

58° CORSO DI CULTURA IN ECOLOGIA
Zone umide: ecologia e conservazione
28-29-30 Agosto 2024

Remote sensing applicato allo studio delle torbiere

Sonia Silvestri



Sono una geomorfologa ...

La geomorfologia si è evoluta nel tempo ...

bio-geomorphology / eco-geomorphology

WHAT	WHO	WHEN	HOW
Geomorphology	Physical geographers	Early 20 th century	Qualitative description of landscape forms
Geomorphology	Geographers, geologists, and engineers	Mid-20 th century	Extensive field campaigns to collect data to synthesize landforms into classifications
Geomorphology	Engineers and geomorphologists	Since 1960s/1970s	Numerical models for predicting landscape dynamic processes
Bio-geomorphology / Eco-geomorphology	Engineers, ecologists and geomorphologists	Since 1970s	Observations and modelling of bidirectional influences of geomorphic and biologic processes on each other (Viles, 1988)

Bio-geomorphology / Eco-geomorphology

What is the future for biogeomorphological studies? It appears ... that there is a vast range of individual species-earth surface process interactions which need further study and elucidation. Similarly, there are many areas of community influences upon geomorphology which deserve further study. Far more quantitative information must be produced, in order to test specific hypotheses over the importance of certain biological influences. It is vital that geomorphologists become more aware of the ecology of landforms and landscapes, in order to attempt to model the complex interactions which result.

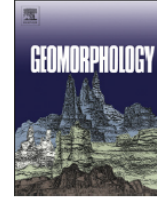
[(Viles, 1988, p. 355)]



Contents lists available at ScienceDirect

Geomorphology

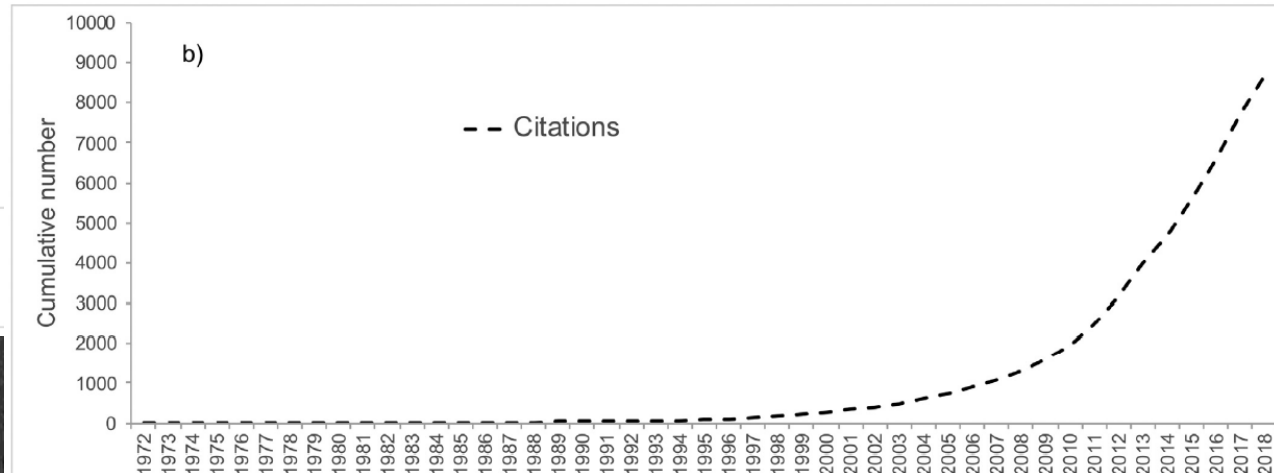
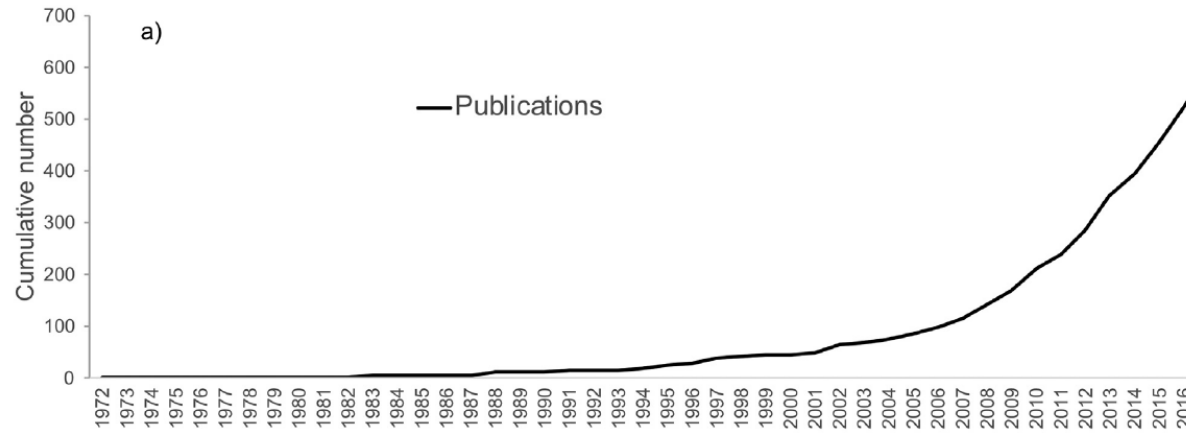
journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph



Biogeomorphology: Past, present and future

Heather Viles

School of Geography and the Environment, University of Oxford, Oxford OX1 3QY, UK



A Scopus search [29/9/2018] of article titles, abstracts and keywords using the terms ‘**biogeomorph*** OR **bio-geomorph*** OR **ecogeomorph*** OR **eco-geomorph*** OR **zoogeomorph*** OR **zoo-geomorph***’ found **635 unique references since 1972**, which have in turn received close to **8700 citations**, with rapid growth in both since around 2000

Fig. 3. Cumulative growth in (a) publications and (b) citations on biogeomorphological topics, 1972–2018.

Geomorphology



Ecology

the three Ms

Monitoring

Manipulation

Modelling

Remote sensing

Ma quanti studi utilizzano dati telerilevati?

Bio-geomorphology / Eco-geomorphology

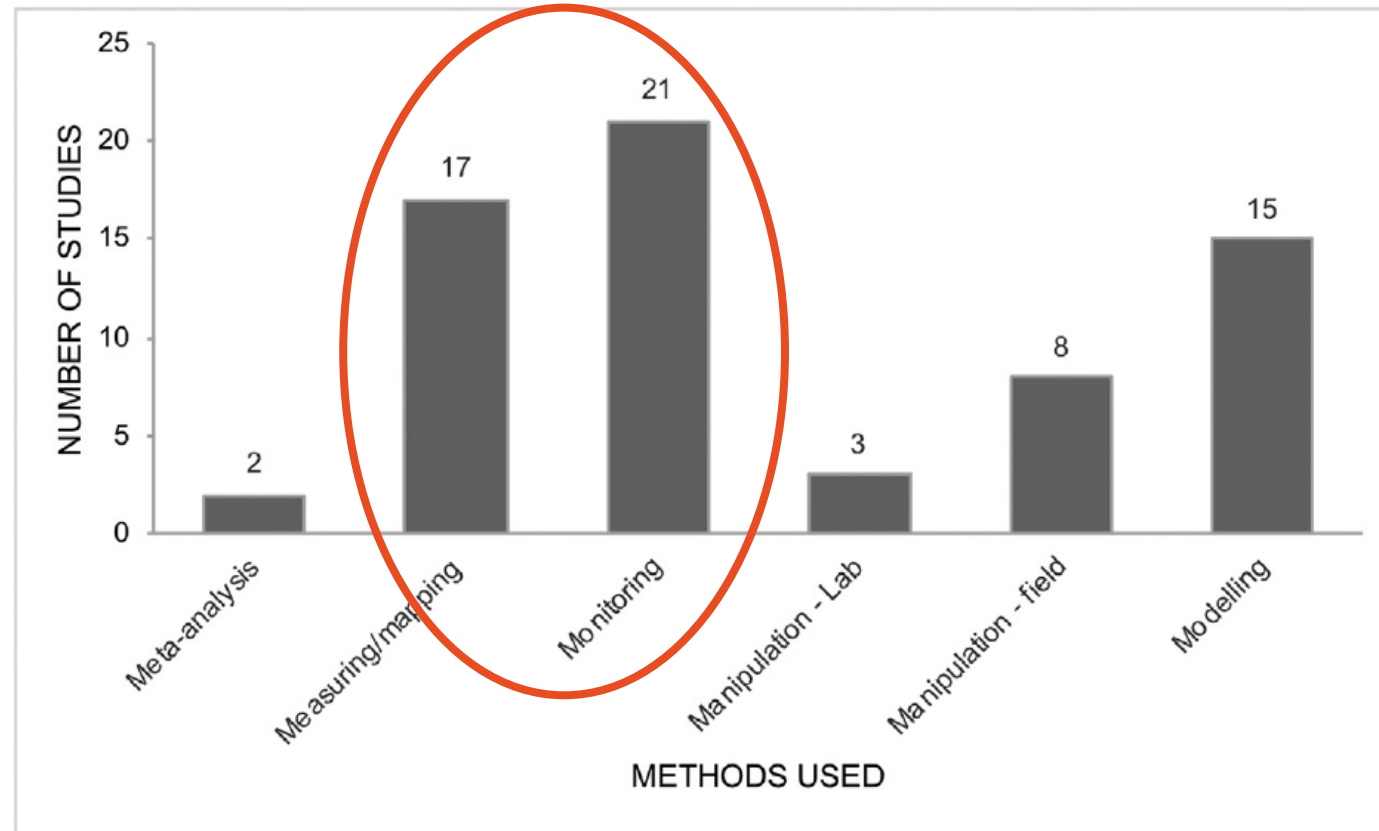
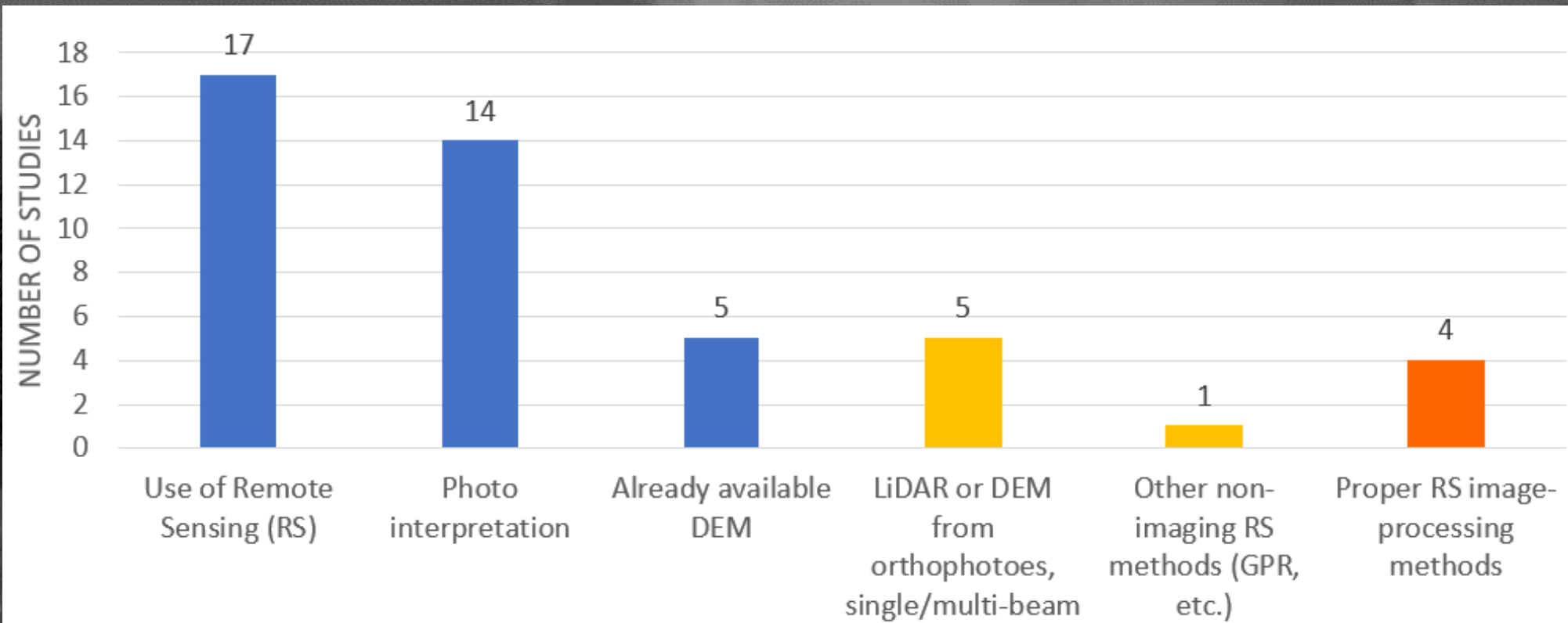


Fig. 8. Methodological bases of a sample of 50 biogeomorphological papers (1994–2018). Numbers sum to >50 as several papers use multiple methods.

Out of 30 papers cited by Viles (2020)



Statistics based on a sample of **30 biogeomorphological papers** (2003-2018) cited by Viles (2020)

Cambio di prospettiva: il telerilevamento

La rivoluzione permessa dalle foto aeree

Pare che la prima foto aerea sia stata scattata nel **1858** su Parigi dal francese Gaspard-Félix Tournachon da una **mongolfiera** (non conservata).



Due foto aeree di Boston (USA) scattate da James Wallack Black nel **1860** da una **mongolfiera**



Cambio di prospettiva: il telerilevamento



FLK C 5a
Zeiss Ikon (?)
(1934)

Fotocamera tedesca a lastra con otturatore a tendina sul piano focale ed ottica Zeiss 19 cm f3.5 il cui numero di serie permette di datarla con esattezza. La verniciatura è della II guerra mondiale.



Strip Camera
1944 (**)

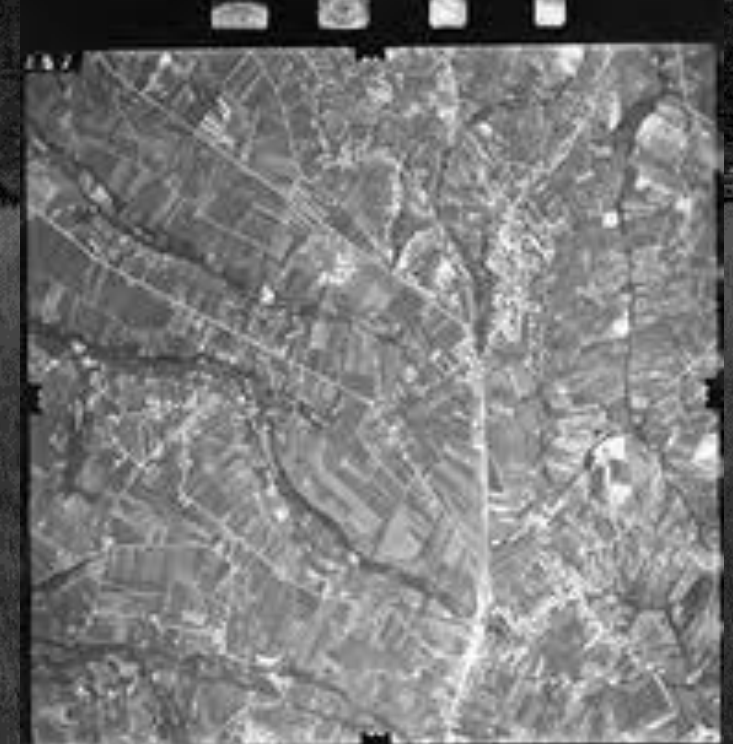


F-56 con obiettivo da 20"
Fairchild Aerial Camera Co., 1940 c.a. (**)



K-25 Camera
The Folmer Graflex Corporation, 1940 c.a.

<http://www.photogallery.it/storia/iaerea.html>

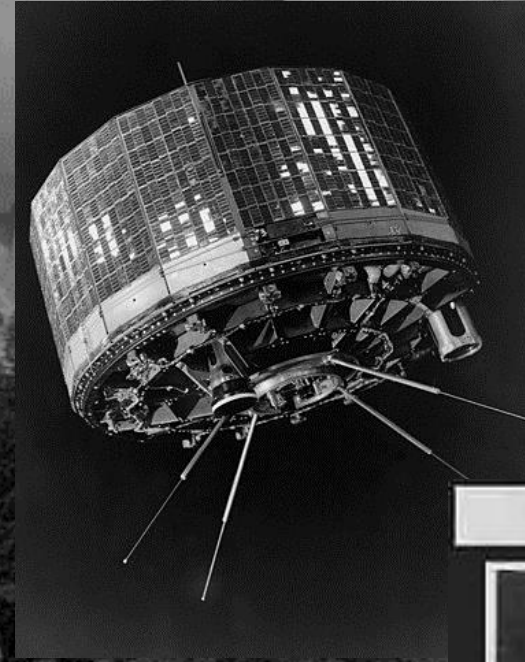


L'avventura continua dallo spazio



Lo **Sputnik 1** è stato il primo satellite ad osservare la Terra, lanciato il **4 ottobre 1957**

Poi c'è stato **Explorer 1**, della NASA, lanciato il **31 gennaio 1958**.

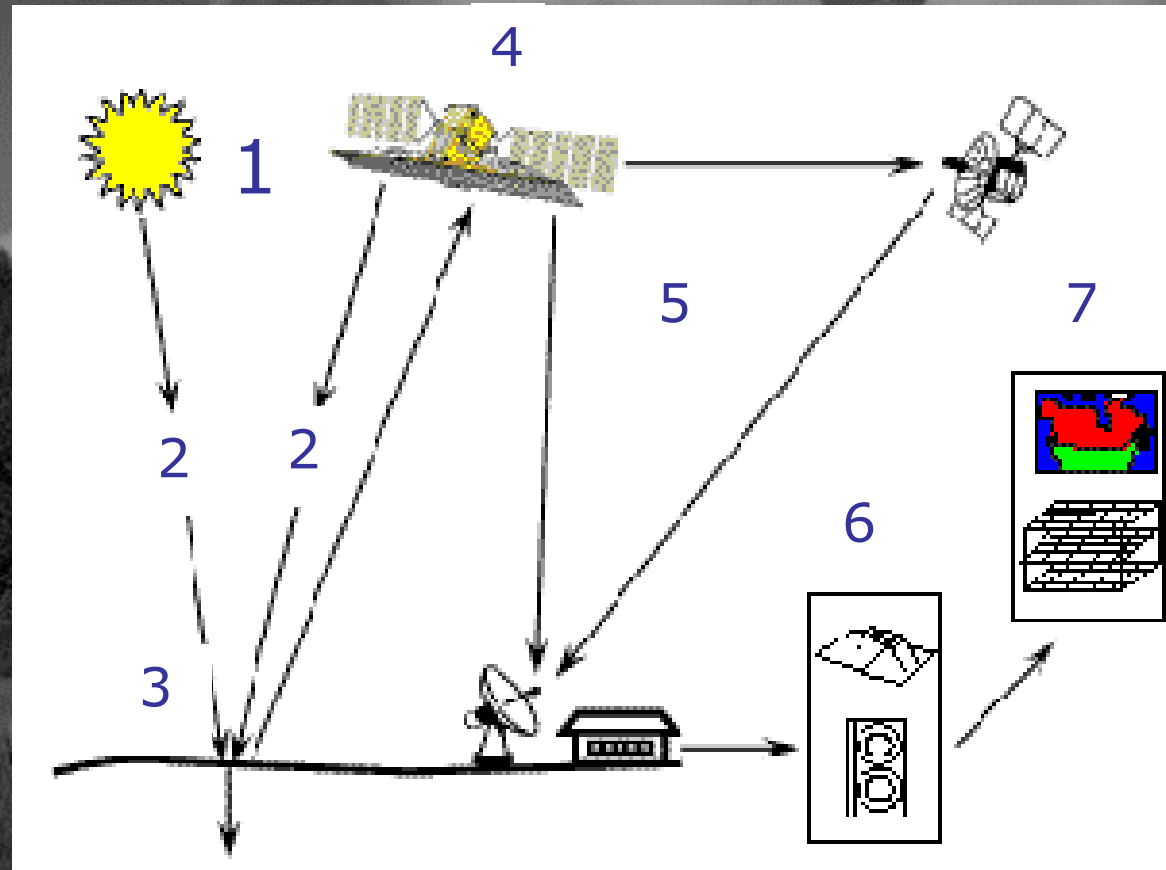


TIROS-1, lanciato il **1 Aprile 1960** ha inviato le prime immagini televisive all'infrarosso per applicazioni meteo

FIRST TELEVISION PICTURE FROM SPACE
TIROS I SATELLITE APRIL 1, 1960



Dallo spazio alla Terra ...

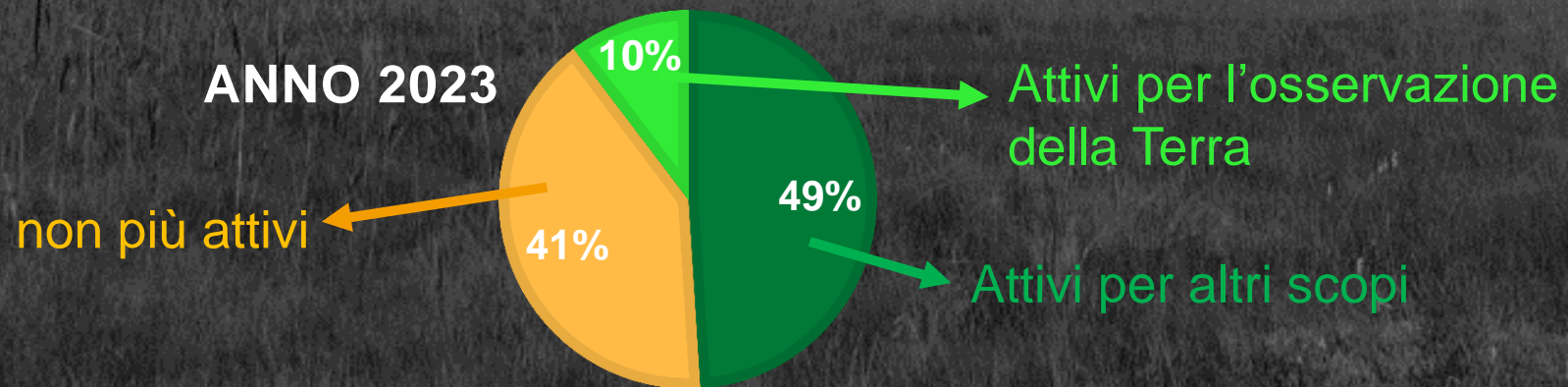
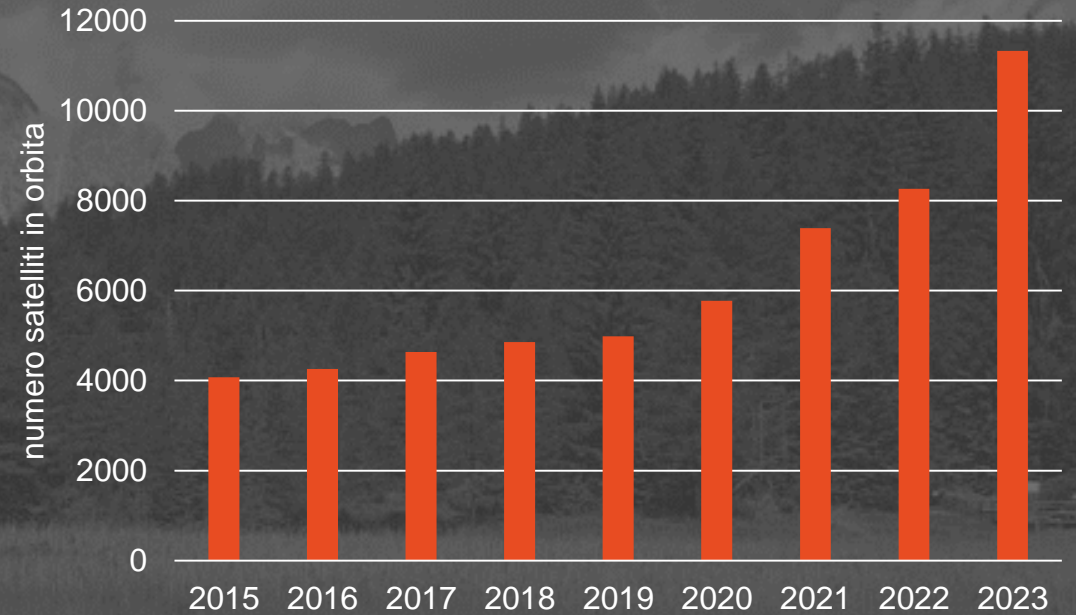
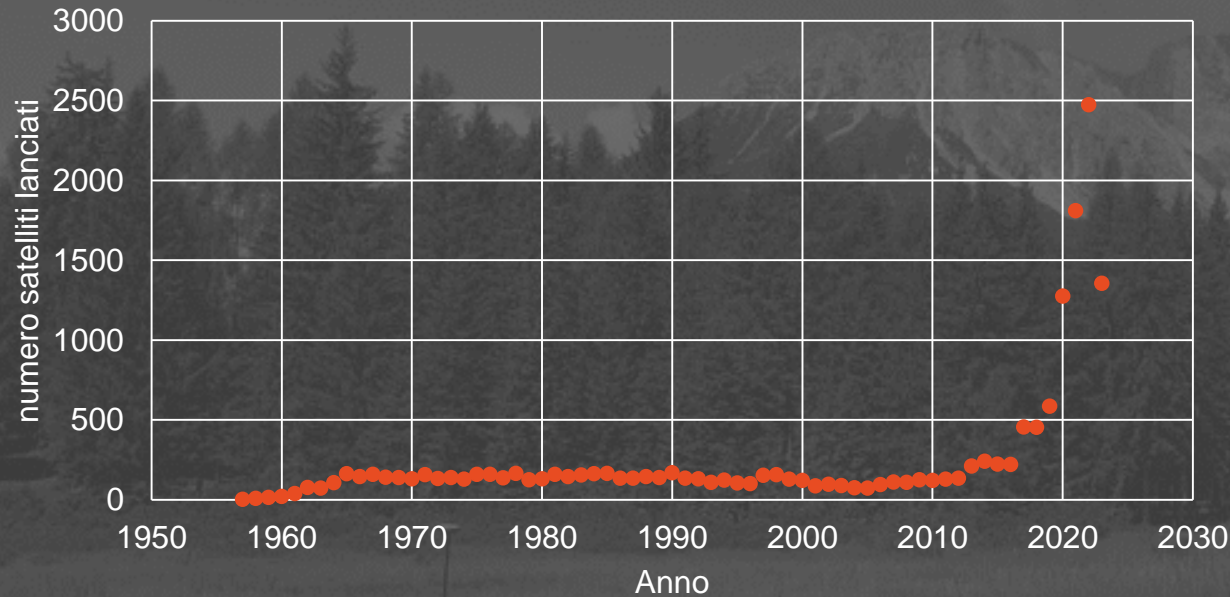


- 1- Electromagnetic energy sourcing
- 2- Electromagnetic radiation
- 3- Energy-Matter interaction
- 4- Sensor detection of energy

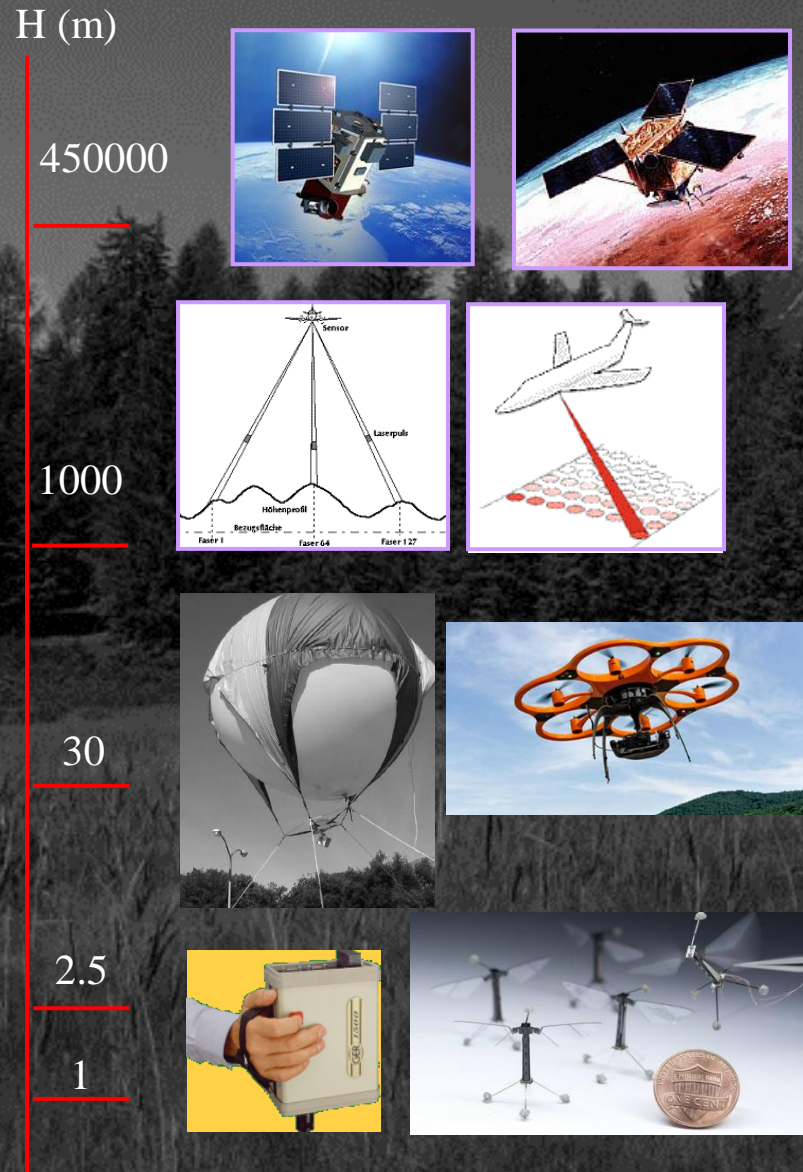
- 5- Data transmission and ground processing
- 6- Data analysis
- 7- Applications

Ma quanti sono oggi i satelliti?


