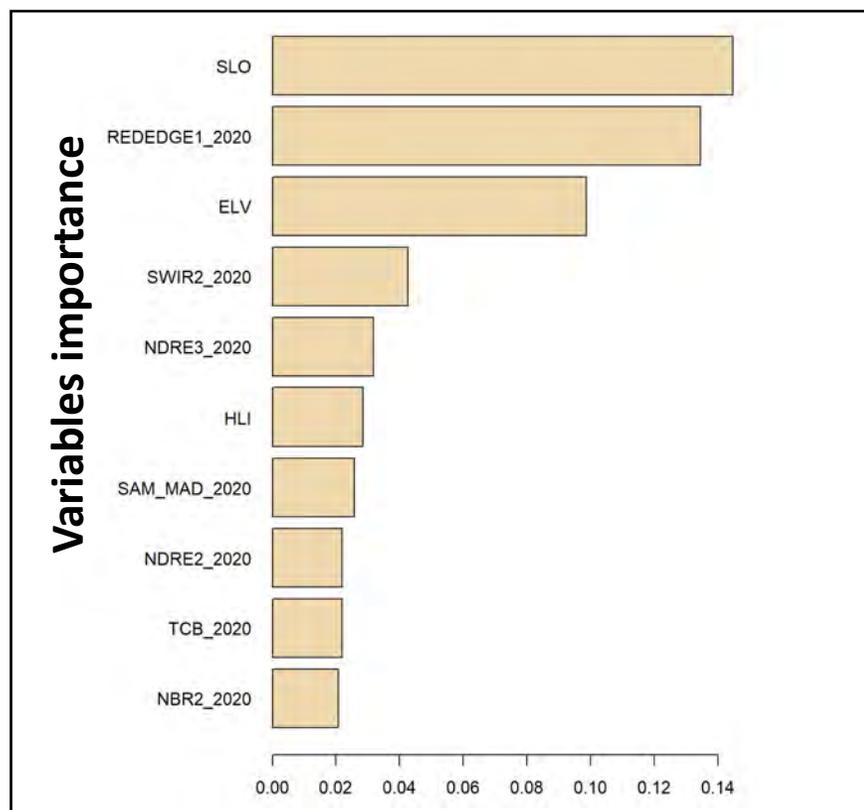


# Mappatura del volume legnoso: il progetto

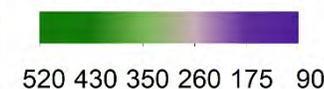
## USEFOL

### Risultati: modello a scala di paesaggio

Cross-validazione spaziale: **RMSE** = 135.6 m<sup>3</sup>/ha;  
**MAE** = 108.2 m<sup>3</sup>/ha



Timber volume (m<sup>3</sup> / ha)



# Mappatura del volume legnoso: il progetto

## USEFOL

### Criticità e prospettive

Incertezza geolocalizzazione punti GEDI ( $v1 \sim 20$  m;  $v2 \sim 10$  m) aumenta errore di stima in aree con copertura forestale eterogenea.

Assenza di dati LiDAR impedisce una stima dell'errore di misura delle altezze con GEDI.

Sensibilità limitata dei dati multispettrali alla quantità di biomassa.

Dati LiDAR satellitari disponibili su tutto il territorio nazionale, utili per standardizzare informazioni su biomassa.



A photograph of a long, straight asphalt road stretching into the distance, flanked on both sides by tall, thin trees with vibrant red foliage. The sky is overcast with grey clouds. The text "Grazie per l'attenzione" is overlaid in white, italicized font across the upper portion of the image.

*Grazie per l'attenzione*

[donato.morresi@unito.it](mailto:donato.morresi@unito.it)