C'erano **11330 satelliti** che orbitavano attorno alla Terra a fine **giugno 2023**
(un aumento del 38% rispetto a gennaio 2022!!)



L'innovazione non si ferma ...



- Il **remote sensing** fornisce **misure quantitative** della superficie terrestre che possono essere usate per studiare i **processi fisici e biologici**
- L'insieme di **sensori + algoritmi + modelli** fornisce uno strumento completo di **interpretazione dei fenomeni a varie scale temporali e spaziali**



Remote sensing delle torbiere
Obiettivo #1: **MAPPARE**

Remote sensing delle torbiere

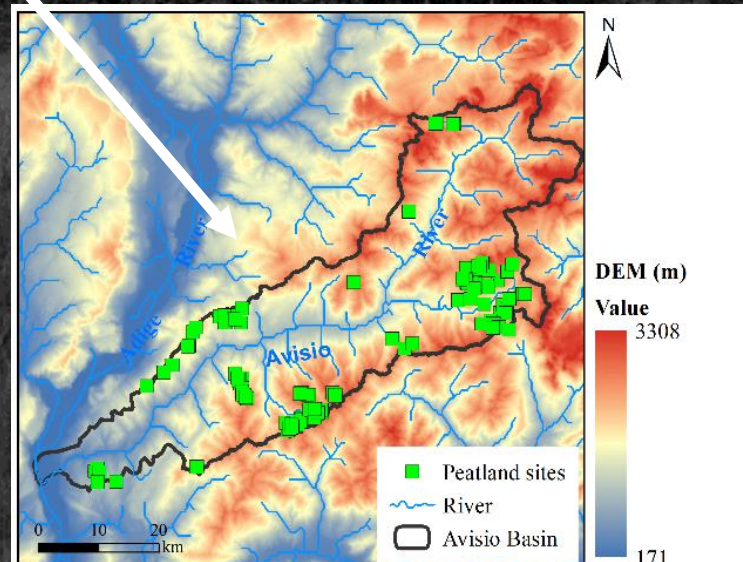
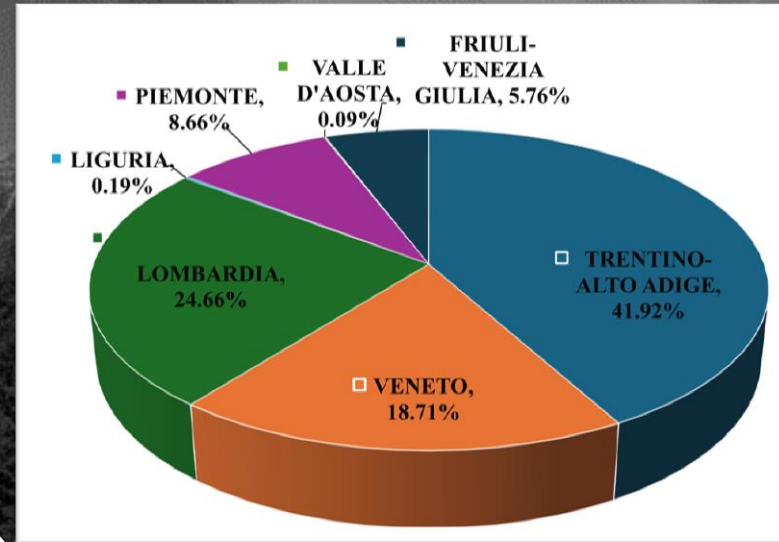
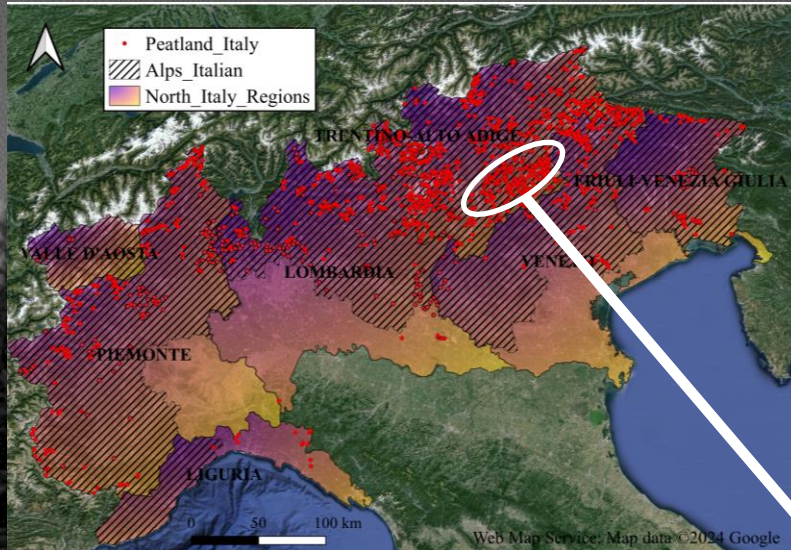
Obiettivo #1: MAPPARE



Qiqi Li, PhD student



Manudeo Singh, Newton International Fellow, Aberystwyth Univ., UK

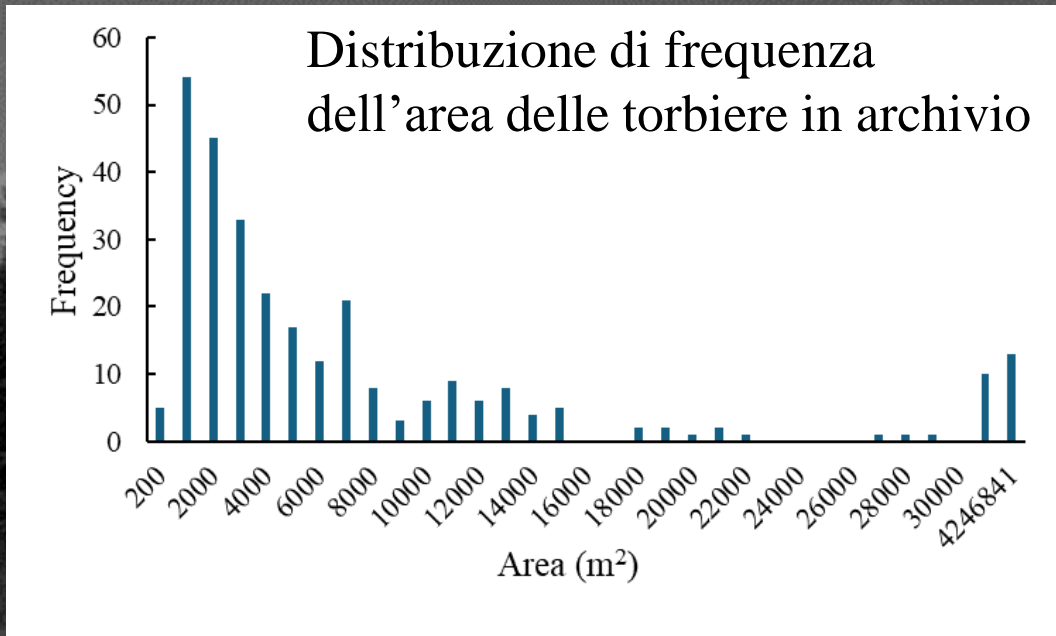


- Abbiamo raccolto e organizzato la cartografia digitale di **5782 torbiere alpine** presenti negli archivi nazionali (Siti Natura2000 + altre banche dati ufficiali)
- Superficie media < di **1 ettaro**

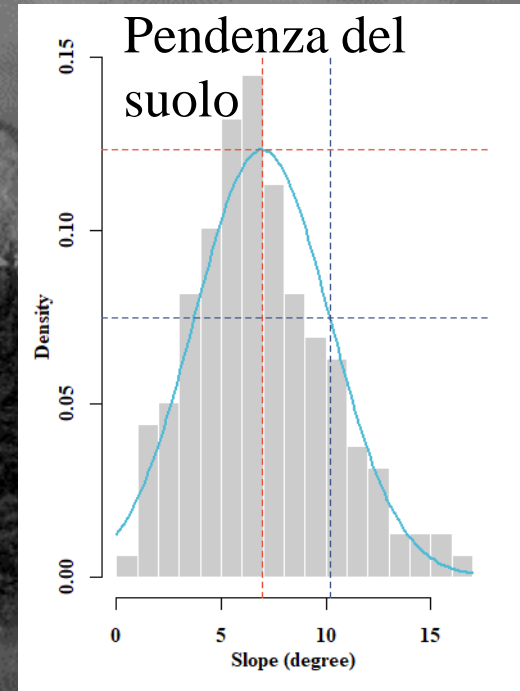
Sito di studio:

- Bacino del Avisio, Trentino Alto Adige
- archivio di 293 torbiere
- occupano un'area di 7.764 km²

Osservazioni utili

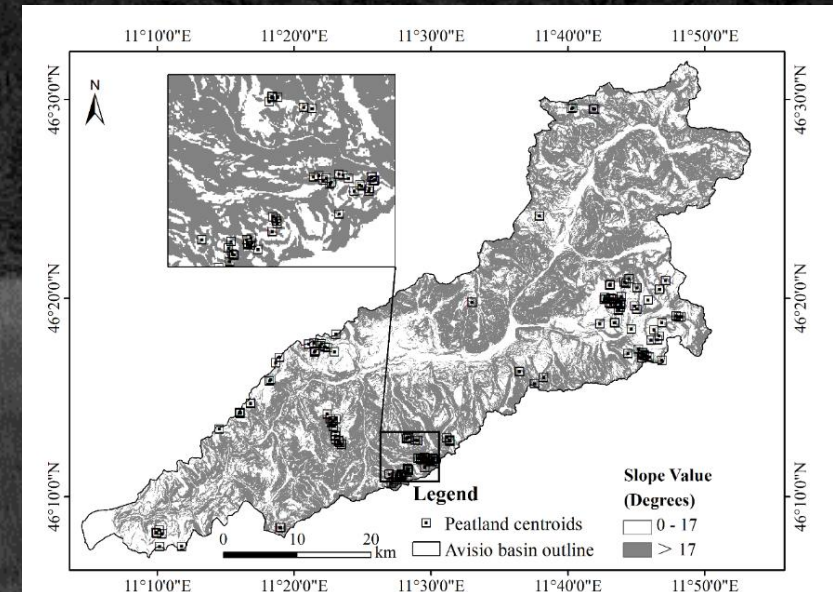


- Ci sono solo 4 torbiere con area minore di 200 m² (2% dell'archivio)
- L'89% dei siti ha area compresa tra 2000 m² to 22000 m²

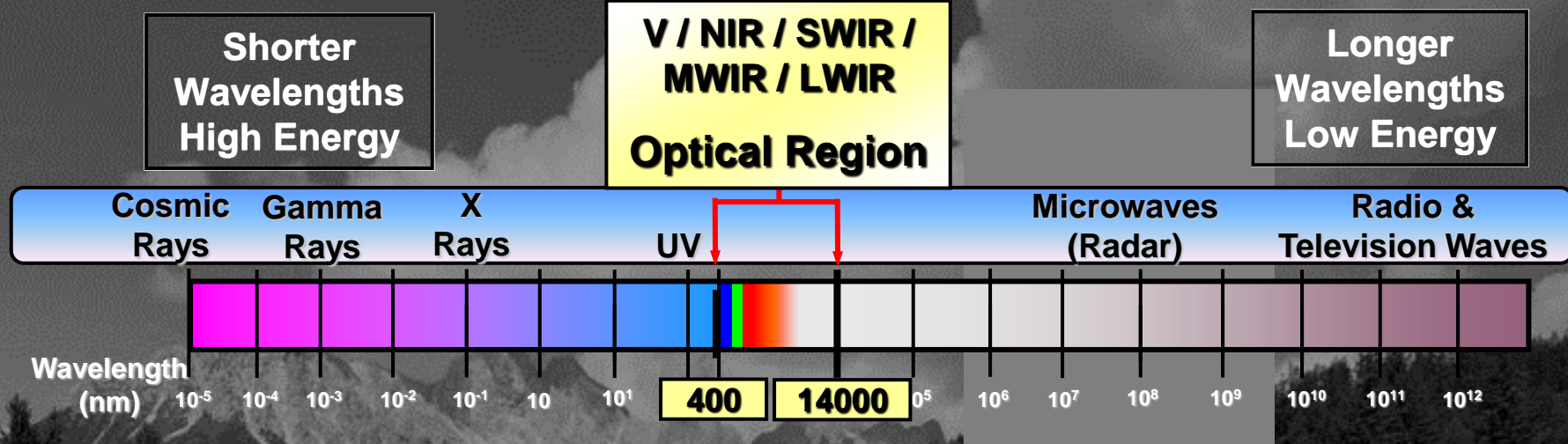
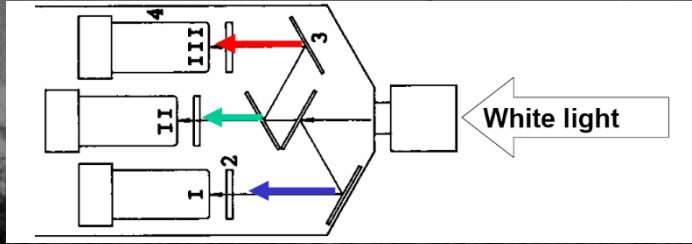


- La pendenza delle superfici delle torbiere si distribuisce attorno ai 7 gradi
- La pendenza NON supera i 17 gradi

- Consideriamo solo i territori con pendenza compresa tra 0 e 17 gradi
- Escluderemo tutti i siti classificati come torbiera ma con superficie < 200 m²



Concetto di banda spettrale



più bande = più informazione

MA

anche ridondanza di informazione e rumore

Pancromatic: one band

A diagram showing a single horizontal bar with a rainbow spectrum, representing one band of light.

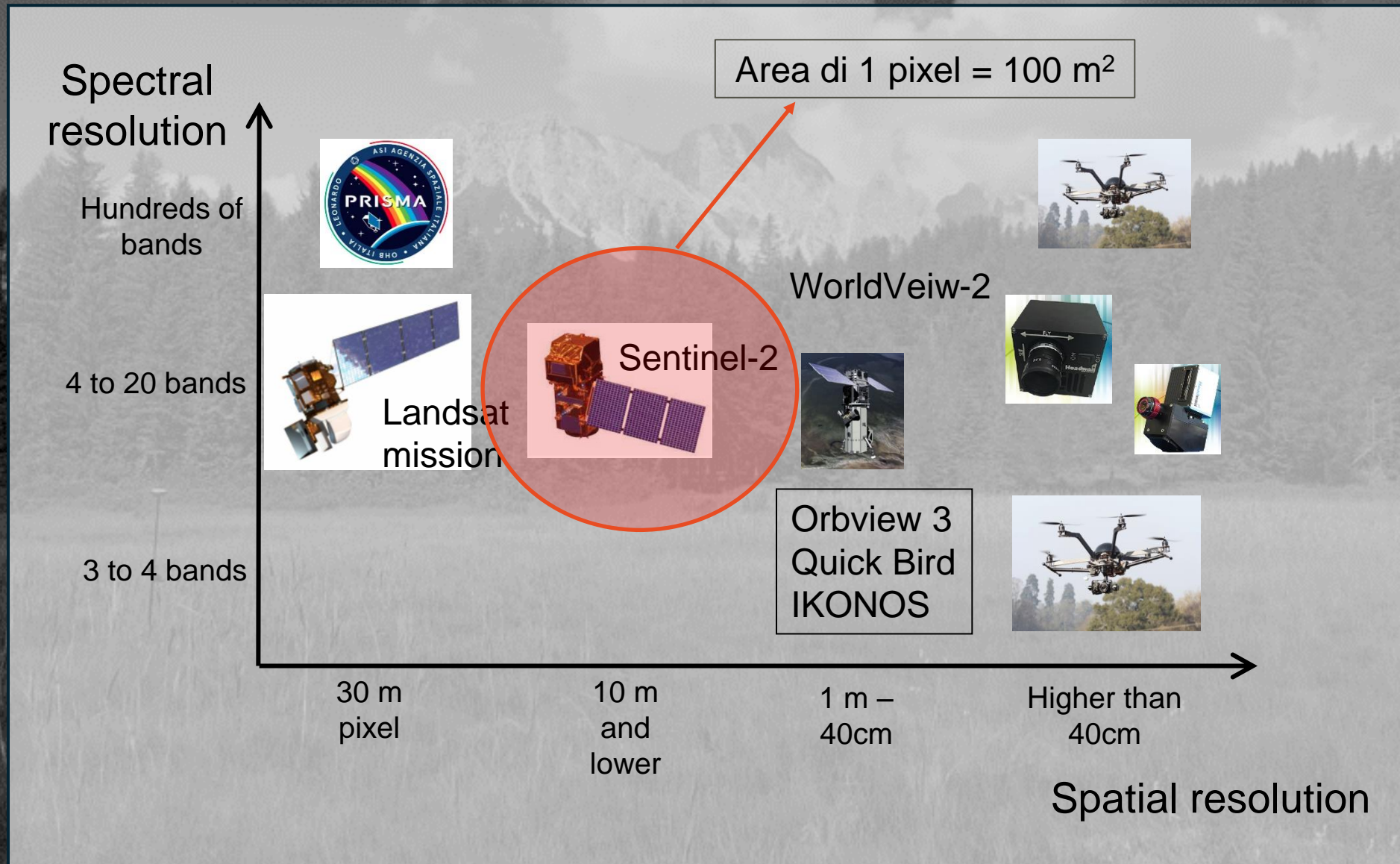
Multispectral: 2 or more bands

A diagram showing three discrete horizontal bars of different colors (rainbow, red, dark red) with semi-circular detectors above them, representing two or more bands.

Hyperspectral: hundreds of bands

A diagram showing a horizontal bar divided into many narrow segments, with a dense stack of semi-circular detectors above it, representing hundreds of bands.

Dati ottici



Dati ottici

Sentinel-2			
	Spectral bands	10 m	Blue, Green, Red, NIR
		20 m	Vegetation Red Edge (i.e., B5, B6, B7, B8A), SWIR1, SWIR2
	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	10 m	$((NIR - Red)) / (NIR + Red)$ (Rouse Jr et al. 1974)
	Enhanced Vegetation Index (EVI)	10 m	$2.5 \times ((NIR - Red)) / (NIR + 6 \times Red - 7.5 \times Blue + 1)$ (Huete et al. 2002)
	Normalized Difference Water Index (NDWI)	10 m	$((NIR - SWIR2)) / (NIR + SWIR2)$ (Gao 1996)
	Normalized Difference Snow Index (NDSI)	10 m	$((Green - SWIR1)) / (Green + SWIR1)$ (Hall et al. 1995)
	Shortwave infrared transformed reflection (STR)	10 m	$(1 - SWIR2)^2 / (2 \times SWIR2)$ (Sadeghi et al. 2017)

Multispectral: 2 or more bands



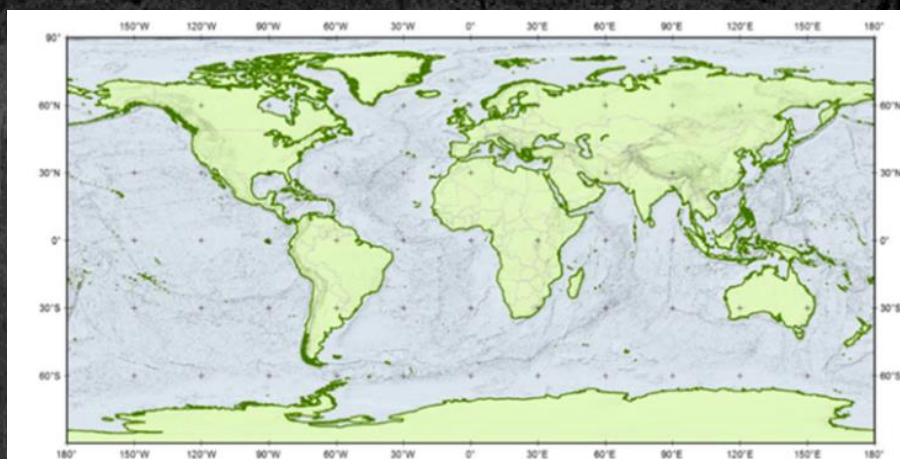
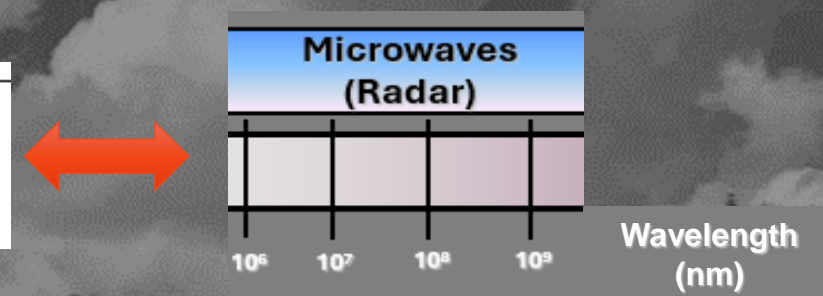
Indici spettrali

Dati da sensori attivi: radar e laser scanner

Sentinel-1	IW mode/ dual polarization bands	10 m	VV, VH ascending and descending VV-VH difference ascending and descending
------------	----------------------------------	------	--

GLO-30	DEM	30 m	Elevation, Slope, Hillshade, and other topographic and hydrological variables (Section 2.3.2)
--------	-----	------	---

Lidar Data	DEM	1 m	Elevation, Slope, Hillshade, and other topographic and hydrological variables
------------	-----	-----	---



Land surface coverage within Copernicus DEM – GLO-30 & GLO-90

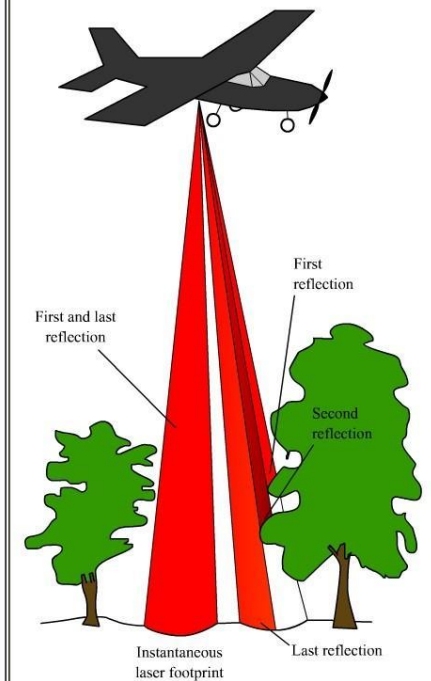
La missione COPERNICUS chiamata **TanDEM-X** ha permesso di sfruttare la tecnica dell'Altimetria Interferometrica (**Altimetry Interferometric Technique**) che utilizza 2 piattaforme satellitari, i.e. TanDEM-X e TerraSAR-X, che passano a piccola distanza tra loro sulla stessa porzione di territorio. La differenza di fase tra le due antenne permette di calcolare la **quota di ogni punto del terreno**. Con **accuratezza verticale** superiore ai **2m**

Dati da sensori attivi: radar e laser scanner

Sentinel-1	IW mode/ dual polarization bands	10 m	VV, VH ascending and descending VV-VH difference ascending and descending
------------	----------------------------------	------	--

GLO-30	DEM	30 m	Elevation, Slope, Hillshade, and other topographic and hydrological variables (Section 2.3.2)
Lidar Data	DEM	1 m	Elevation, Slope, Hillshade, and other topographic and hydrological variables

Il laser scanner LiDAR



Un sistema **LIDAR** può emettere **> 100,000 impulsi al secondo**. Ogni impulso viaggia alla velocità della luce c ($3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$).

Misurando accuratamente il **tempo t** che il segnale impiega per tornare al sensore, si calcola la **distanza s** :

$$t = 2s/c$$

$$s = \frac{1}{2} tc$$

Conoscendo la posizione del velivolo (tramite DGPS), possiamo estrarre x, y, z di ogni punto a terra.

L'importanza di avere un DEM (Digital Elevation Model)

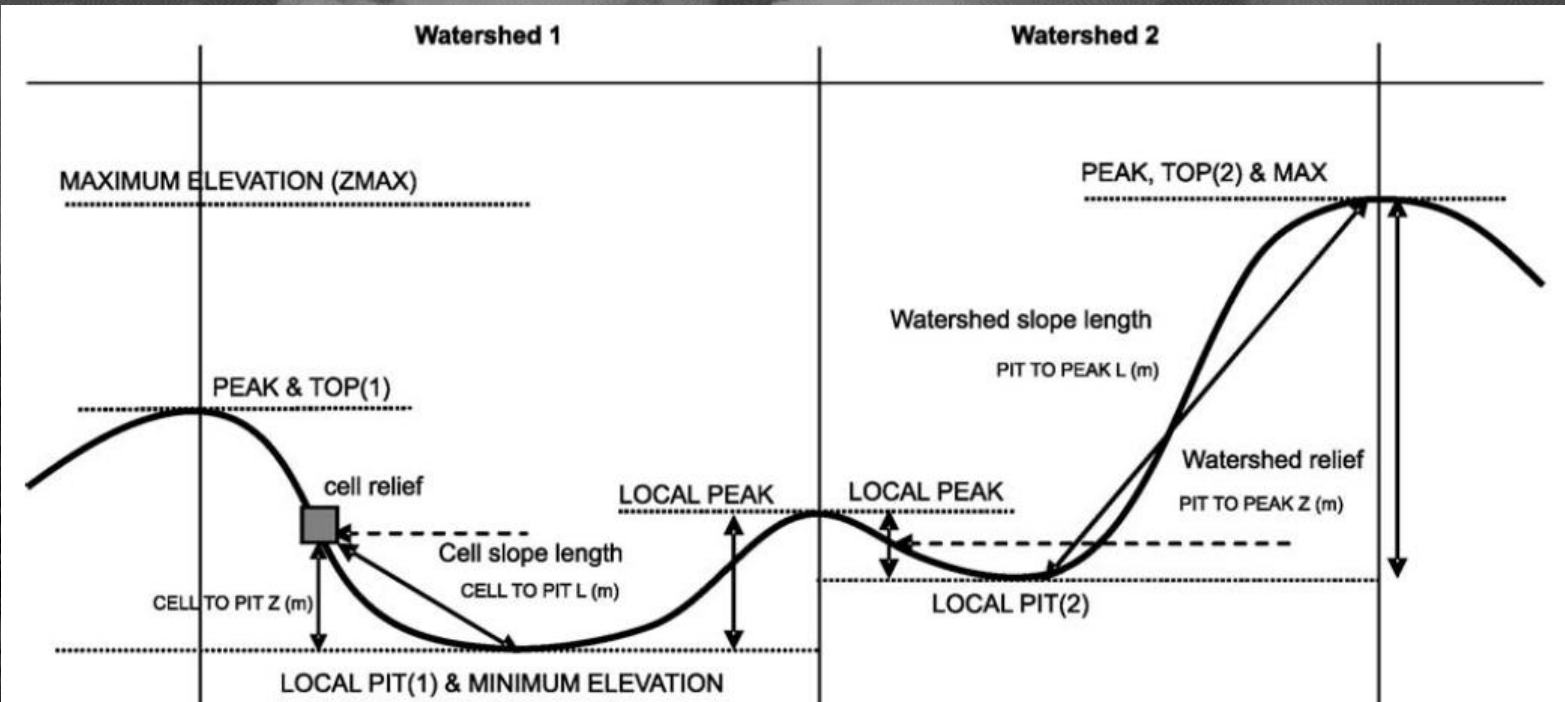
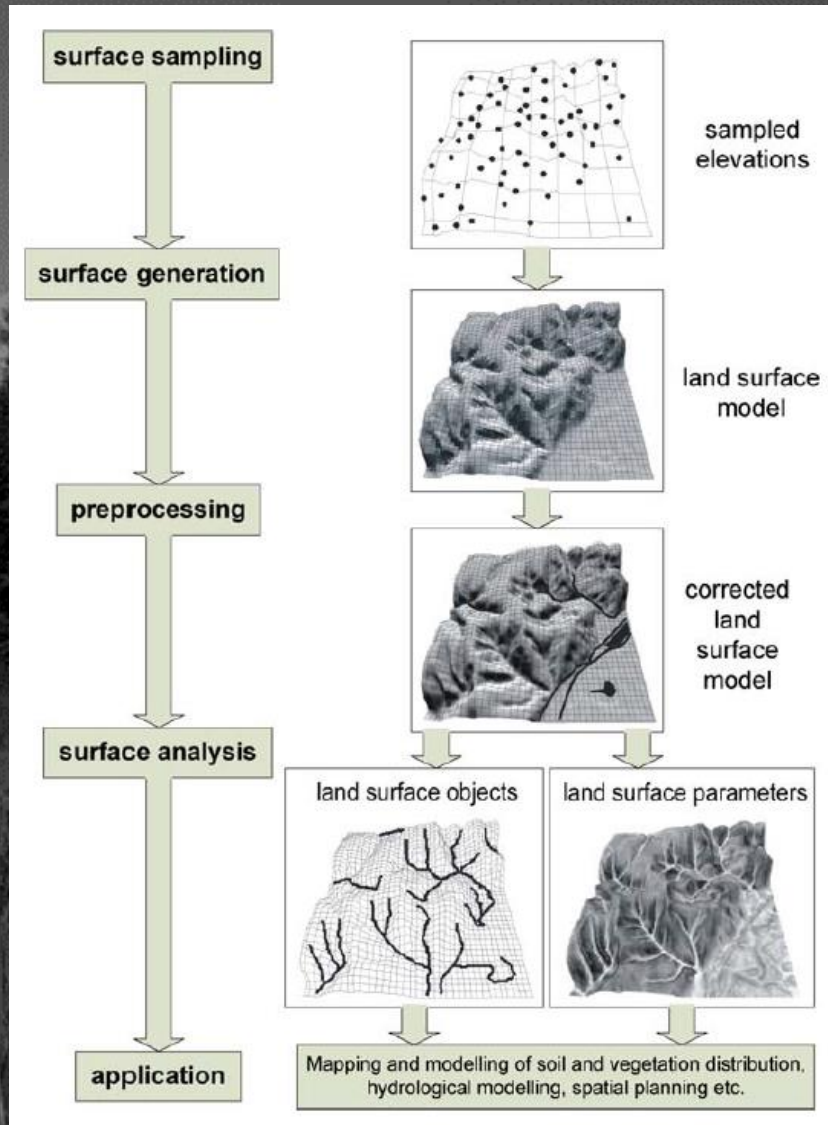
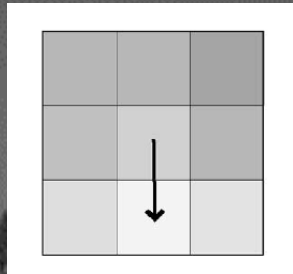


FIGURE 18 A schematic definition of horizontal (L) and vertical (Z) distances to local pits/streams and peaks/ridges. Courtesy of Robert A. MacMillan.

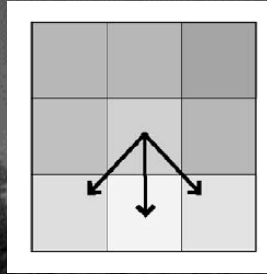
Alcune delle caratteristiche più significative da estrarre dai dati DEM sono la pendenza, l'esposizione, la curvatura della superficie, la rugosità del terreno e la distanza dai corpi idrici

Topografia e acqua !!

In quale direzione flusce l'acqua?

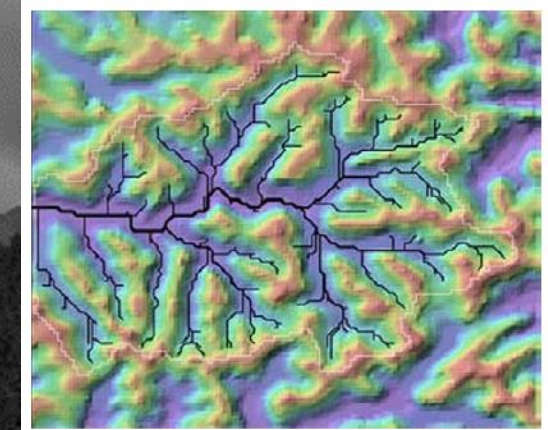
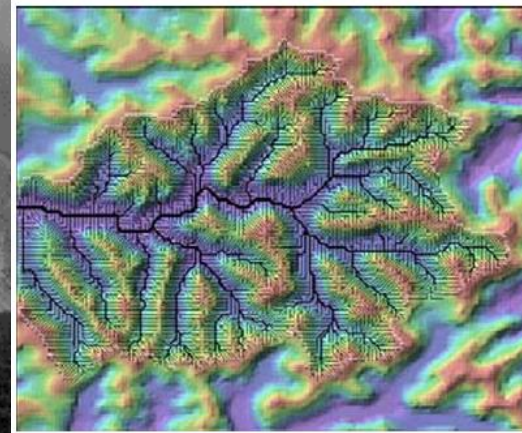


Single flow direction



Multiple flow directions

Possiamo individuare la rete dei canali?



Channel Network extraction:
griglia con la rete dei corsi d'acqua

CHNL_BASE
Interpolazione della quota dei livelli di base della rete dei canali

CHNL_DIST
distanza di ogni punto della griglia dal livello di base interpolato

Table S2. The definition of topographic and hydrological indices in the study

Indices	Definition and reference
Channel Network Baselevel (CHNL_BASE)	$B = \min(E(x))$ <p>where B is the base level. $E(x)$ is the elevation profile function of the river along its course x (Olaya and Conrad 2009).</p>
Channel Network Distance (CHNL_DIST)	$D = \sum_{i=1}^n L_i$ <p>where D represents the total channel network distance. L_i is the length of each individual channel segment within the network. n is the total number of channel segments (Olaya and Conrad 2009).</p>
Terrain Surface Texture (TEXTURE)	$T = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}$ <p>where N is the total number of height measurements or sample points. h_i is the height of the terrain at the i-th sample point. \bar{h} is the mean height of the terrain surface (Iwahashi and Pike 2007).</p>
Relative Slope Position (RSP)	$RSP = \frac{h - h_{min}}{h_{max} - h_{min}} \times 100$ <p>where h is the elevation or height of the point of interest. h_{min} is the minimum elevation in the neighborhood around the point. h_{max} is the maximum elevation in the same neighborhood (Böhner and Selige 2006).</p>

Topografia e acqua !!

TEXTURE

misure della complessità spaziale data dalla densità di drenaggio e dai cambiamenti di pendenza o della curvatura per unità di area.

RELATIVE SLOPE POSITION (RSP)

h è la quota del punto di interesse, h_{min} è la quota minima nell'intorno del punto (3x3 pixels), e h_{max} è la quota massima nello stesso intorno.

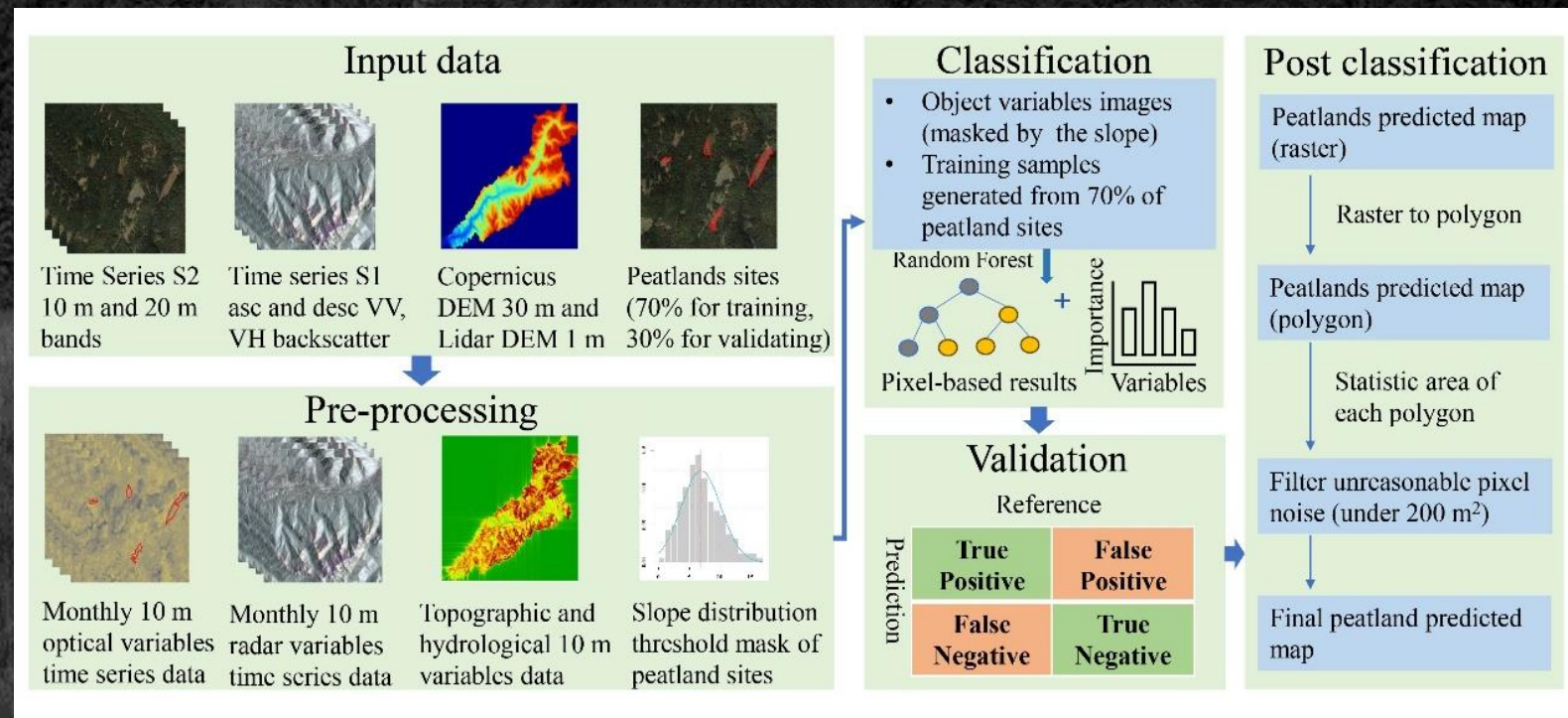
Table S2. The definition of topographic and hydrological indices in the study|

Indices	Definition and reference
Channel Network Baselevel (CHNL_BASE)	$B = \min(E(x))$ where B is the base level. $E(x)$ is the elevation profile function of the river along its course x (Olaya and Conrad 2009).
Channel Network Distance (CHNL_DIST)	$D = \sum_{i=1}^n L_i$ where D represents the total channel network distance. L_i is the length of each individual channel segment within the network. n is the total number of channel segments (Olaya and Conrad 2009).
Terrain Surface Texture (TEXTURE)	$T = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}$ where N is the total number of height measurements or sample points. h_i is the height of the terrain at the i -th sample point. \bar{h} is the mean height of the terrain surface (Iwahashi and Pike 2007).
Relative Slope Position (RSP)	$RSP = \frac{h - h_{min}}{h_{max} - h_{min}} \times 100$ where h is the elevation or height of the point of interest. h_{min} is the minimum elevation in the neighborhood around the point. h_{max} is the maximum elevation in the same neighborhood (Böhner and Selige 2006).

Classificazione controllata di tipo Random Forest

La **Random Forest** é una **classificazione «controllata»** vale a dire che va fatto un **training all'algoritmo** in modo che «**impari**» a **classificare** i pixel di un'immagine, attribuendo ad ogni pixel una «**classe**», ad esempio classe «**BOSCO**», classe «**TORBIERA**», classe «**PRATO**», ecc.

Nel caso delle immagini di Danta abbiamo usato **34 features (bande, indici vegetazionali, DEM, ecc.)** per riconoscere la classe "Torbiera" e distinguerla da tutto il resto (usando sia un **approccio binario** che un **approccio multi-classe con altre 5 classi**). In totale abbiamo analizzato **635 immagini di Sentinel-1 (S1) SAR** (Synthetic Aperture Radar) e **526 Immagini di Sentinel-2 (S2)**.



Risultati

Abbiamo provato diversi modelli di classificazione e abbiamo individuato essere più efficace quello che combina:

- immagini Sentinel collezionate in un singolo anno (da maggio a ottobre)
- un risultato di tipo binario
- un DEM a 30 m.

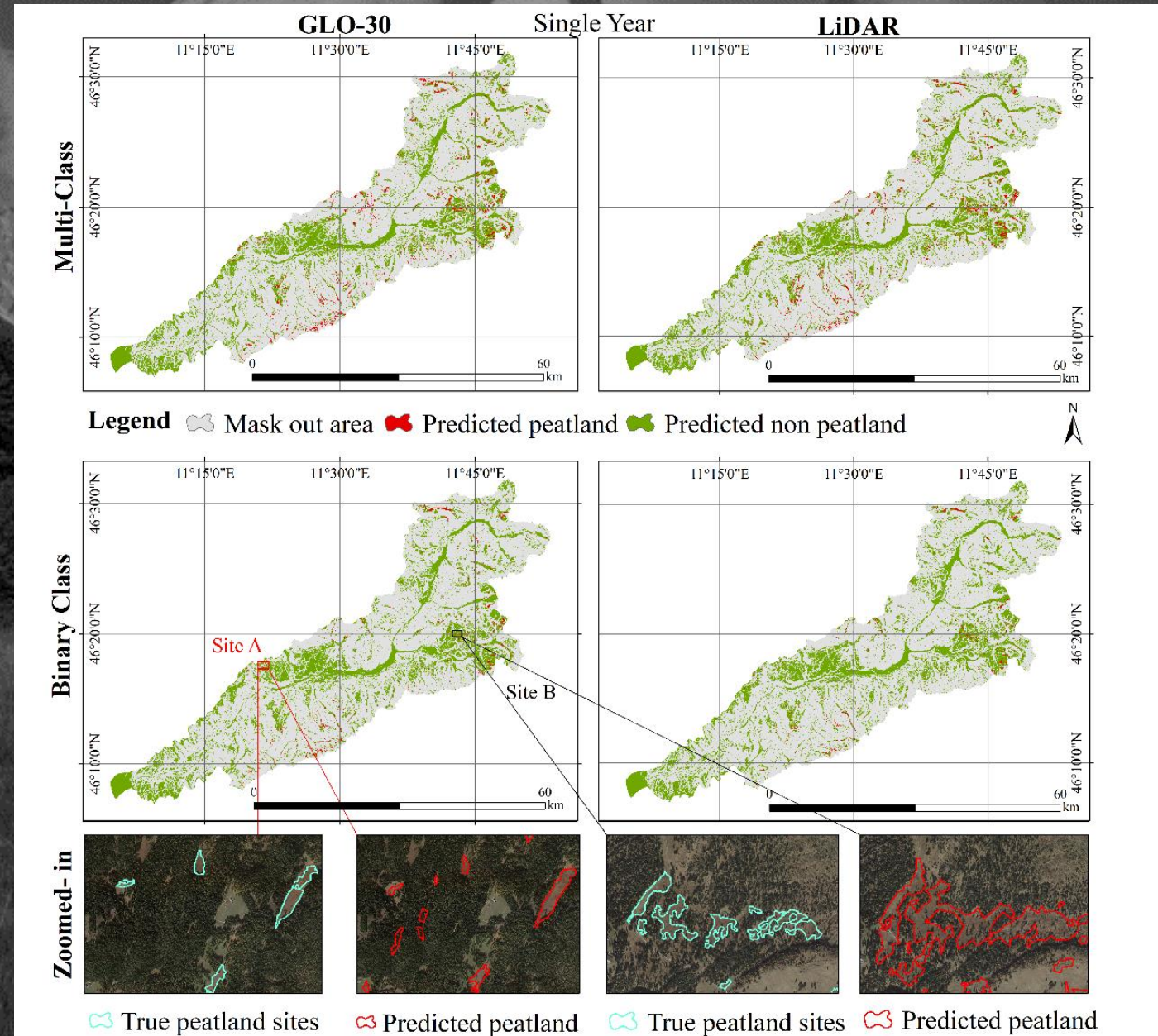
Sovrastimiamo ...

Risultato ottenuto:

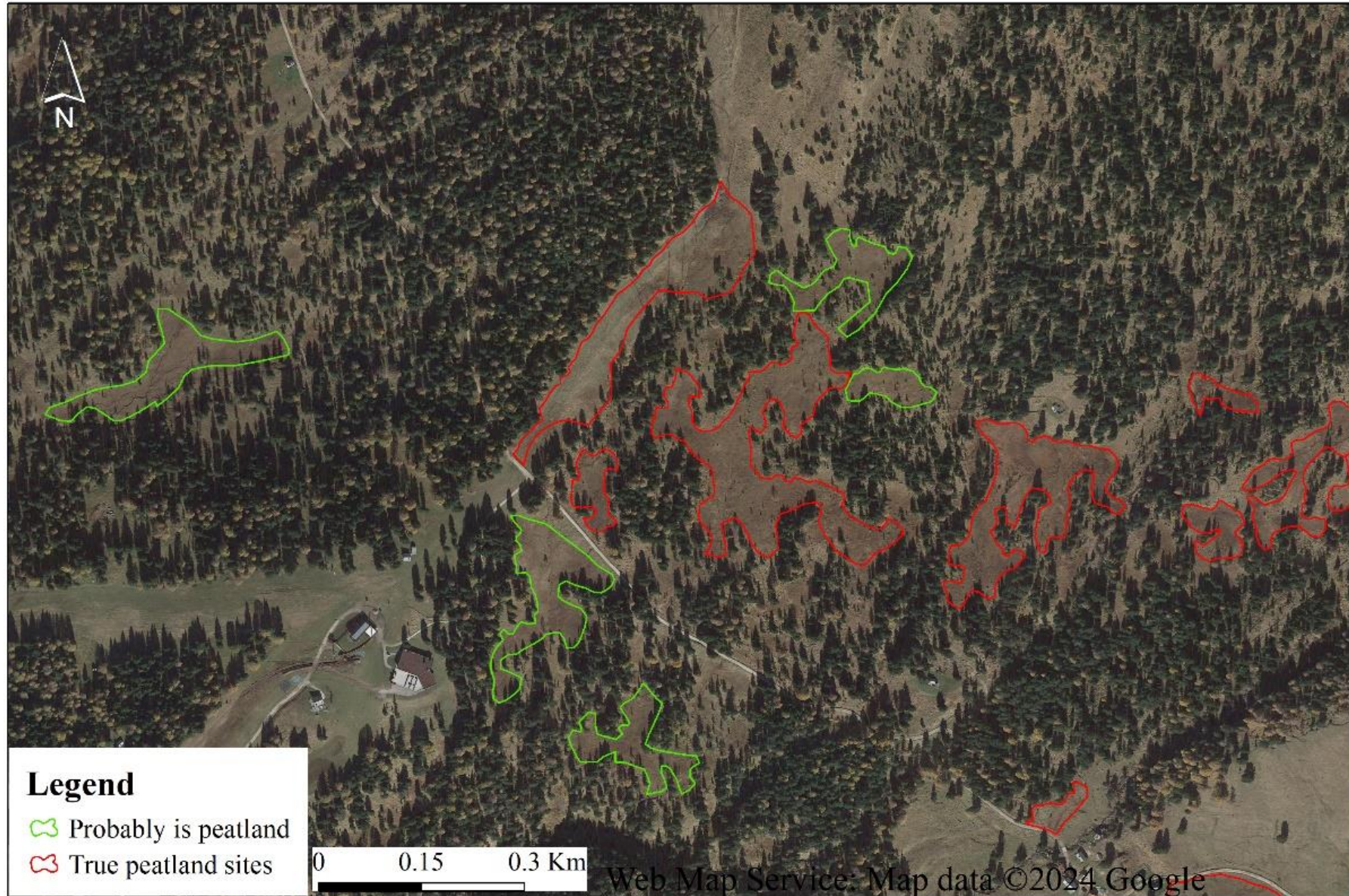
- 1565 torbiere
- superficie tot = 11,635 km²

Archivio della Provincia:

- 293 torbiere
- superficie tot = 7,764 km²



Risultati



Considerazioni finali sulla MAPPATURA delle TORBIERE ALPINE (per ora ...)

- Le **TORBIERE ALPINE** si sono rivelate **molto difficili da mappare** con dati satellitari, perché sono di **piccole dimensioni**, distribuite in modo **non uniforme** su un **territorio molto vasto** e caratterizzato dalla presenza di **versanti molto scoscesi con orientamento variabile**.
- Un approccio basato sull'utilizzo di vari sensori satellitari produce buoni risultati, va però sottolineato come il dato che si è rivelato più utile per la mappatura delle torbiere sia il **Modello Digitale del Terreno (DTM)**.



Obiettivo #2: **BIOMASSA**

Con i dati **LiDAR** però possiamo fare di più ...

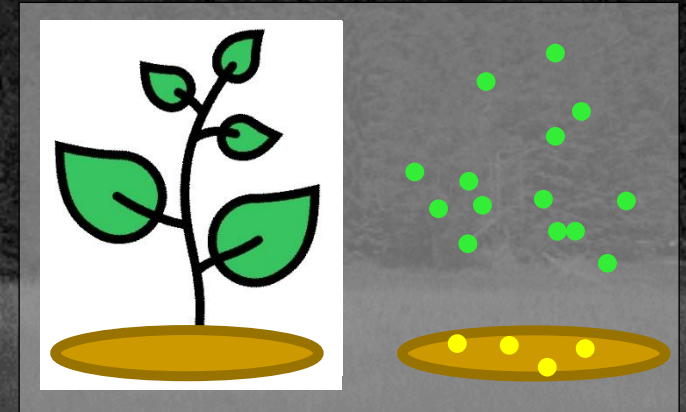
LAI = Leaf Area Index

é metà della superficie fogliare totale per unità di superficie proiettata al suolo

$$LAI = \frac{\frac{1}{2} \text{ sup. fogliare } [m^2]}{\text{ area proiez. a terra } [m^2]}$$

Ogni impulso laser può generare uno o **più ritorni**.

La distribuzione dei ritorni può essere usata per descrivere la **struttura della vegetazione**, proporzionale alla copertura fogliare e alla biomassa



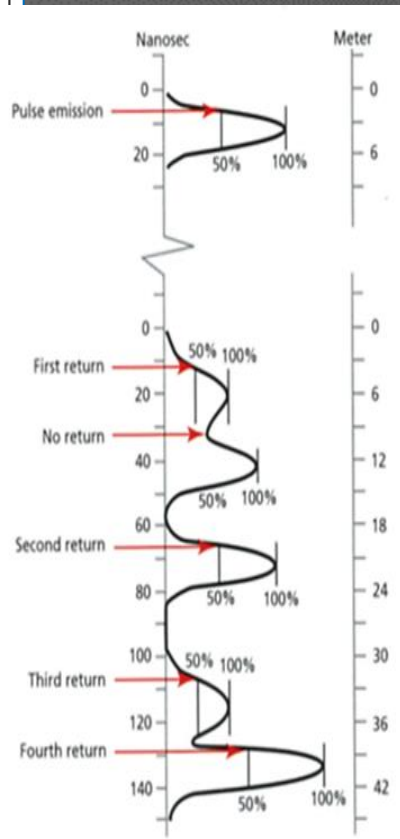
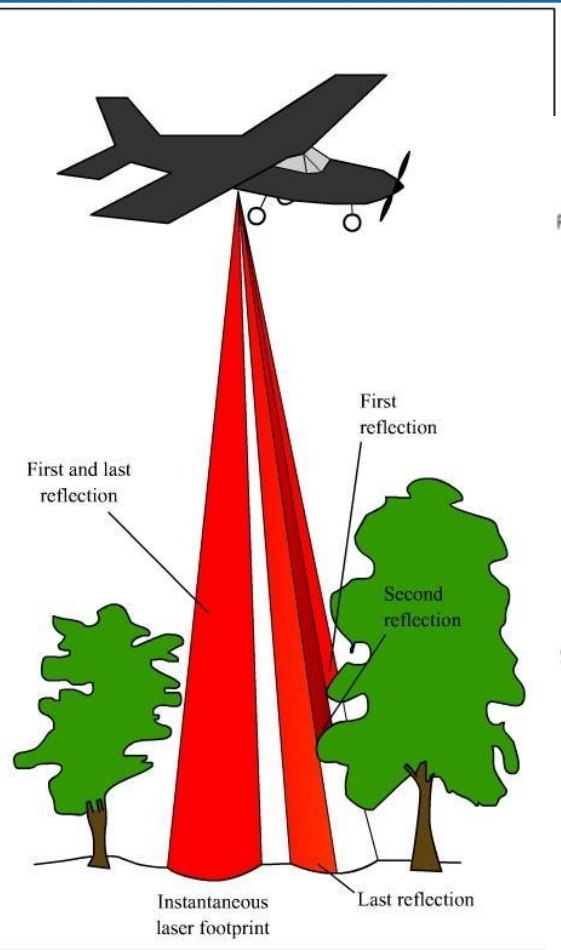
$$P(\theta) = \exp\left(\frac{-G(\theta) LAI}{\cos \theta}\right)$$

Houldcroft et al., 2005

$P(\theta)$ = probabilità che gli impulsi LiDAR raggiungano il suolo

θ = LiDAR view zenith angle

$G(\theta)$ = area fogliare "effettiva" utile per intercettare gli impulsi LiDAR



<http://isepei.org/case-studies/krf/application-multi-sensor-remote-sensing-sajo-valley>

Con i dati **LiDAR** però possiamo fare di più ...

$$LAI = -\frac{\cos(\theta)}{k} * \ln(Rg/Rt) \approx -\frac{1}{0.5} * \ln(Rg/Rt)$$

Richardson et al., 2009

k = coefficiente di estinzione

Rg = ritorni dal suolo

Rt = ritorni totali

assumendo:

- spherical leaf angle distribution, quindi $k \approx 0.5$
- θ é piccolo ≈ 0

LAI permette di:

- inferire la capacità fotosintetica delle piante;
- stimare l'evapotraspirazione;
- stimare la **biomassa epigea**.



LiDAR + RGB

DJI Zenmuse L1:

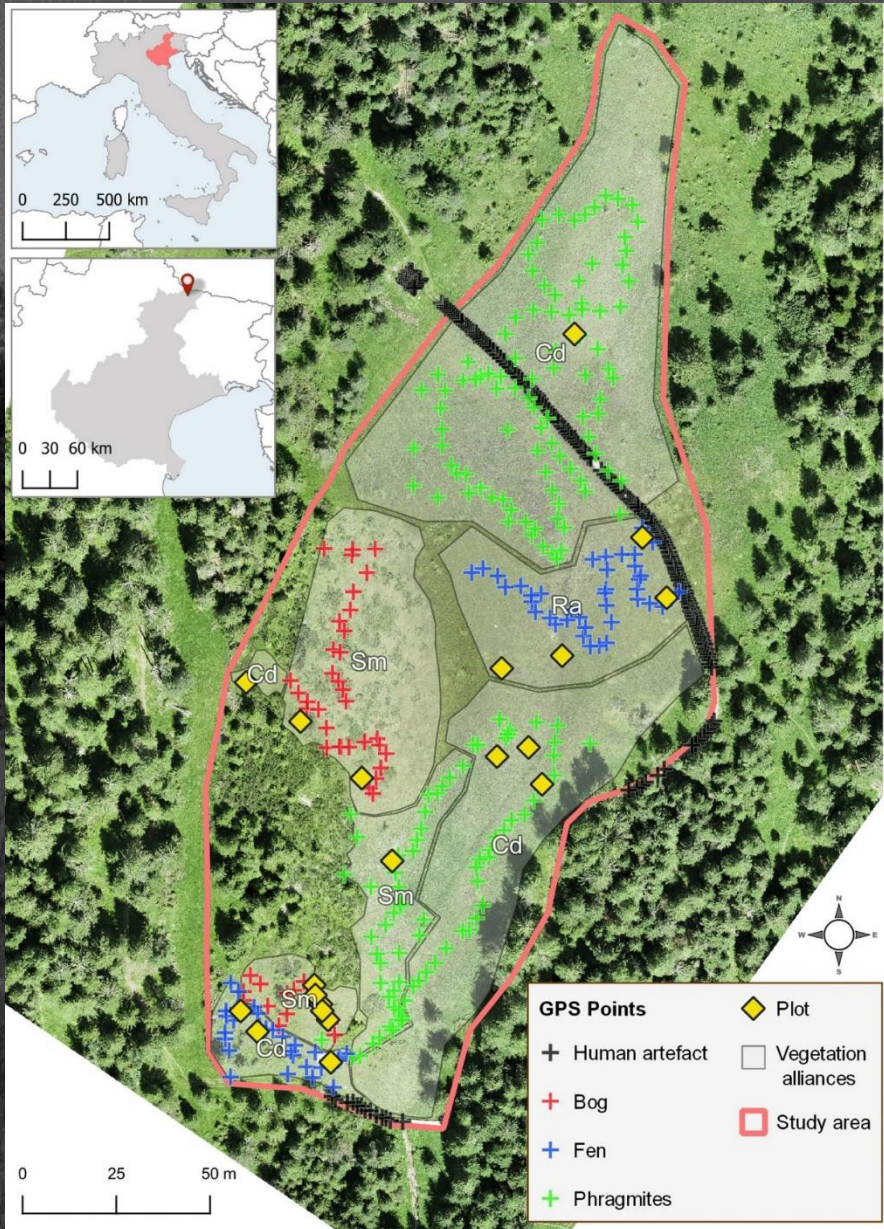
- Livox Lidar-Module (3 returns per beam)
- RGB camera

Hyperspectral

Nano Hyperspec® VNIR sensor:

- 273 bands
- 400-1000 nm
- Pixel size 40 cm

Sito di studio: Danta di Cadore



Marco Assiri



Anna Sartori



+

Osservazioni di campo
20 siti di misura e campionamento

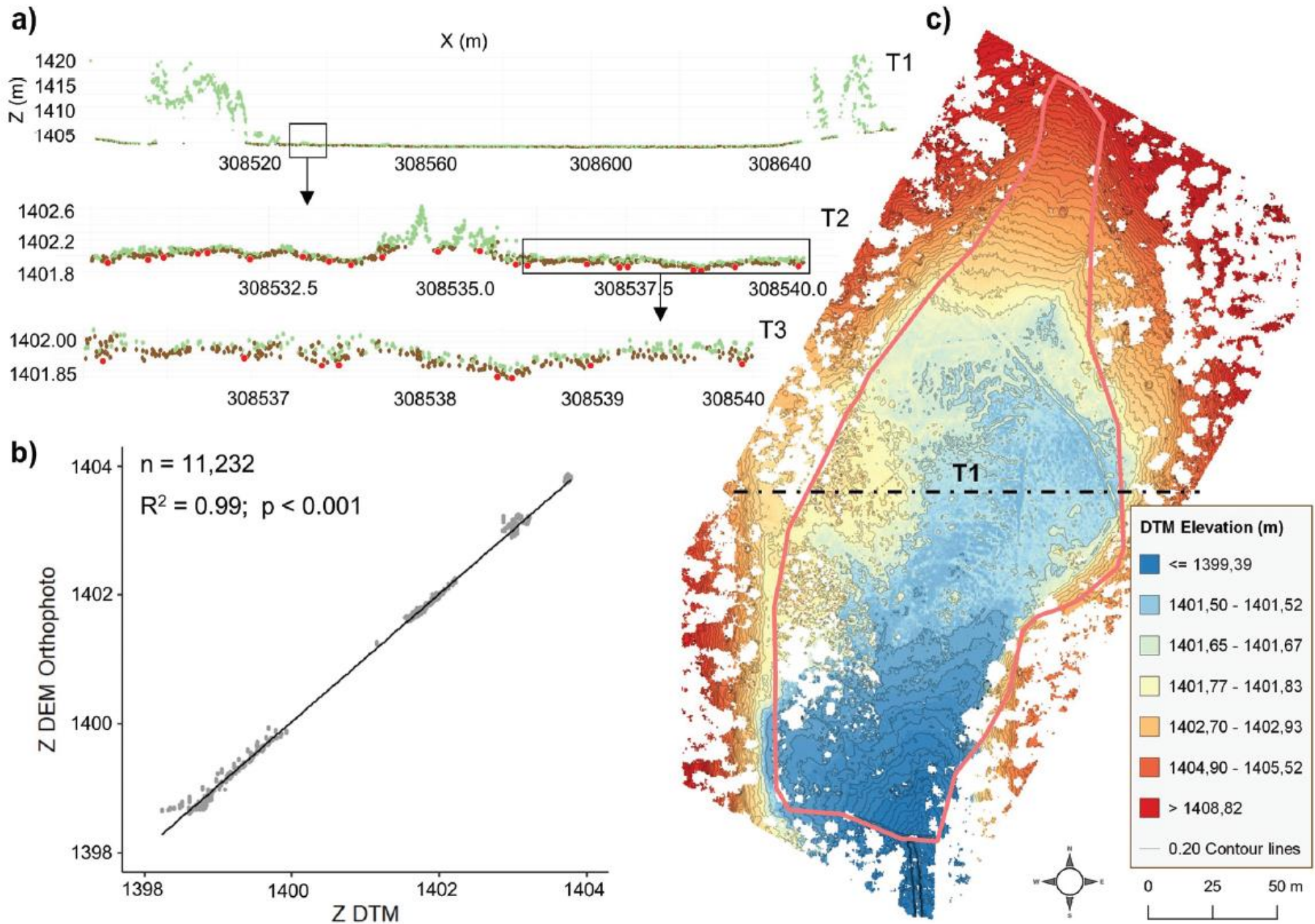
- Species composition
- Bulk density
- AG&BG biomass
- Carbon content
- Vegetation height
- 5 piezometers
- Tea Bag Index method

+

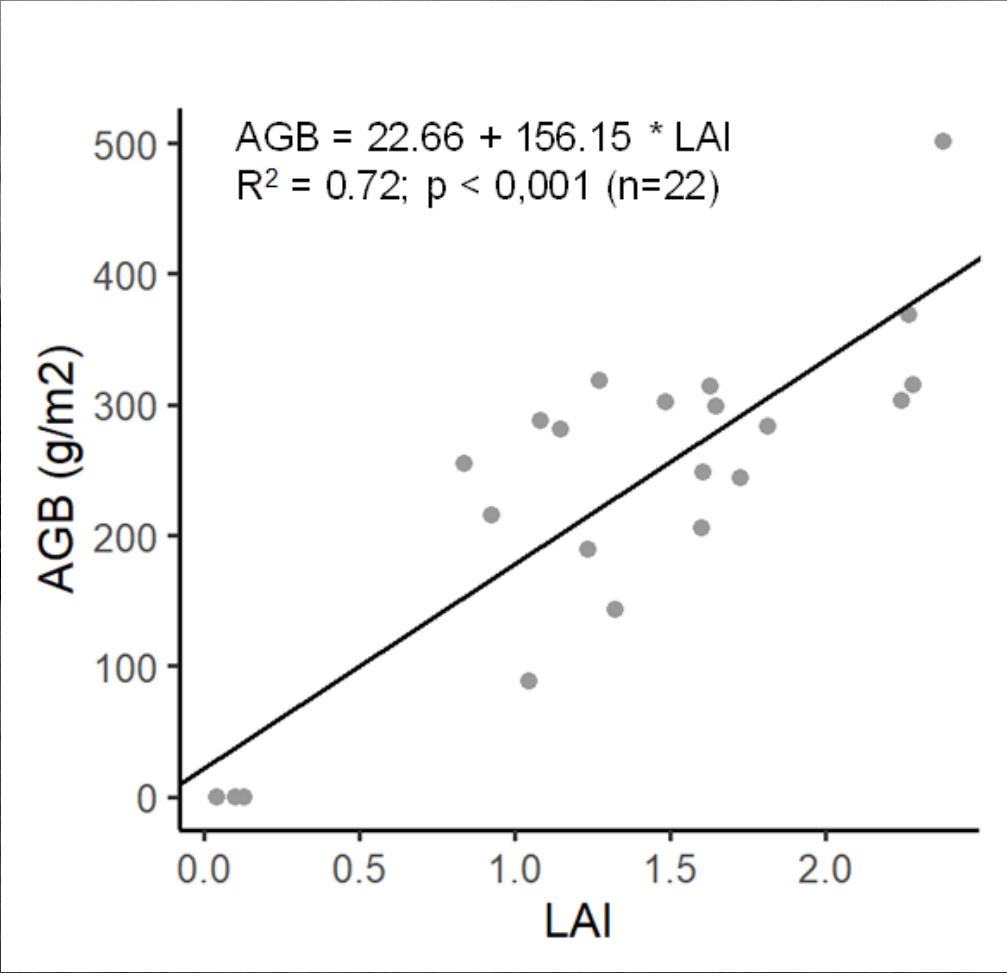
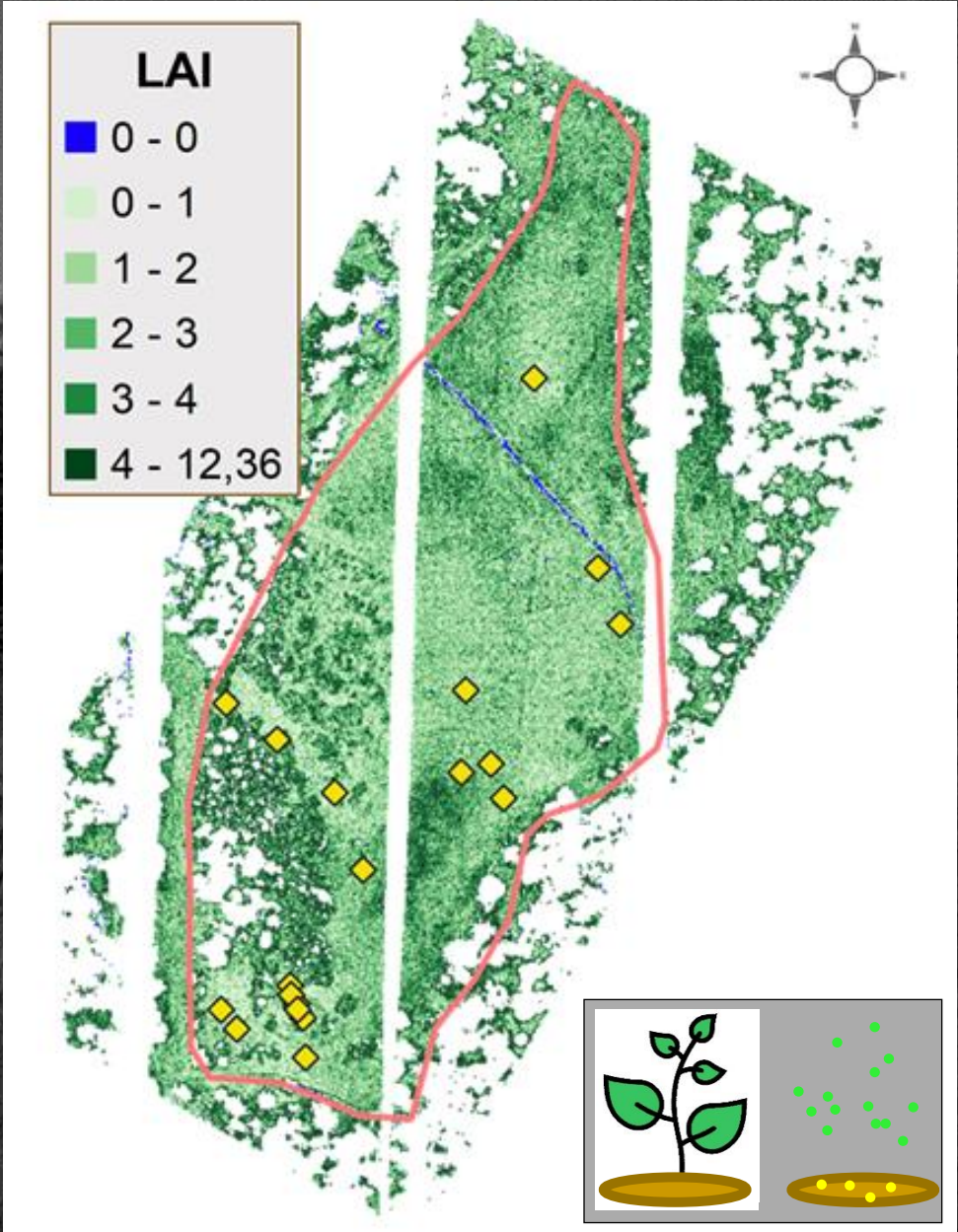
n = 529 RTK-GNSS points

CHANGED Project: "CHAracteriziNG pEatlands from Drones"
Finanziato dall'Università di Padova – Programma STARS

DEM (Digital Elevation Model) estratto da LiDAR da drone



Stimiamo il LAI con i dati LiDAR... e poi la BIOMASSA EPIGEEA



Stimiamo la BIOMASSA EPIGEA usando il LAI da LiDAR + un indice spettrale da sensore iperspettrale

Usiamo un modello di regressione lineare multipla per testare diversi preditori :

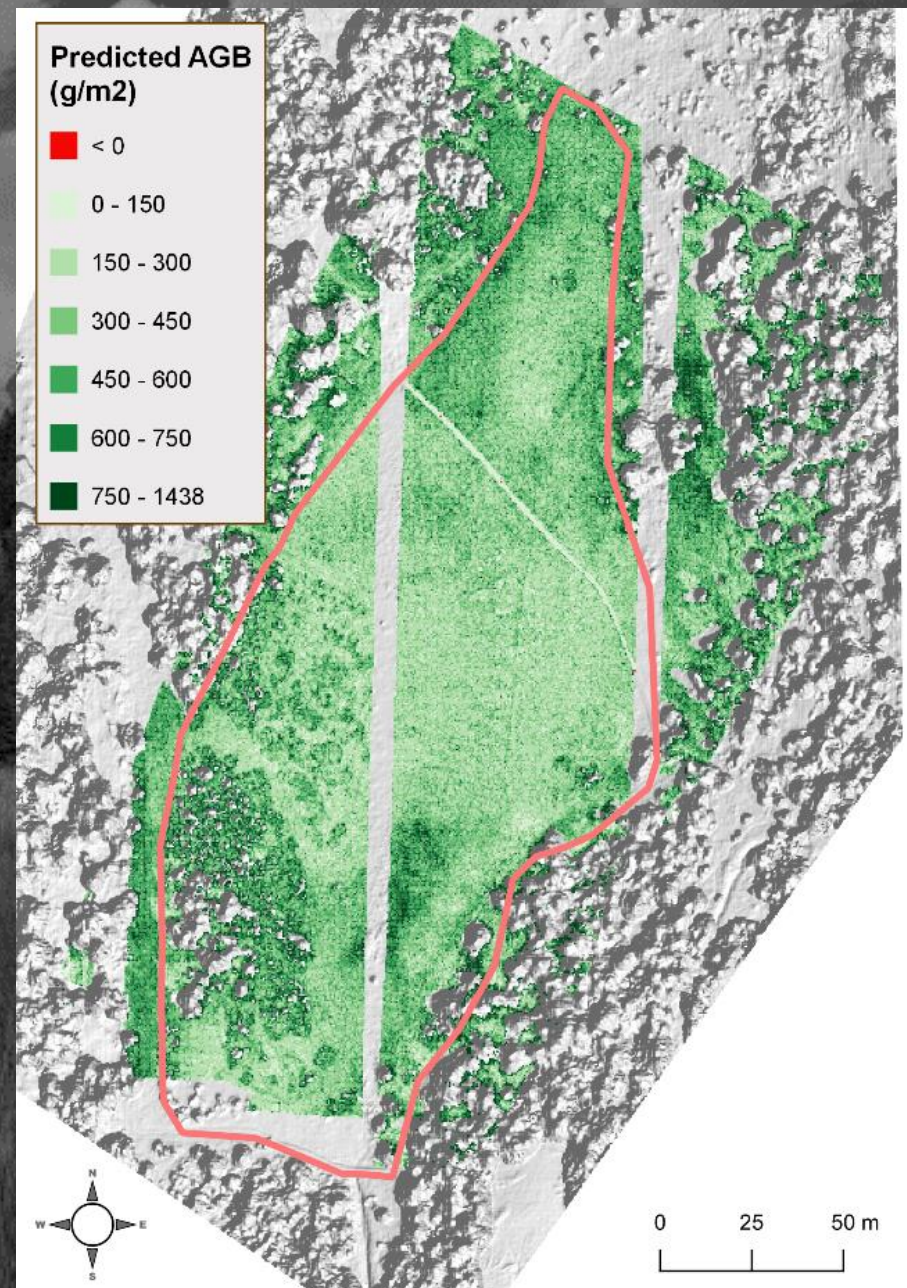
- ❖ Morphological metrics (Slope and Topographic Position Index (TPI); Topographic Wetness Index (TWI); Channel Network Distance (CND); Valley Depth (VD)).
- ❖ Hyperspectral indices (HNDVI; NDWI; Wet; **DD**; OSAVI2)
- ❖ LiDAR derived **LAI**
- ❖ RGB-photo derived indices (ExGR, NGRDI)

$$AGB = 9.786 + 106.996 * LAI + 1239.529 * DD$$

$$(R^2 = 0.76; p < 0.001)$$

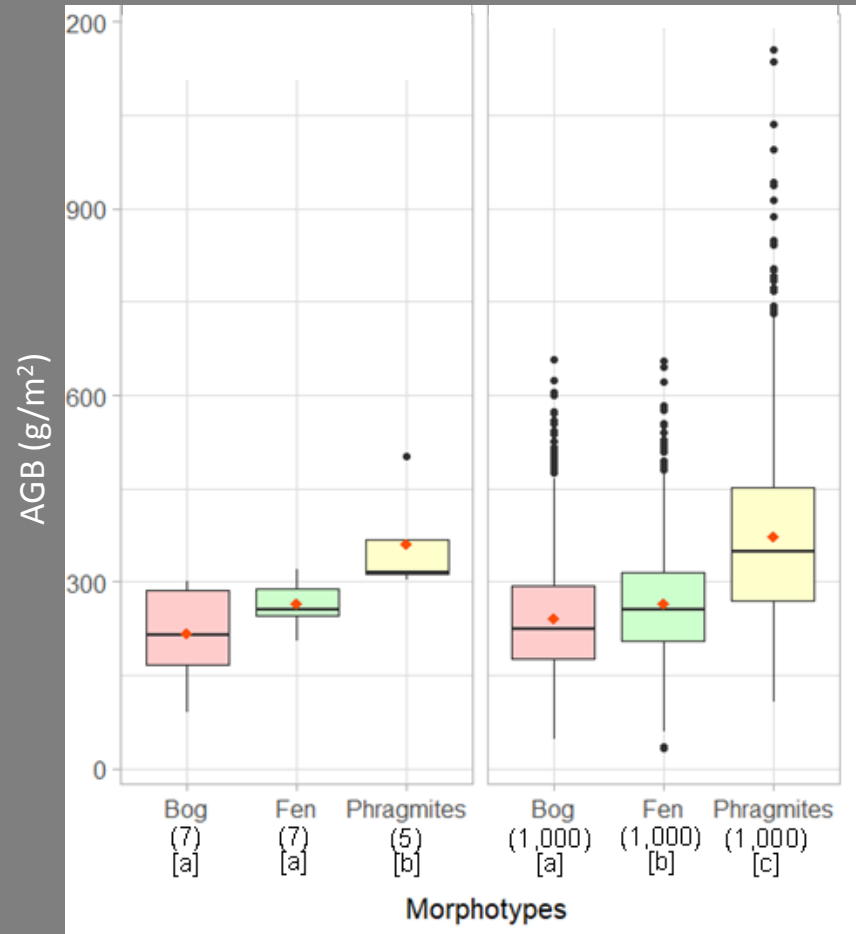
$$\text{where } DD = (\rho_{749} - \rho_{720}) - (\rho_{701} - \rho_{672})$$

le Maire and Dufrêne 2004

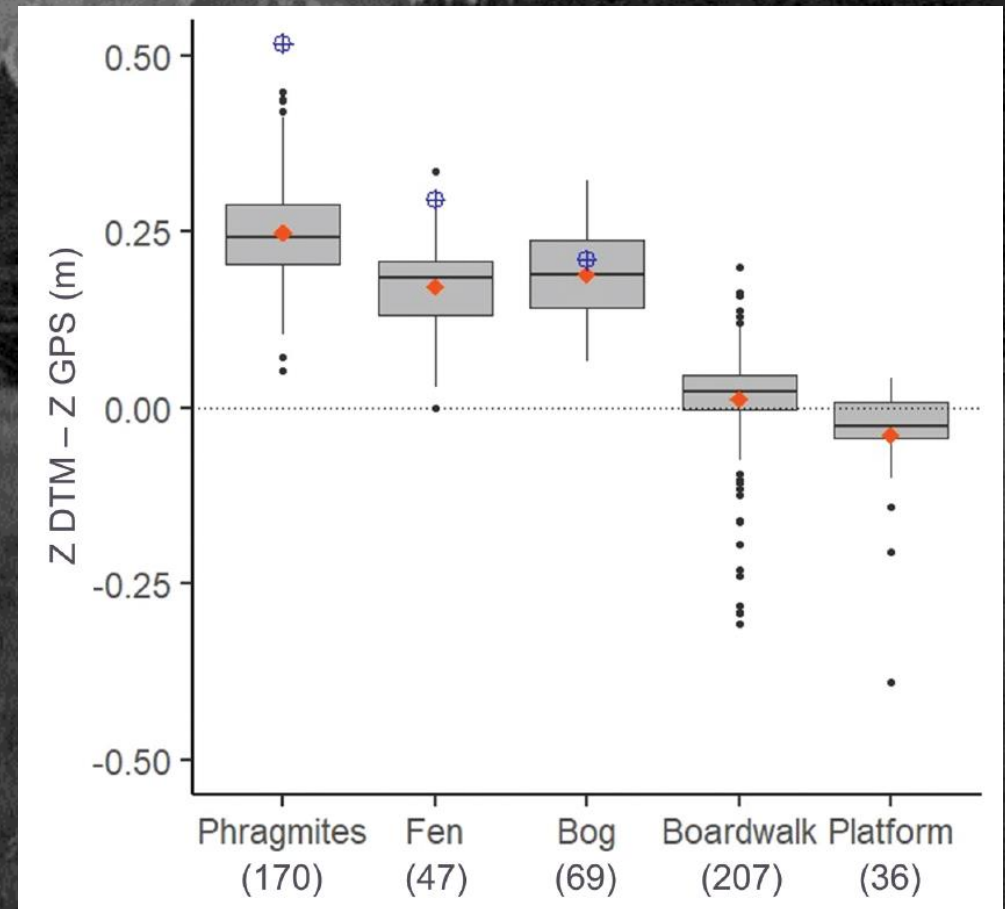


Considerazioni finali su risultati e accuratezza

Confronto della BIOMASSA EPIGEA misurata in campo con quella estratta utilizzando 1000 siti random ubicati sulla mappa finale di AGB per le diverse categorie vegetazionali



Il DTM estratto da LiDAR da drone è molto accurate sui suoli nudi o le strutture artificiali, ma sovrastima la quota nelle zone vegetate e tale sovrastima è correlata positivamente con l'Altezza della vegetazione



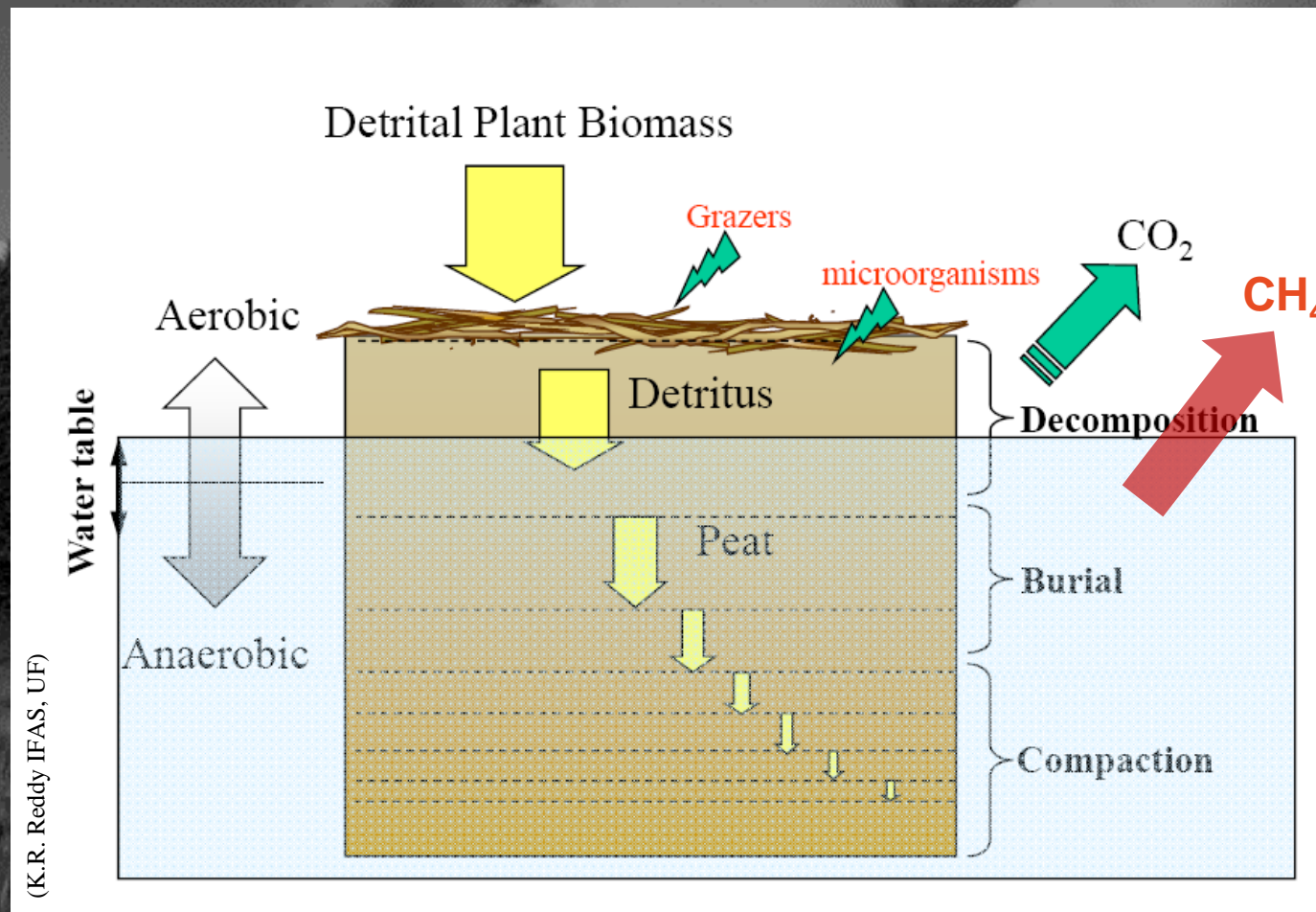
Considerazioni finali sulla stima della BIOMASSA EPIGEA della torbiera

- La **BIOMASSA EPIGEA** delle torbiere alpine può essere stimata in modo accurato utilizzando **dati da drone + pochi rilievi in campo**
- Un approccio basato sull'utilizzo di vari sensori produce buoni risultati, va però sottolineato come lo strumento che si è rivelato più utile per stimare la BIOMASSA EPIGEA è il **LiDAR da drone**.



Obiettivo #3: **CARBONIO**

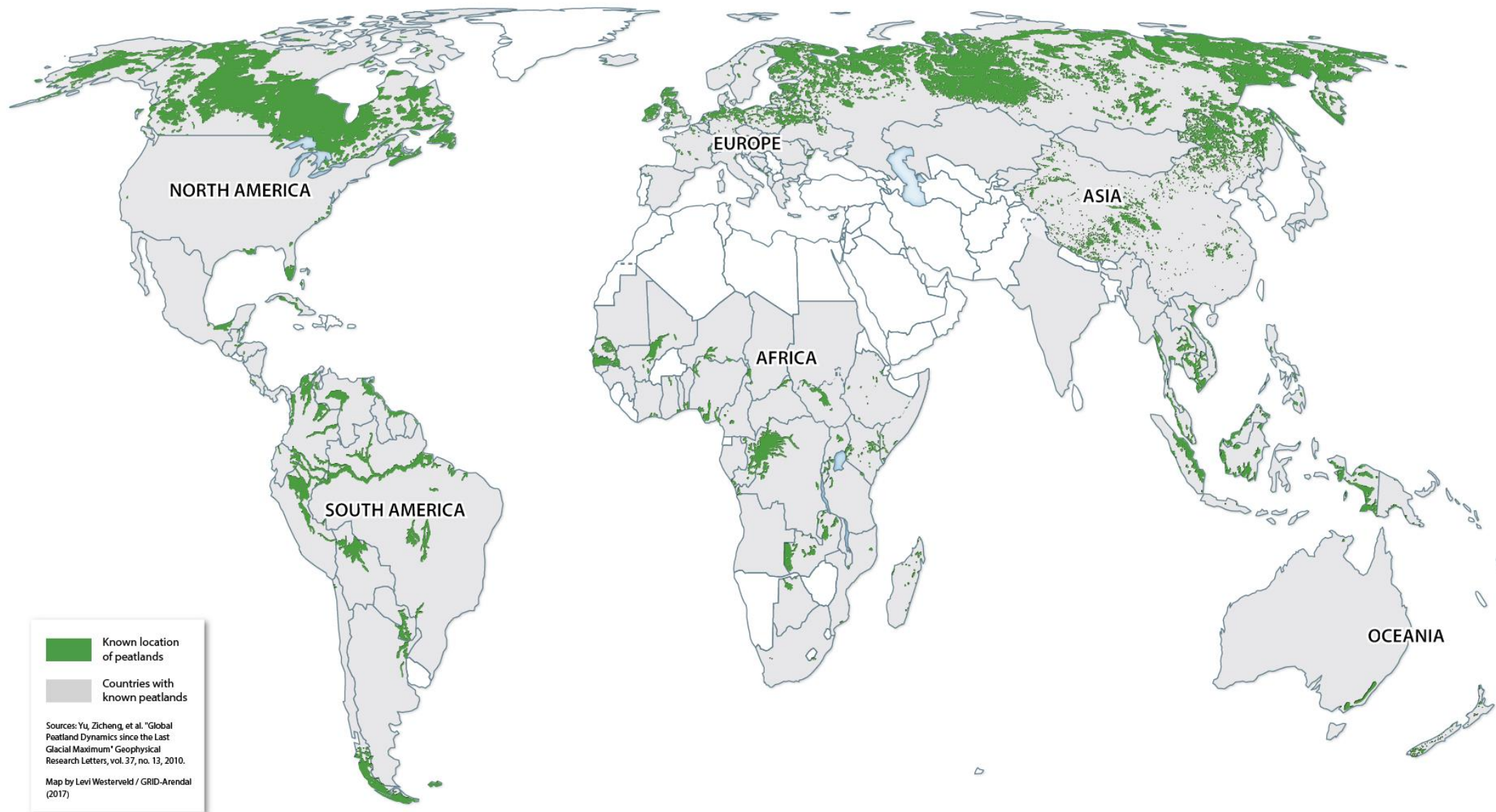
Il vero segreto delle torbiere é nel sottosuolo



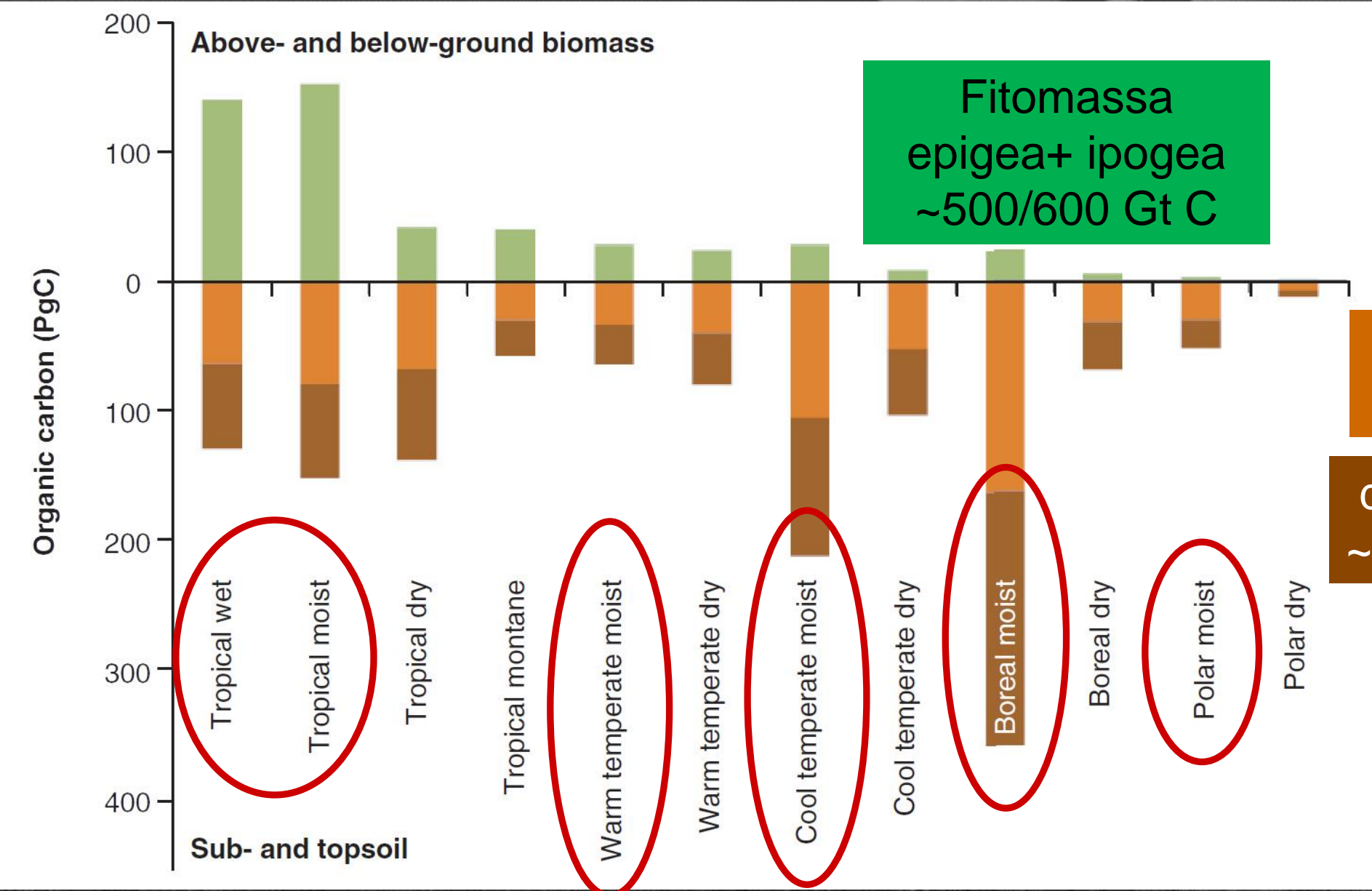
CO₂ e CH₄ sono due potenti gas serra

L'emissione di gas serra in zone umide è controllata da molti fattori: temperatura, salinità, popolazione microbica, altezza della falda freatica, ecc.

Global distribution of peatlands



Carbonio organico (Gt C) contenuto nella fitomassa e nei suoli delle terre emerse



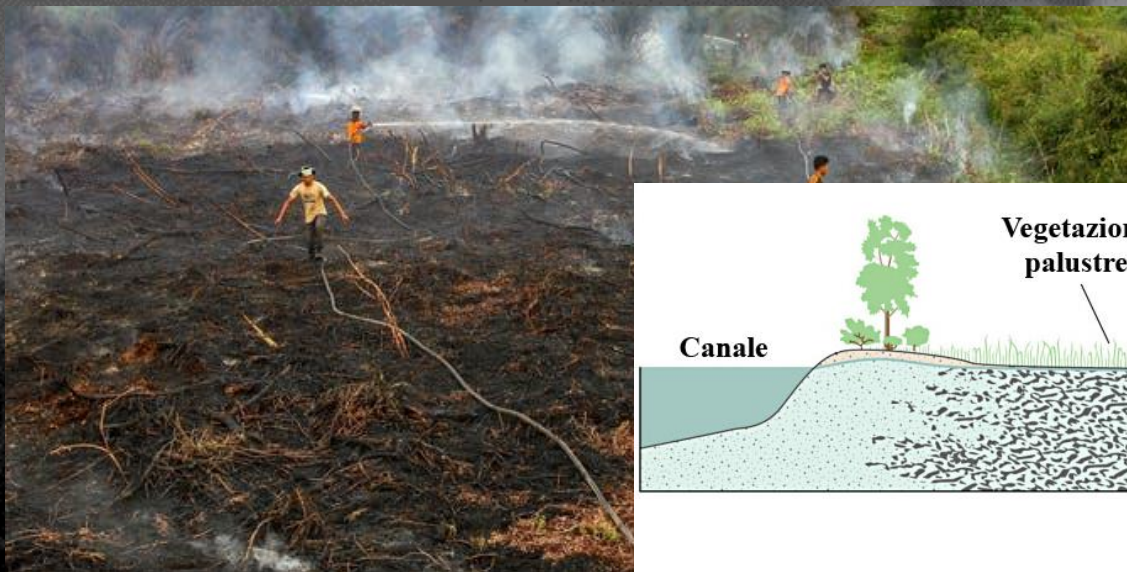
Fitomassa epigea+ ipogea ~500/600 Gt C

Suoli ~2500 Gt C

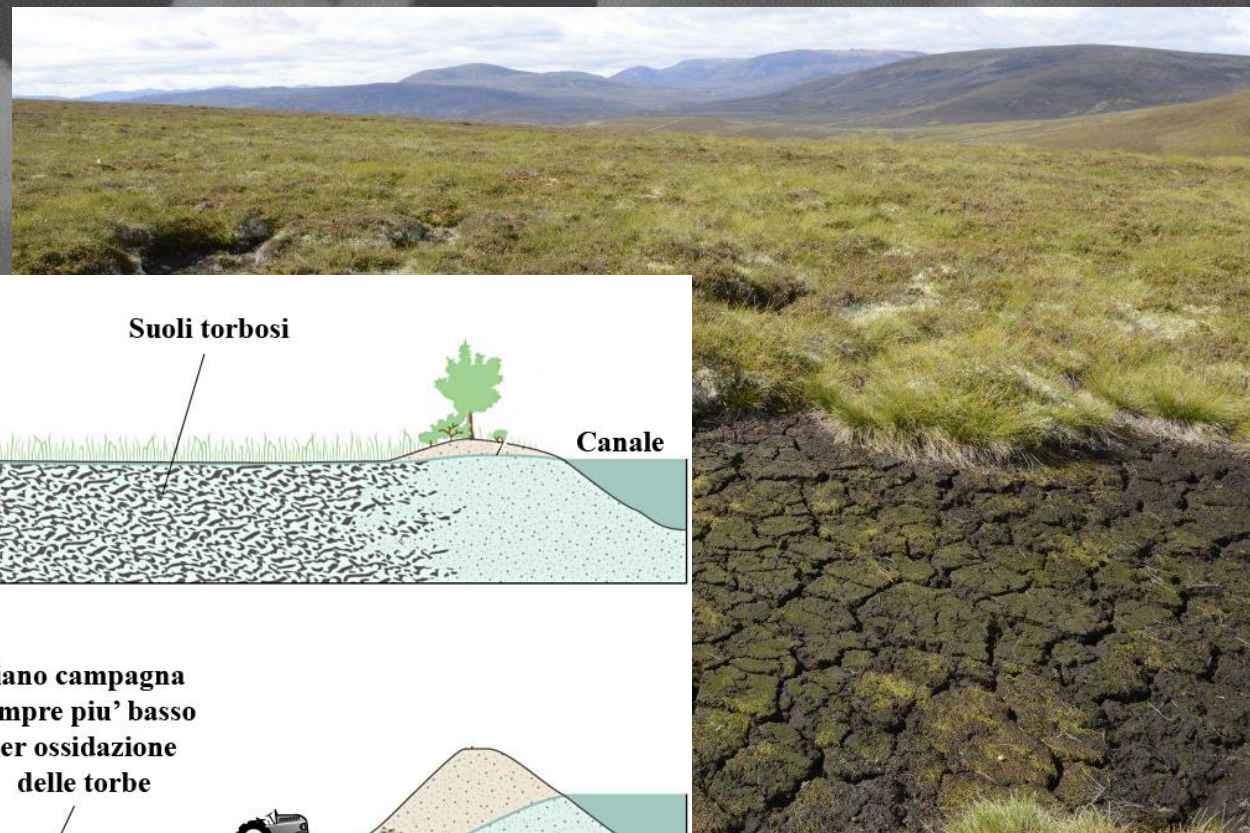
di cui torbiere ~500-900 Gt C



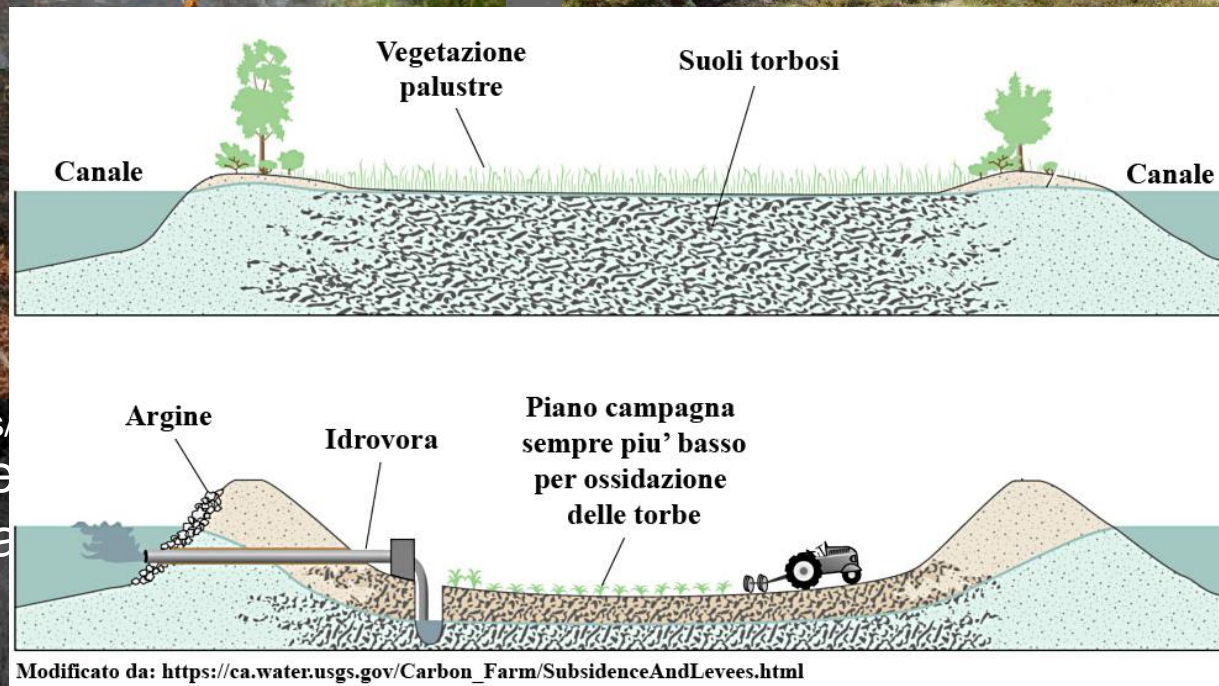
Degradazione delle torbiere



<https://theconversation.com/uk/topics/Indonesia>: i fuochi durante
emettono 22.5 Mt di CO₂ a
di oltre 61 Mt/giorno.



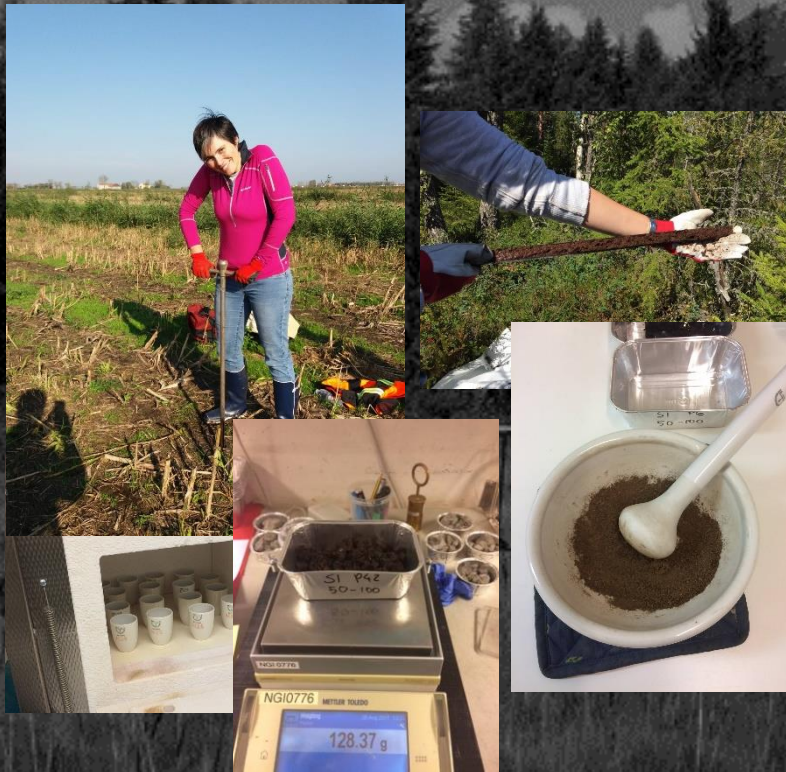
gorms National Park, Scotland.
[/www.deadlinenews.co.uk](http://www.deadlinenews.co.uk)



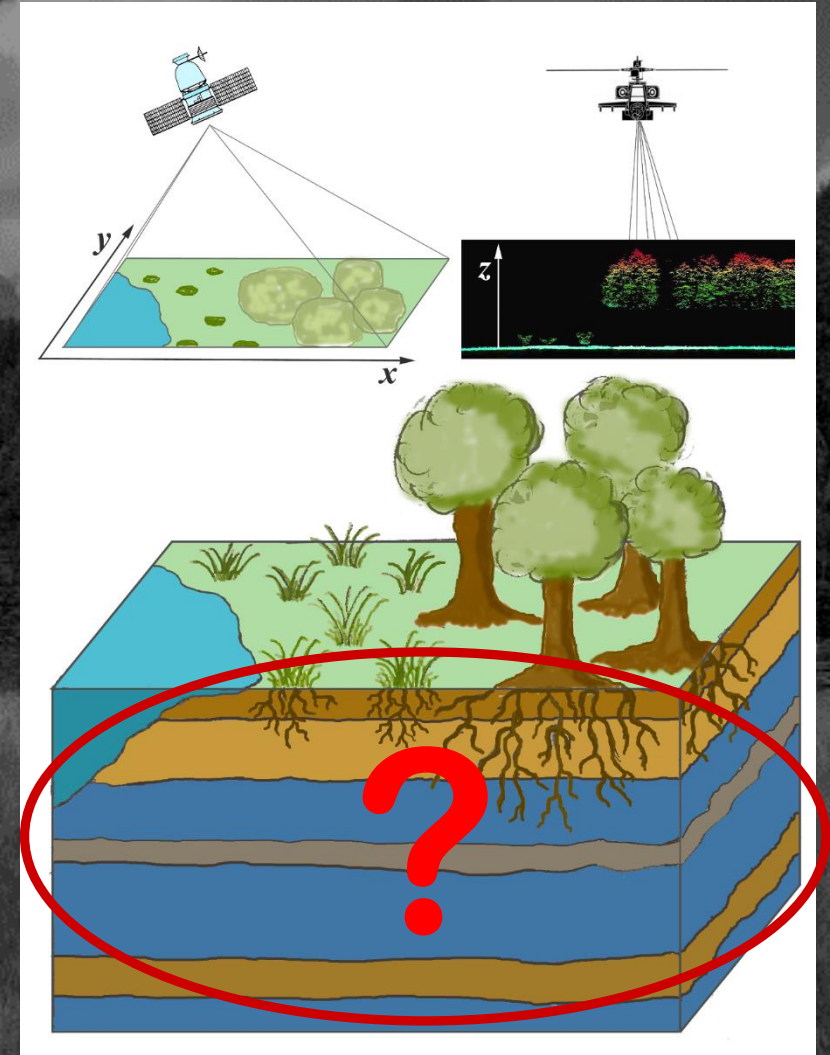
Le emissioni di CO₂ equivalente dovute alla degradazione delle torbiere sono in media 2 Gt all'anno, che equivale a ~ 6% delle emissioni antropiche di gas serra.

L'utilità di utilizzare dati telerilevati

Rilievi puntuali

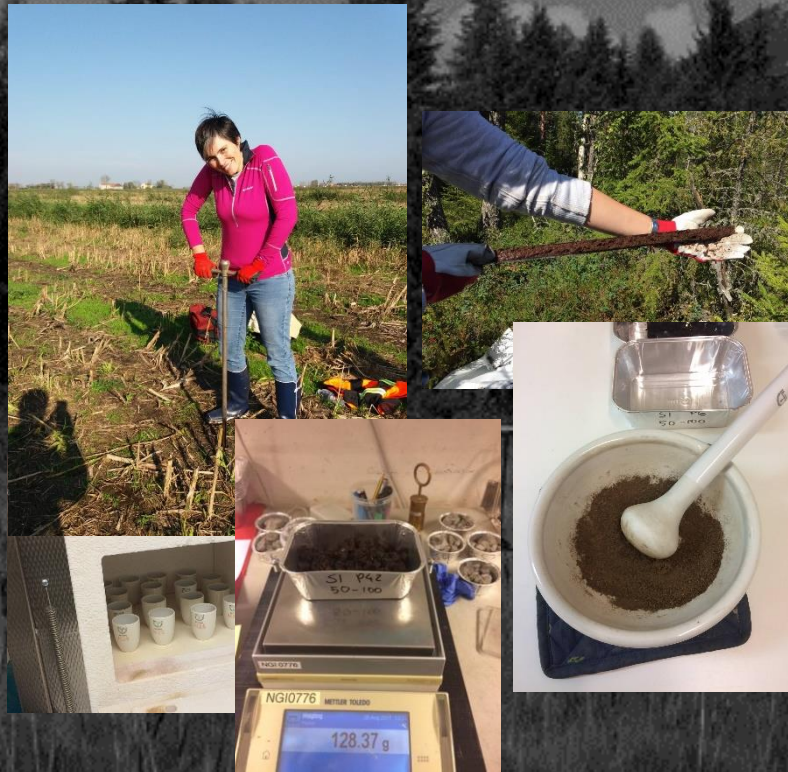


Dati telerilevati

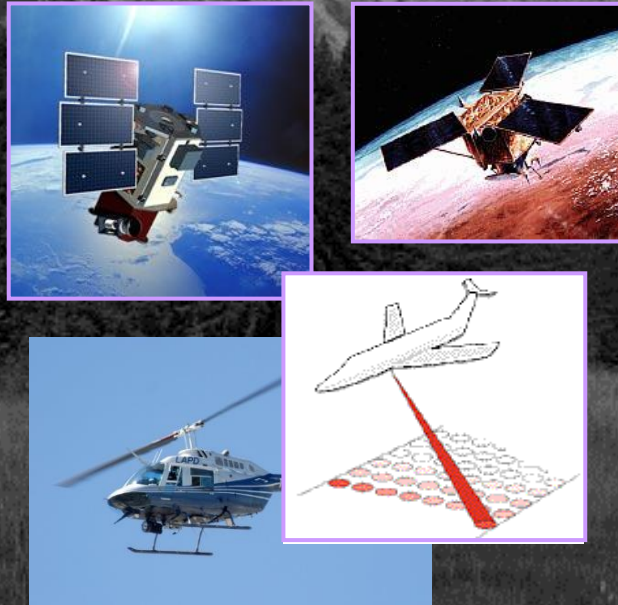


L'utilità di utilizzare dati telerilevati

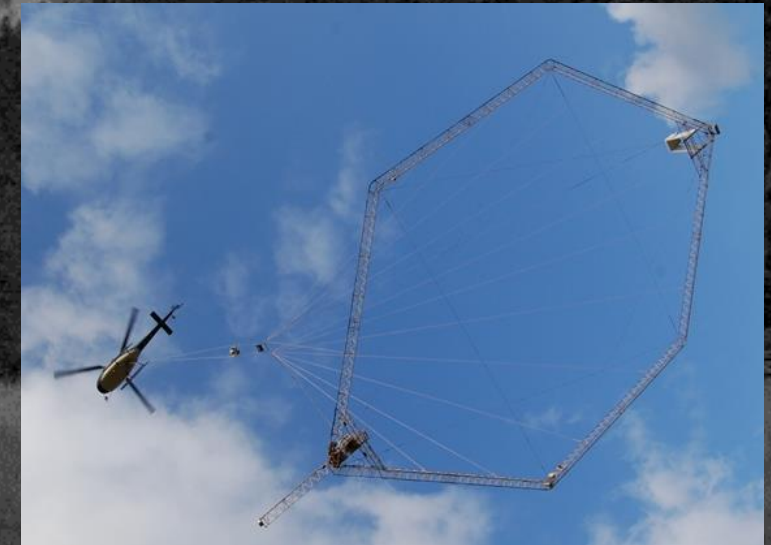
Rilievi puntuali



Dati telerilevati



Geofisica da remoto

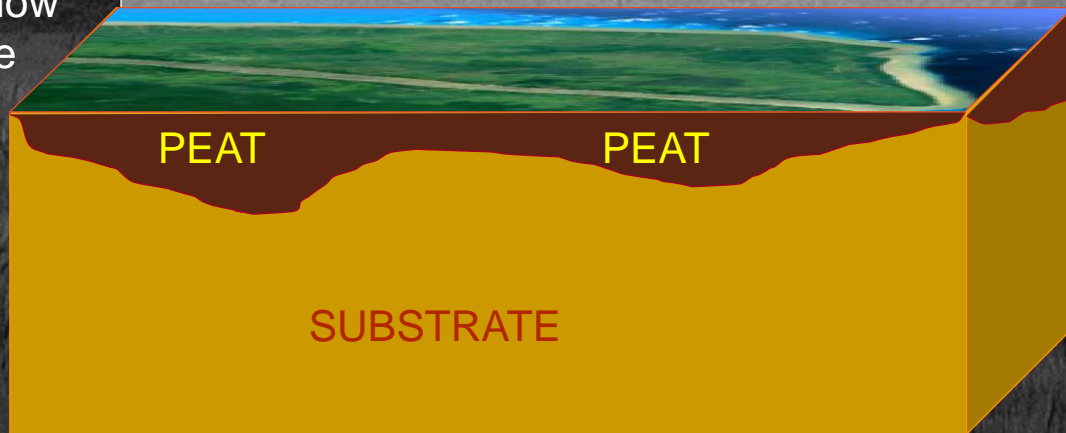


Geofisica da remoto: Airborne Electromagnetics (AEM)

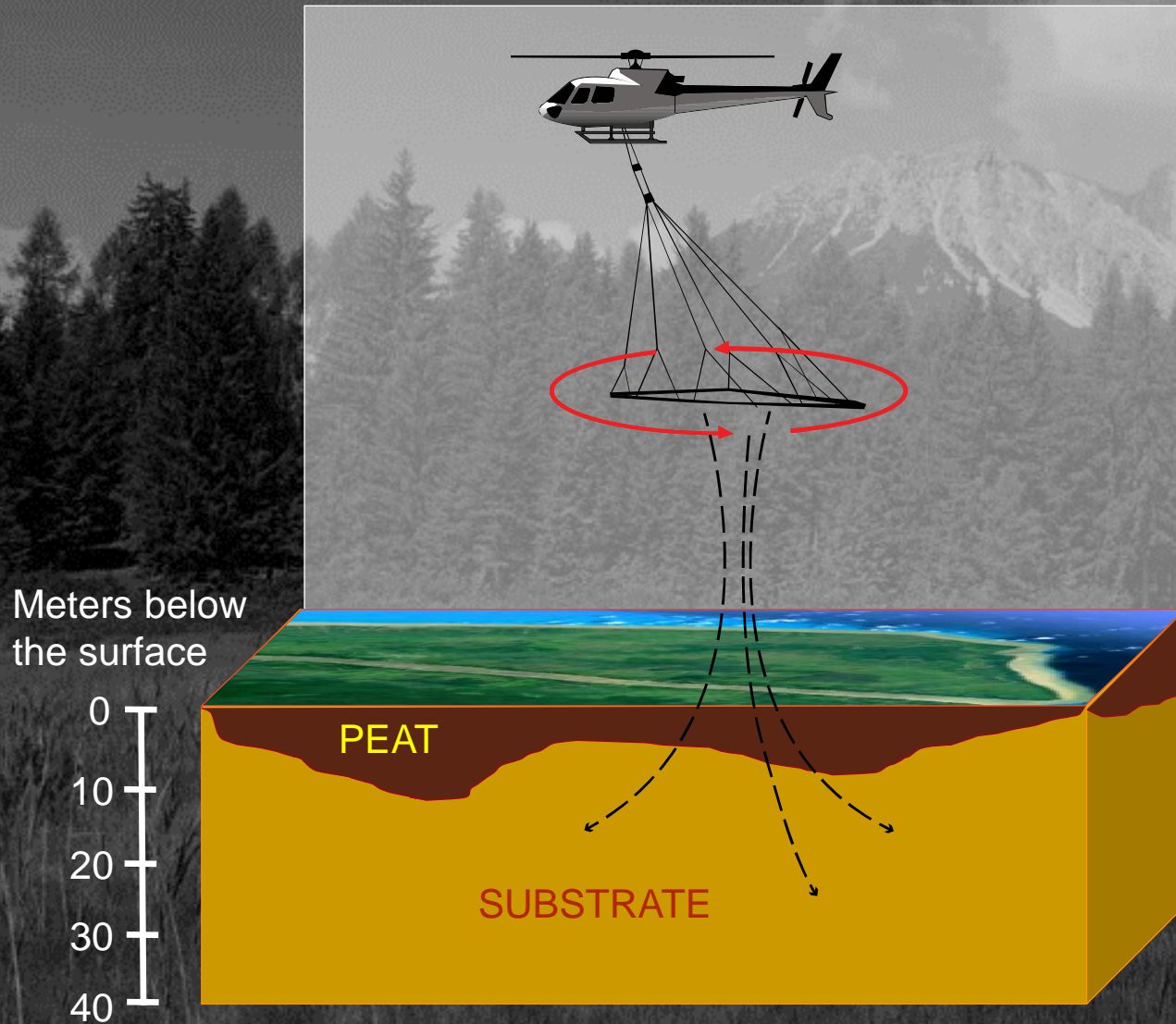


Meters below the surface

0
10
20
30
40

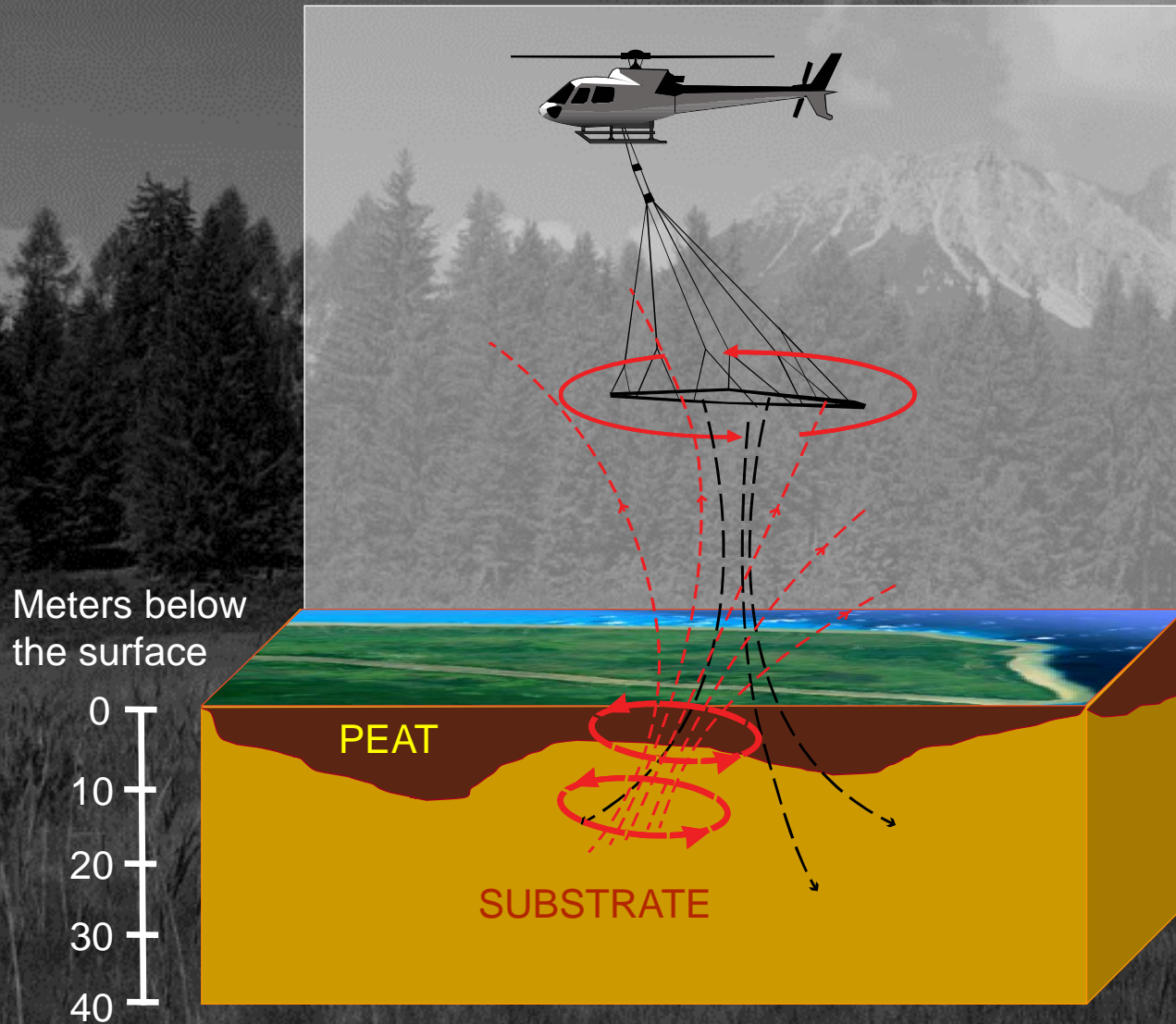


Geofisica da remoto: Airborne Electromagnetics (AEM)



Un'antenna pseudo-circolare funge da struttura di supporto non metallica di una bobina. Una potente **corrente stazionaria ad alta intensità** circola nella bobina. La corrente genera un **campo magnetico primario**.

Geofisica da remoto: Airborne Electromagnetics (AEM)

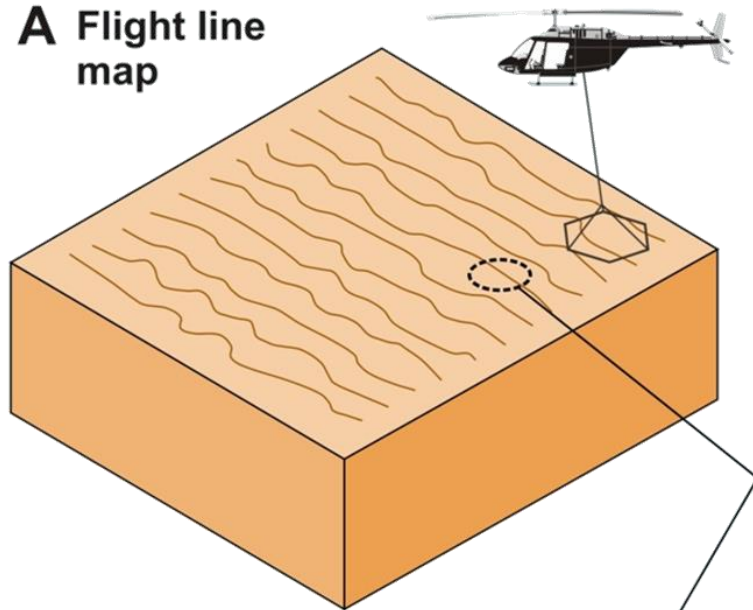


Il campo magnetico primario genera una **corrente indotta** nel suolo che genera un **campo magnetico secondario**.

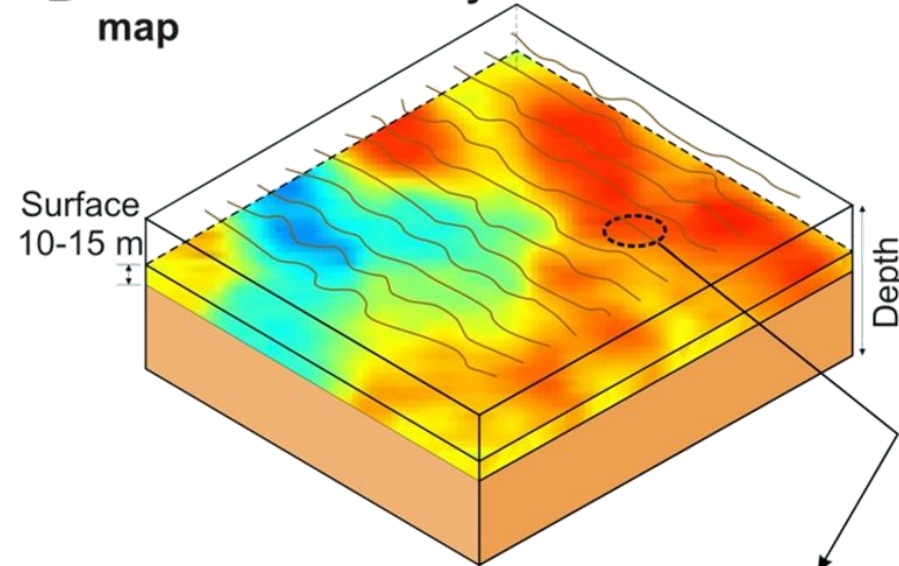
Quando la corrente primaria nella bobina viene interrotta bruscamente, il ricevitore **misura il tasso di decadimento del campo magnetico secondario**, che dipende dalla **resistività del suolo** e varia all'interno degli strati geologici sotterranei.

Geofisica da remoto: Airborne Electromagnetics (AEM)

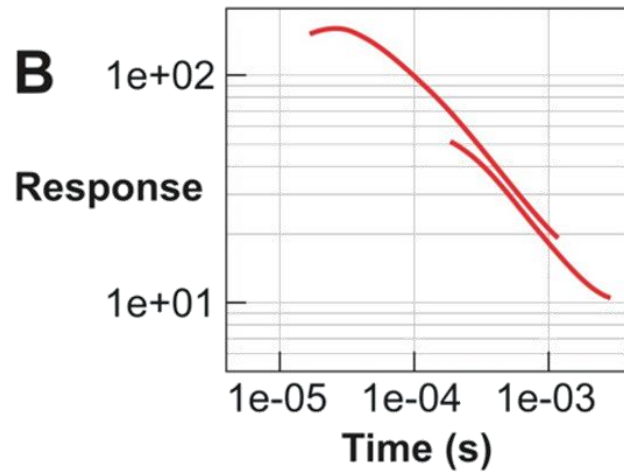
A Flight line map



D Interval conductivity map



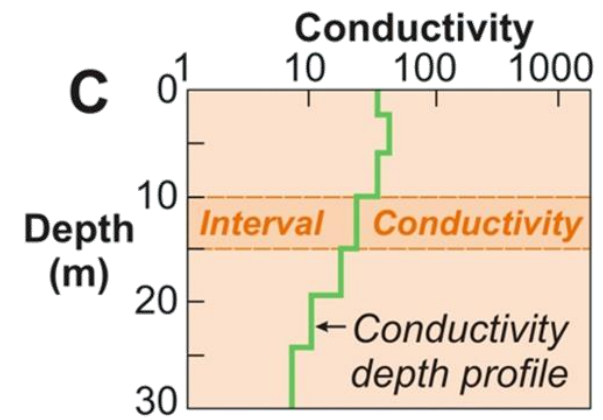
B



CDI/constrained Inversion



C



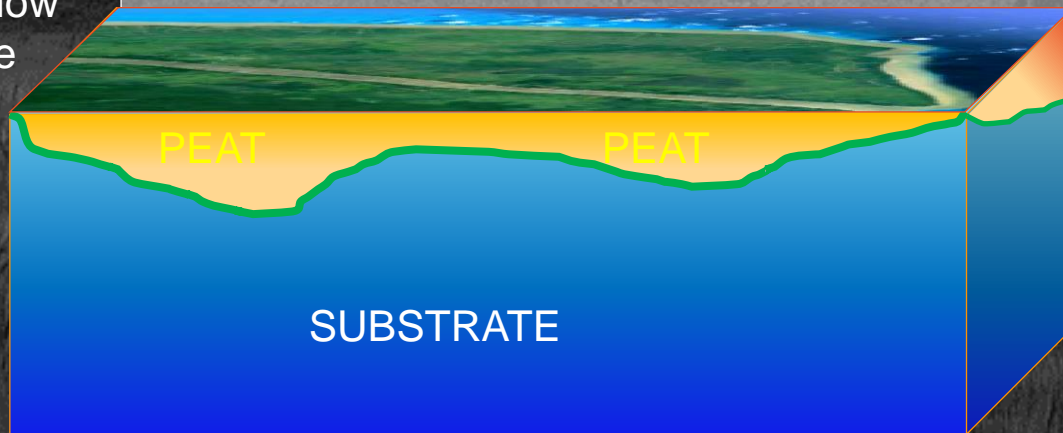
Geofisica da remoto: Airborne Electromagnetics (AEM)



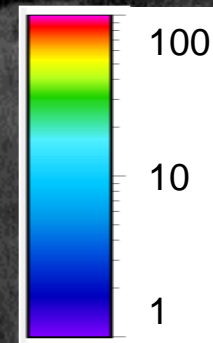
La **differenza di resistività** tra torba e il substrato (ad esempio argilla) definisce la superficie di discontinuità alla base della torbiera

Meters below the surface

0
10
20
30
40



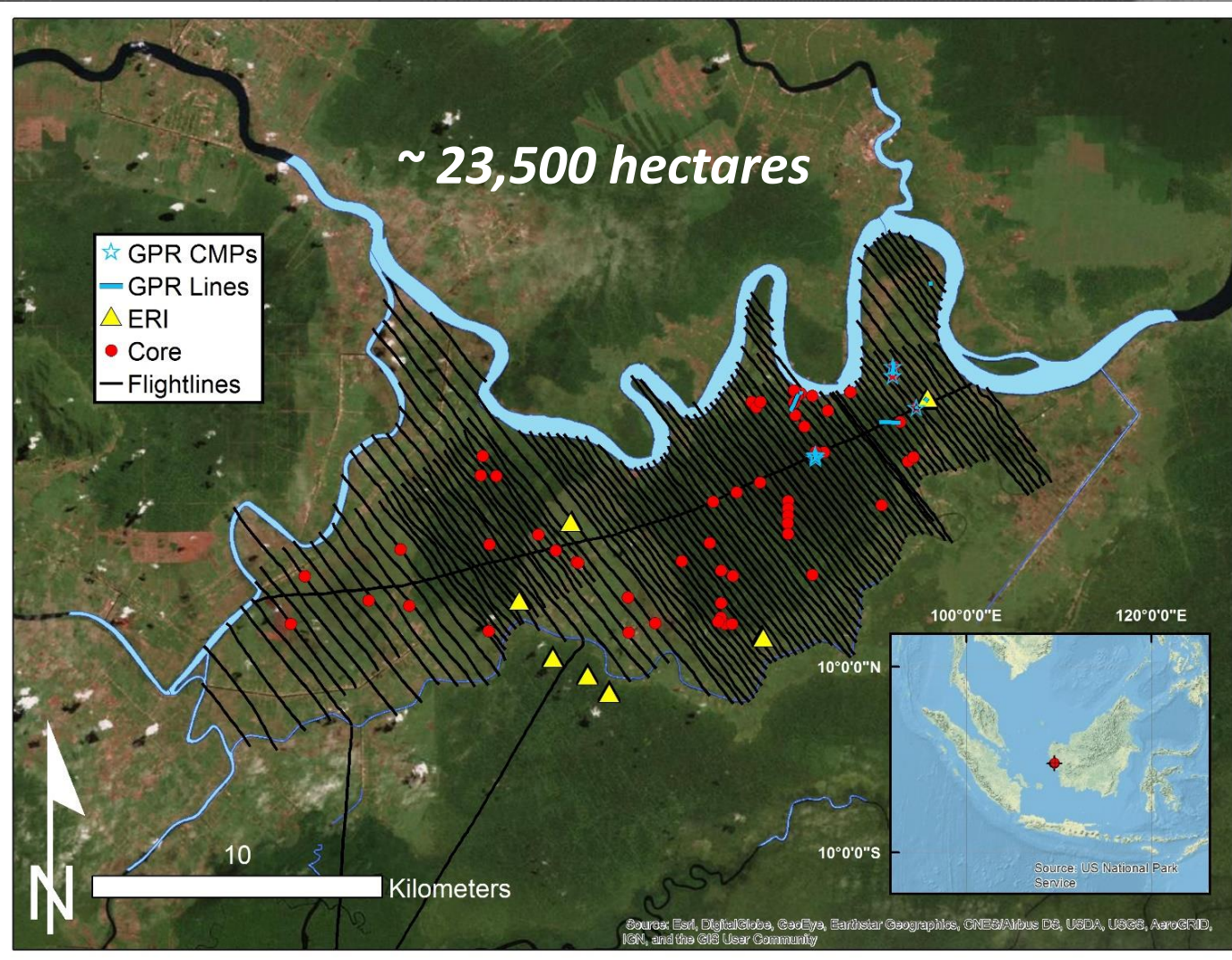
Resistivity (Ohm-m)



← Torba

← Substrato limo-argilloso

West Kalimantan, Borneo, Indonesia

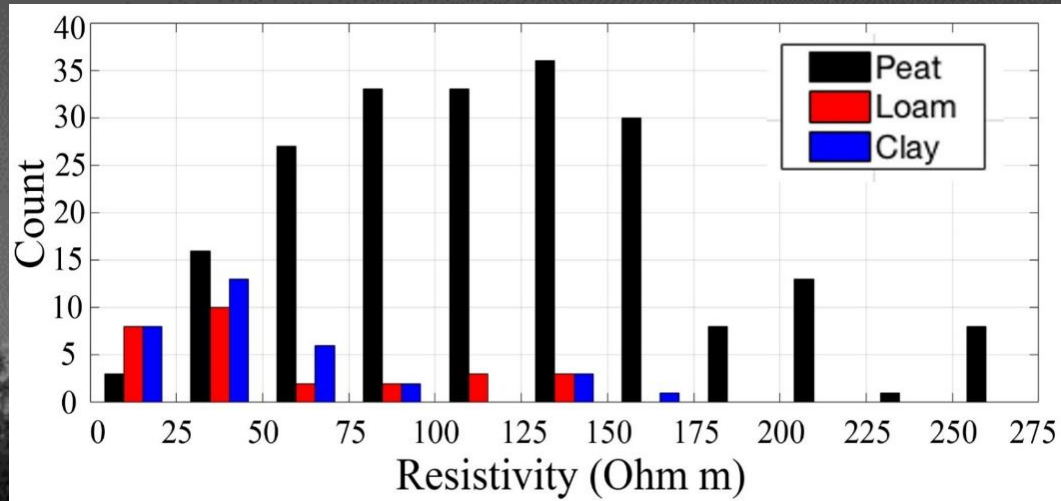


November 2017

Rilievi in campo (Novembre 2017)

- 110 linee di volo (sensore SkyTEM);
- 275 misure di resistività elettrica sul campo;
- Transetti di tomografia elettrica in sette località;
- 3.5 km di dati GPR;
- carotaggi in 63 punti

West Kalimantan, Borneo, Indonesia



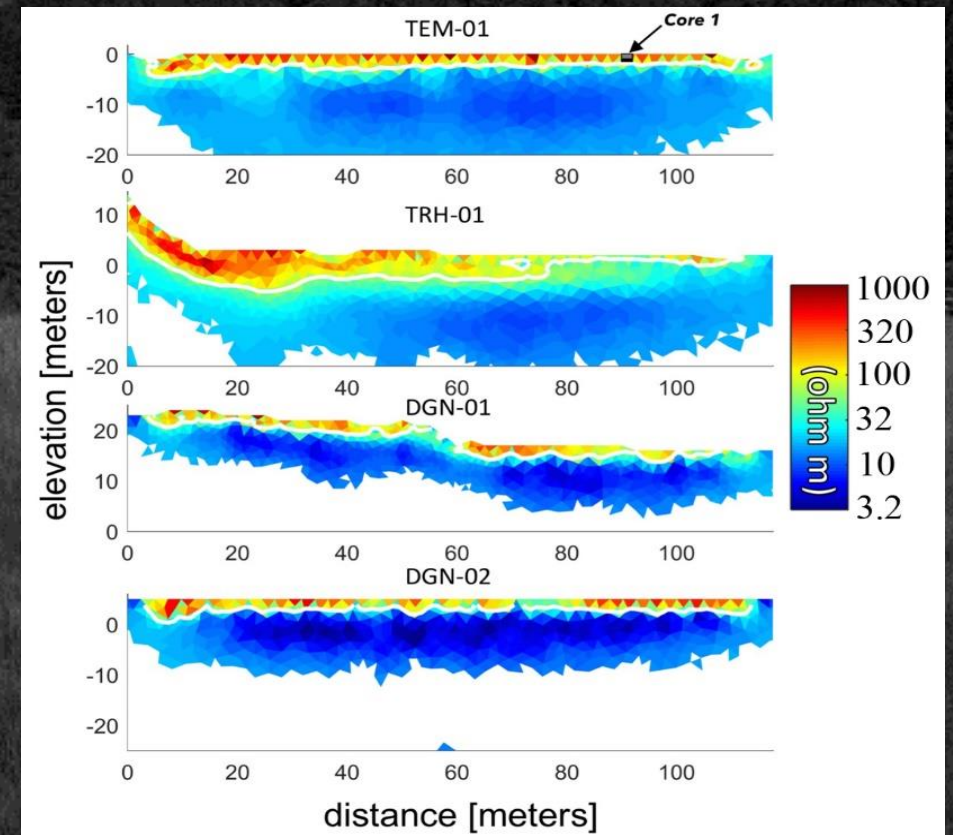
Valori di resistività elettrica misurati in campo e in laboratorio sui campioni di torba, limi e argille raccolti nel sito di studio

Tomografie elettriche che evidenziano lo strato di materiale più resistivo sopra ad un substrato conduttivo

November 2017

Silvestri et al. AGU 2018

Silvestri et al. - J. Geophys. Res. Earth Surface, 2019



West Kalimantan, Borneo, Indonesia

~ 23,500 hectares

- ☆ GPR CMPs
- GPR Lines
- ▲ ERI
- Core
- Flightlines



10

Kilometers

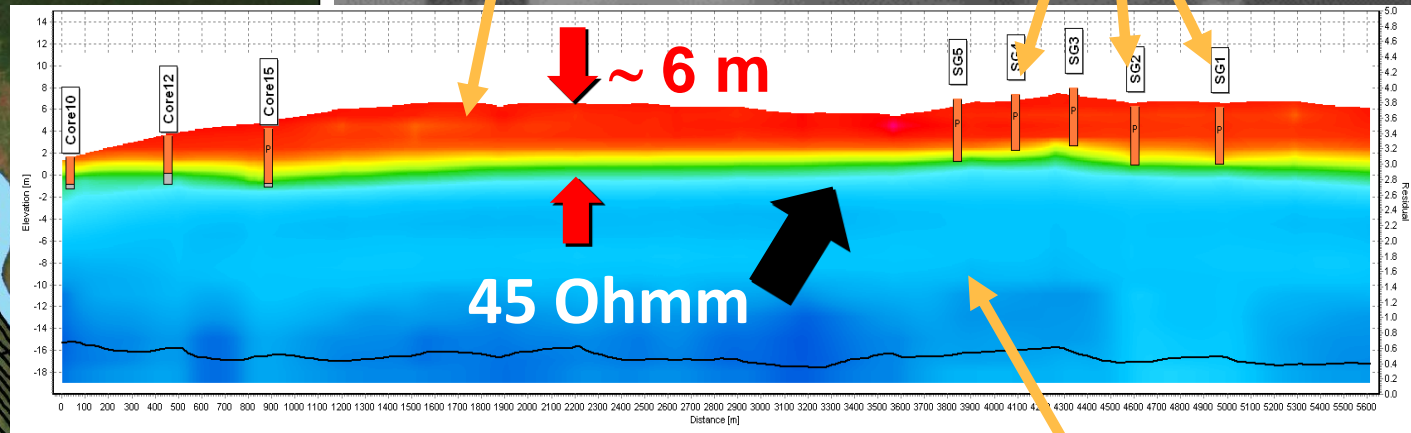
10°0'0"N

10°0'0"S

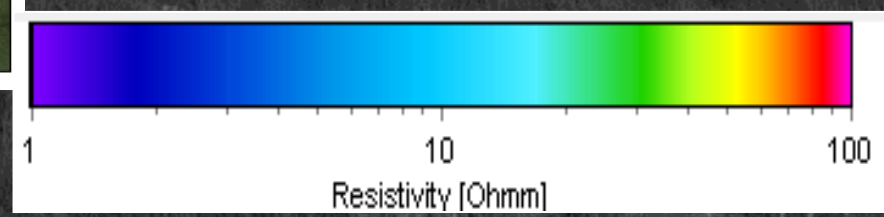
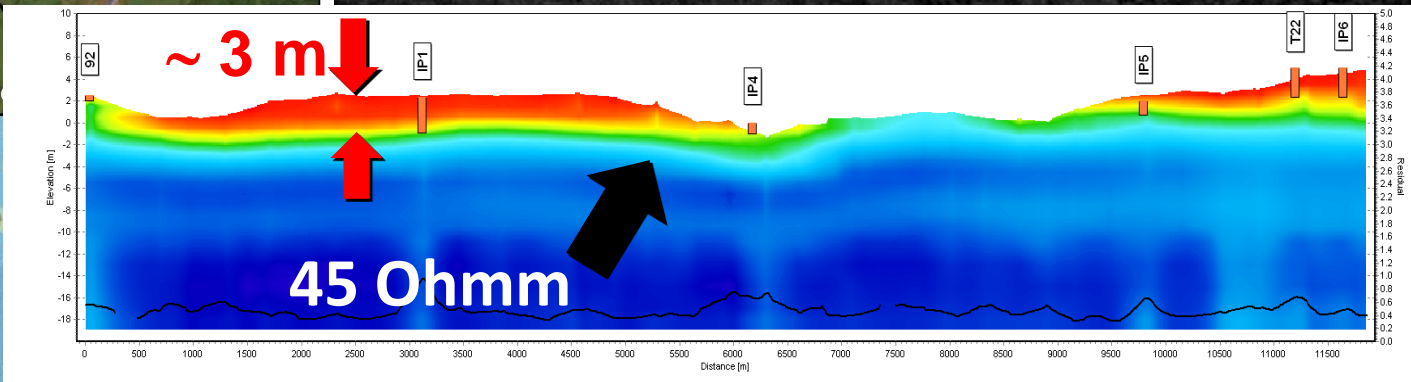
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Strato di torba

Carotaggi fatti in campo

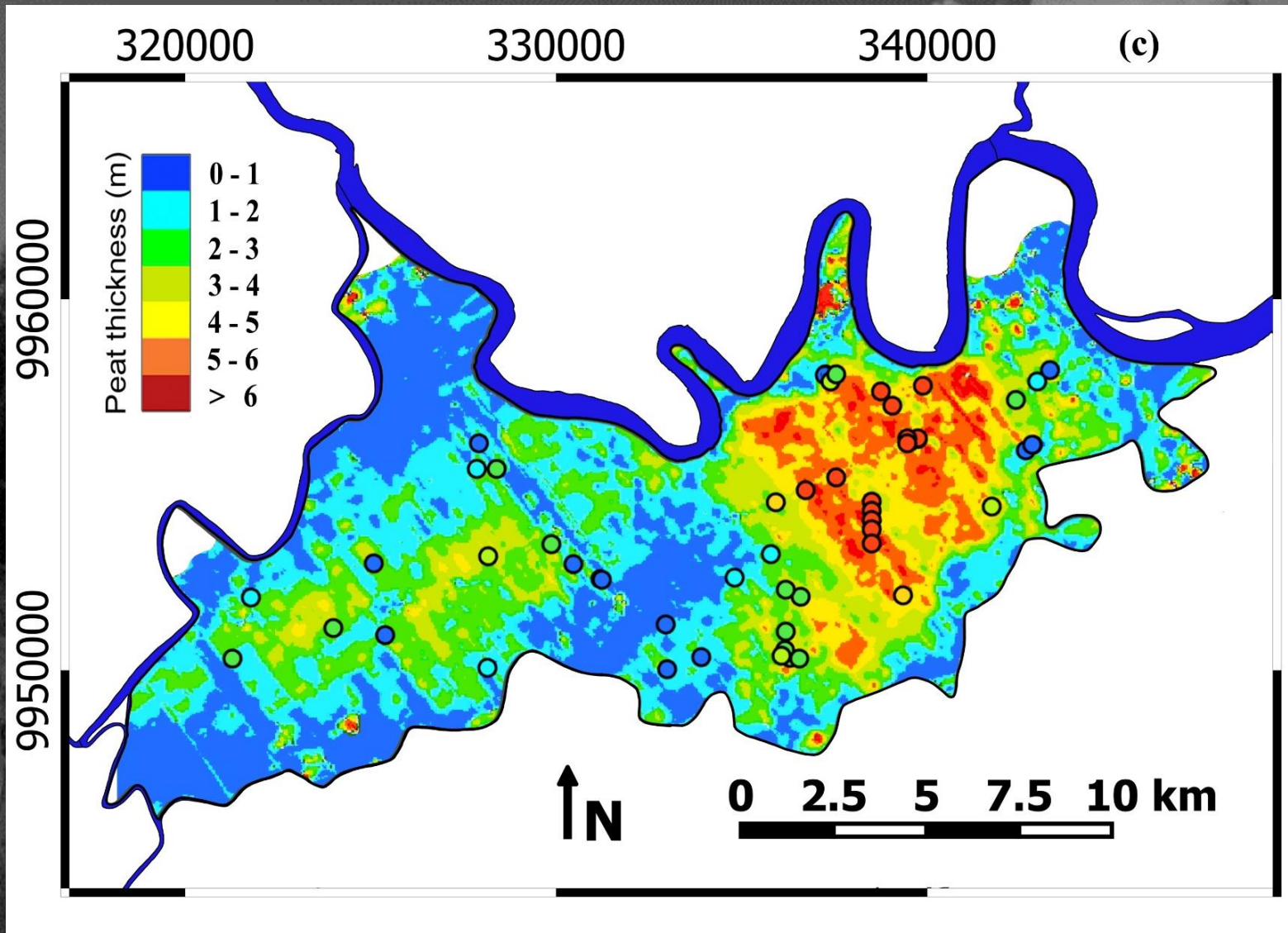


Argille



November 2017

West Kalimantan, Borneo, Indonesia

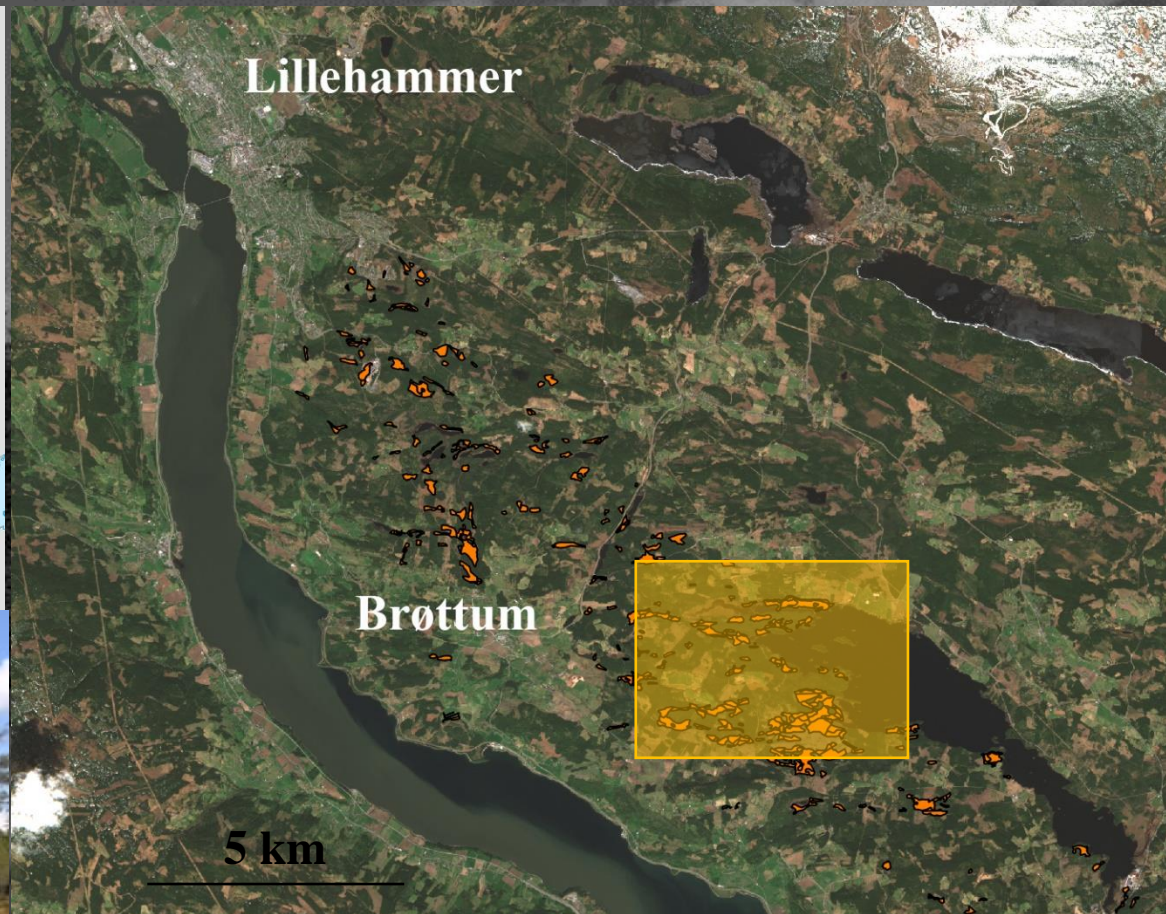


Mapa dello **spessore della torba** estratta dai dati AEM. I punti indicano i carotaggi. La scala di colori é la stessa per la mappa e per i punti. **Accuratezza media** di circa **1 m**.

Volume torbe: 500 milioni di metri cubi.

La torbiera contiene **23 Mt di carbonio organico**.

Brøttum, Norvegia



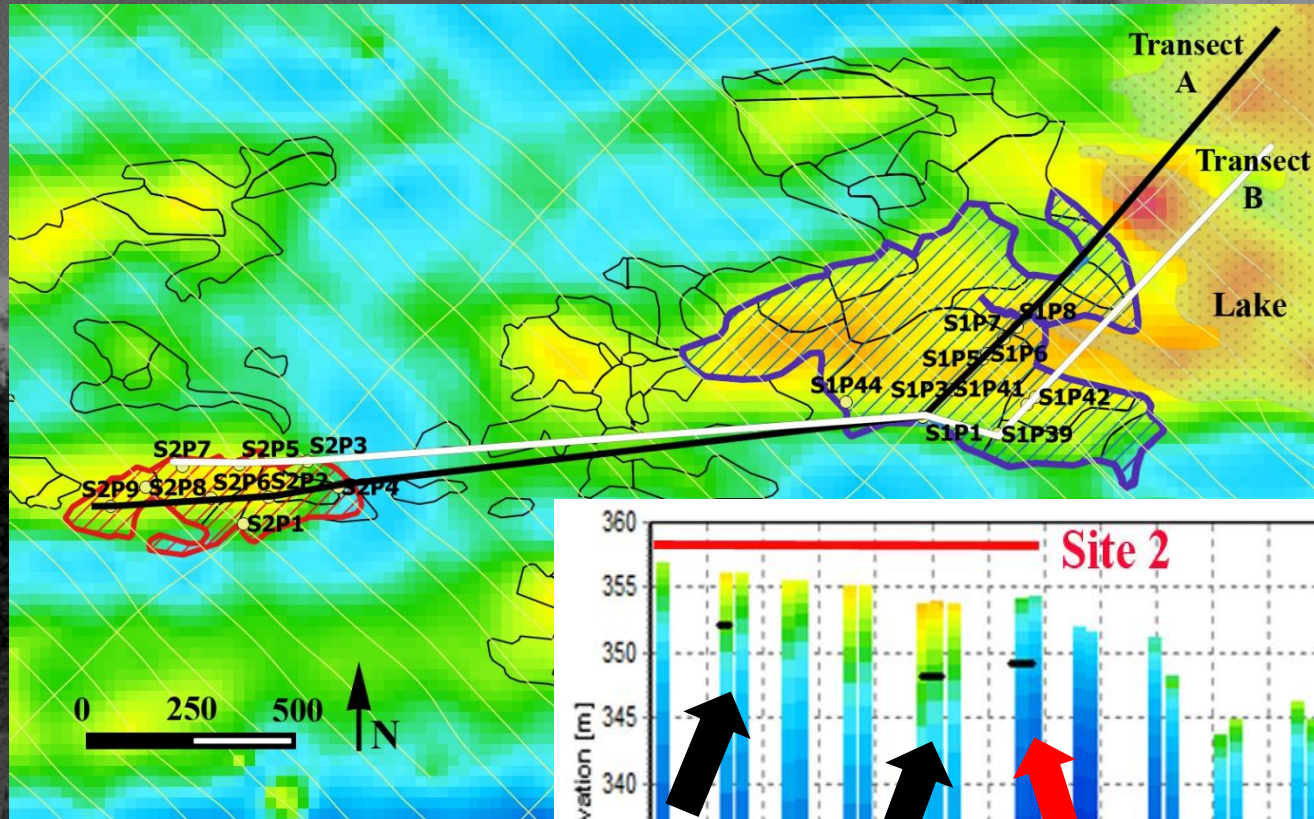
AEM flight lines



Volo AEM: luglio/agosto 2015

Campagne misura a terra: agosto/settembre 2017

Brøttum, Norvegia



Mappa di resistività

Sito 1

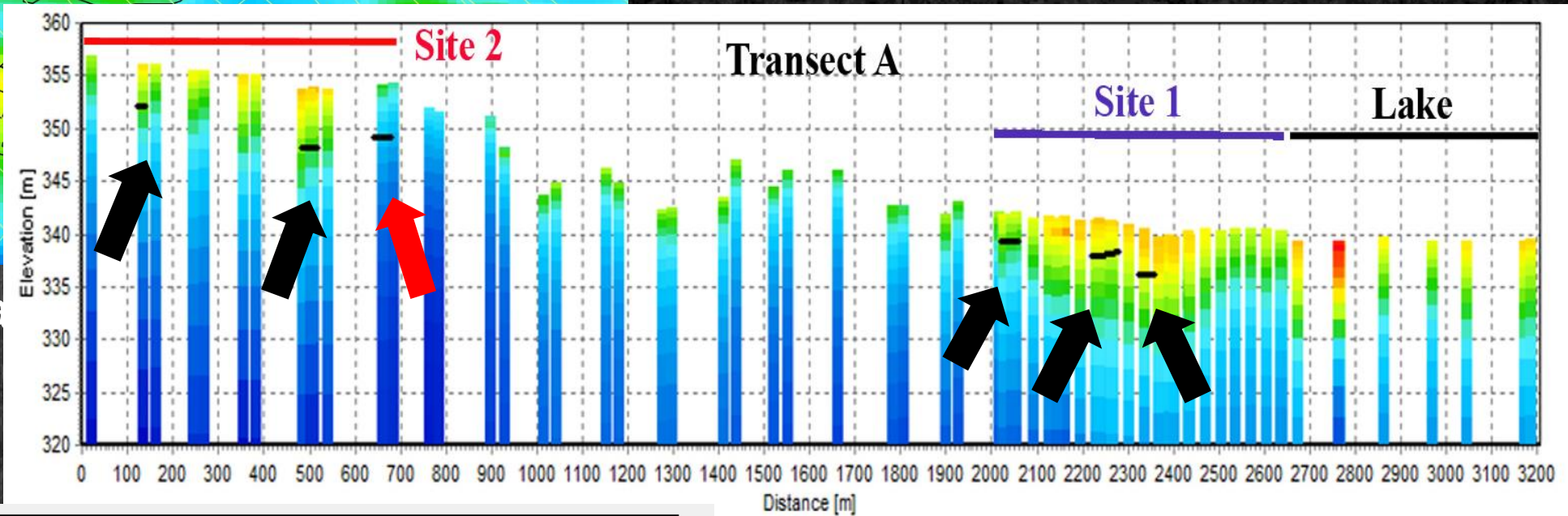
Volume della torba = 1 218 482 m³

Contenuto carbonio organico = 34 kt

Sito 2

Volume della torba = 291 035 m³

Contenuto carbonio organico = 6.7 kt

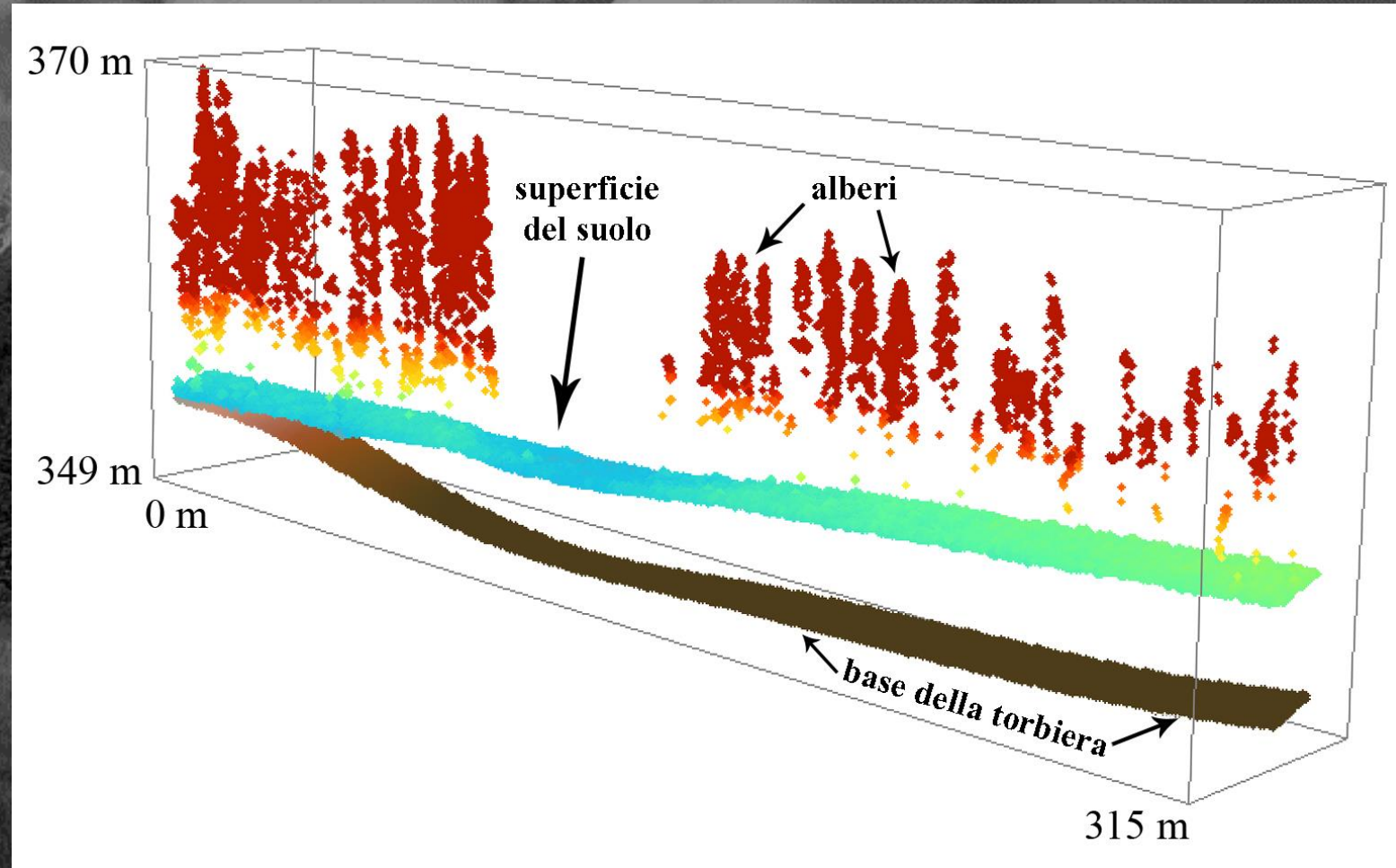
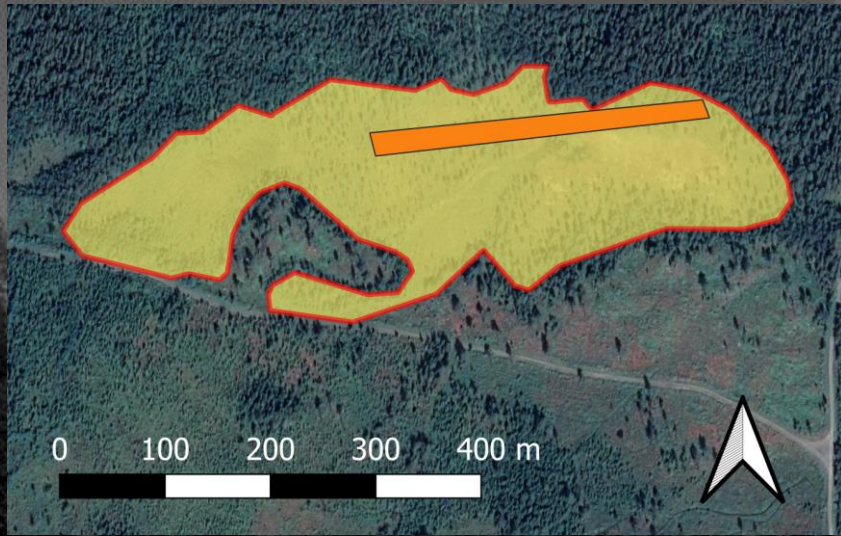


Resistivity

[Ohmm]



Brøttum, Norvegia: possiamo trovare la biomassa complessiva da AEM + LiDAR



Quote estratte dalla combinazione dei risultati ottenuti dall'elaborazione di dati AEM e di dati acquisiti con laser scanner (LiDAR)

Volare con elicottero o aereo è costoso e complicato, c'è un'altra soluzione?



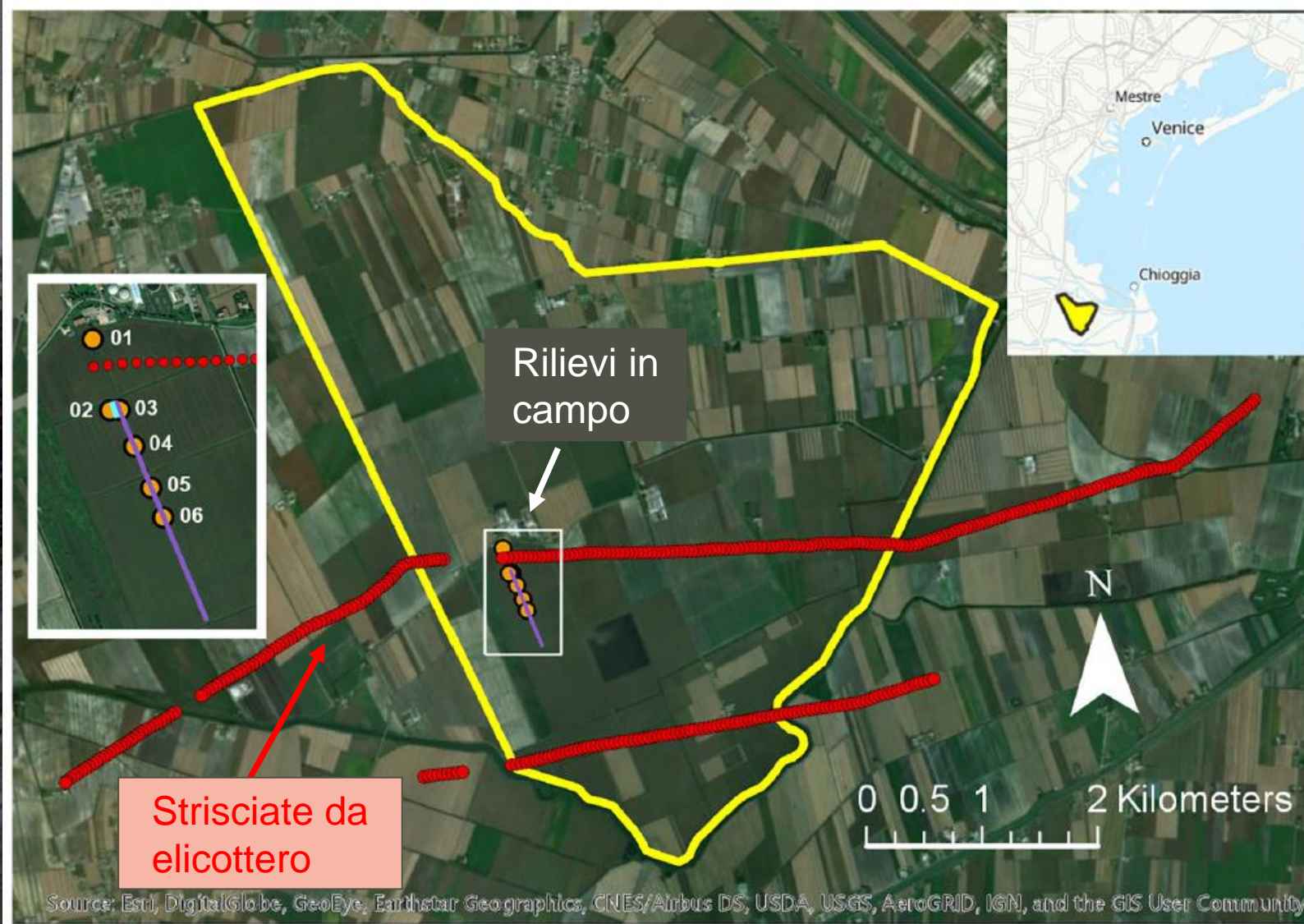
UAV



Sperimentazioni con strumento portatile

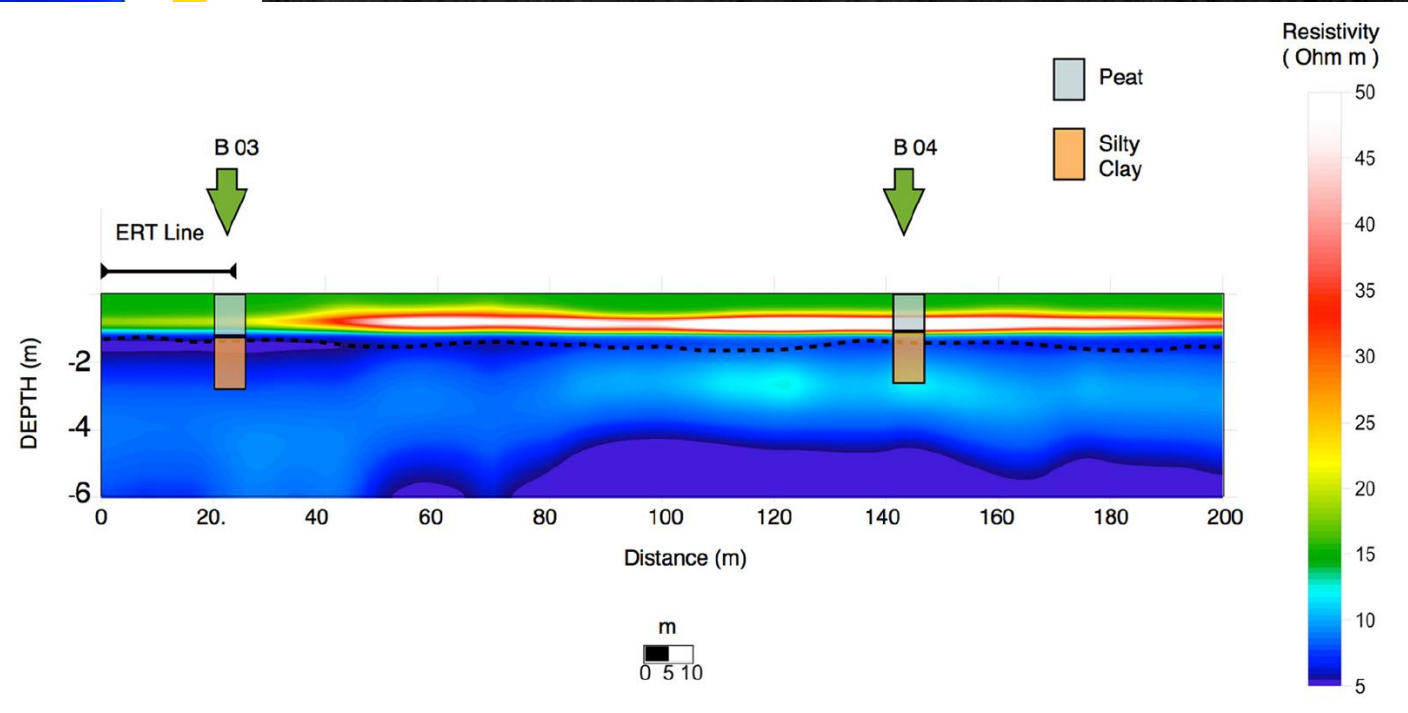
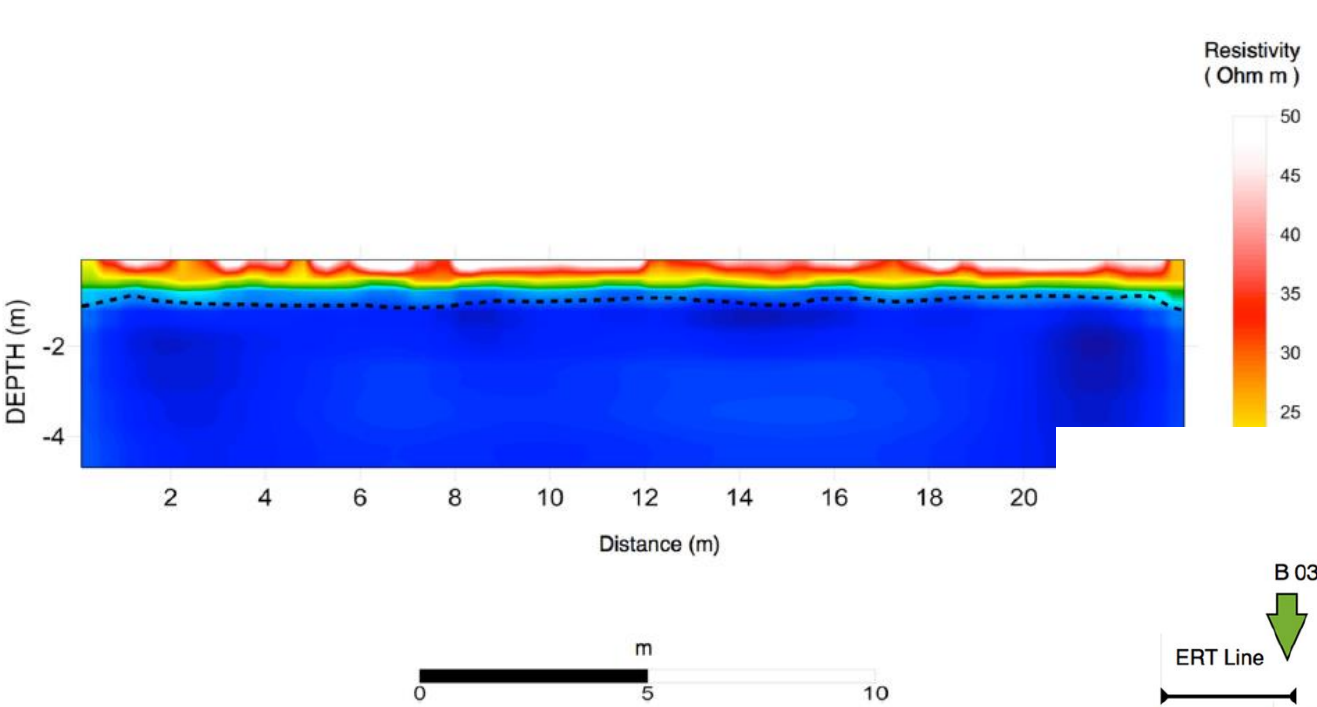
Bacino Zennare, Chioggia, Italy

GEM-2 sensor (Geophex Ltd.)



Sperimentazioni con strumento portatile

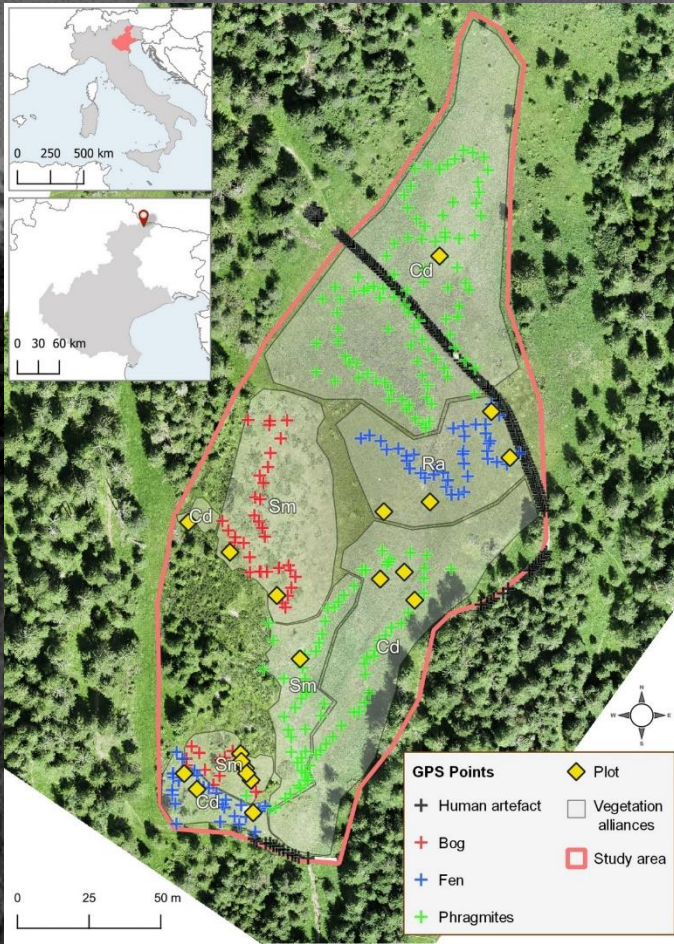
Tomografia elettrica lungo un transetto di 24 m di lunghezza



Resistività estratta dall'inversione dei dati acquisiti da strumento portatile GEM-2

Sperimentazioni con strumento portatile

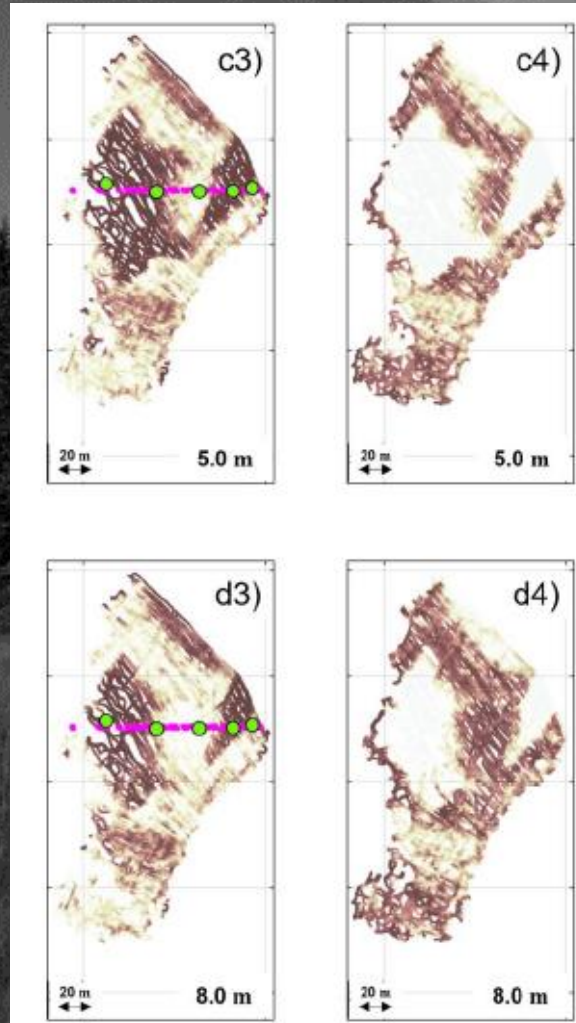
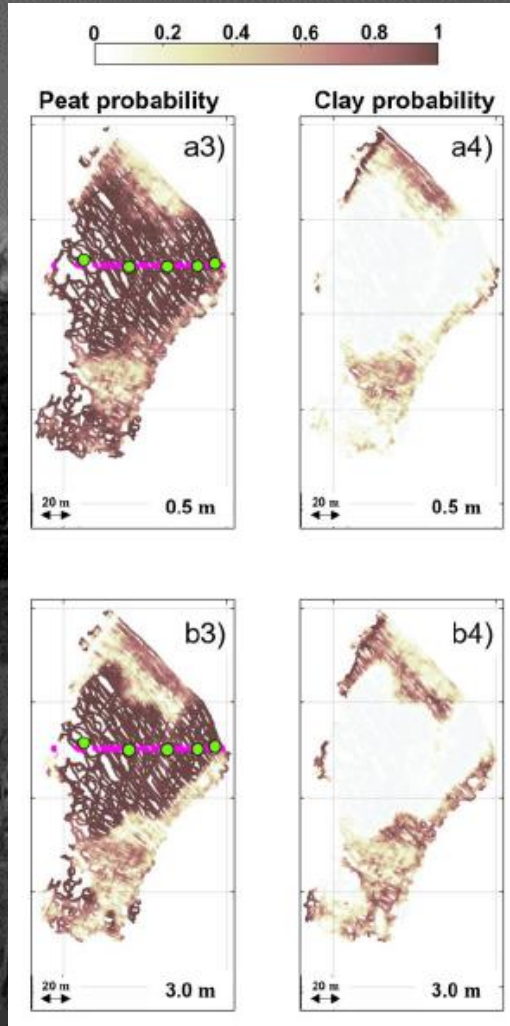
Danta di Cadore



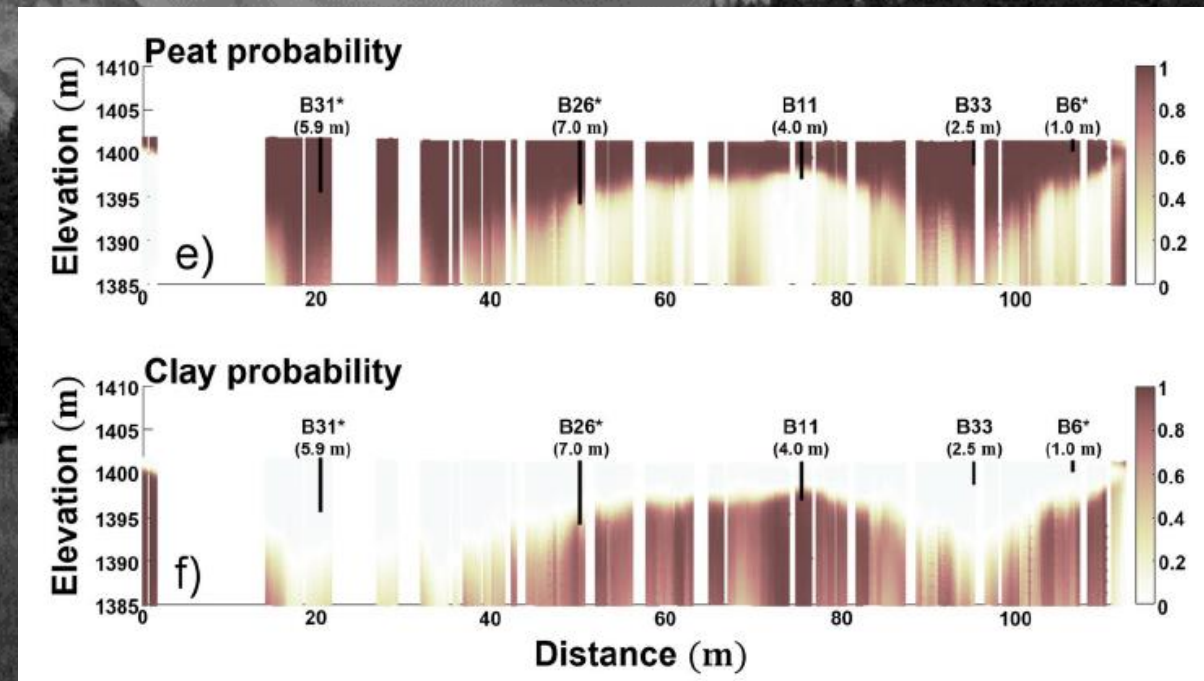
GEM-2 sensor
(Geophex Ltd.)

Nuovo approccio per tradurre direttamente il segnale elettromagnetico nella **probabilità di trovare torba**, piuttosto che fare due passaggi, individuando prima le proprietà elettriche del sottosuolo e poi associarle ai materiali.

Sperimentazioni con strumento portatile a varie profondità



lungo il transetto



Considerazioni finali sulla stima della CARBONIO

- Grazie alla **geofisica da remoto** possiamo stimare il **volume della torba** in torbiera e con pochi dati di campo possiamo anche stimare il **contenuto totale di CARBONIO**.
- La **raccolta combinata di dati telerilevati sopra e sotto il suolo (4D Remote Sensing)** promette di rivoluzionare il modo in cui studiamo le torbiere e l'ambiente in generale.



Obiettivo #4: **EVOLUZIONE**

Evoluzione delle torbiere

C'è un meccanismo di retroazione tra la morfologia dei bog, la vegetazione, i microrganismi nei suoli e l'idrogeologia

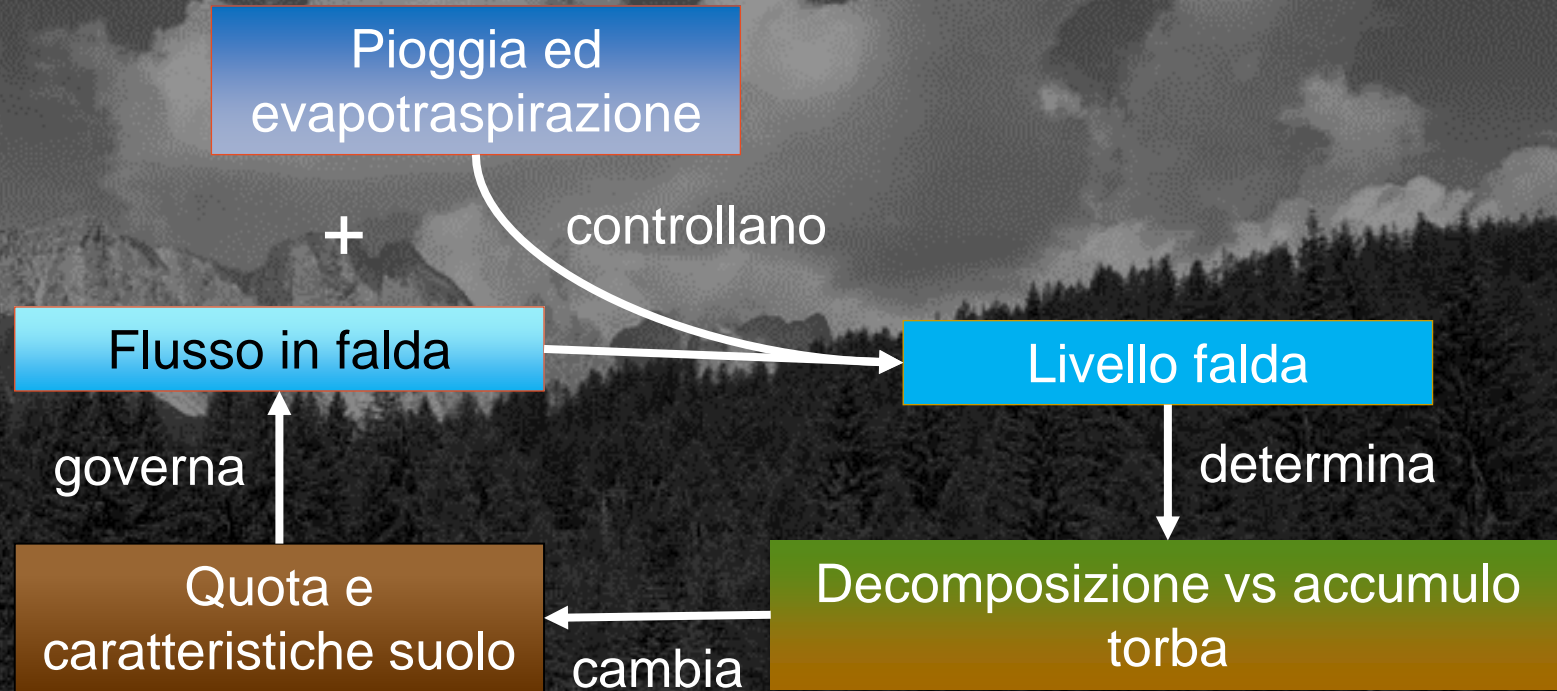
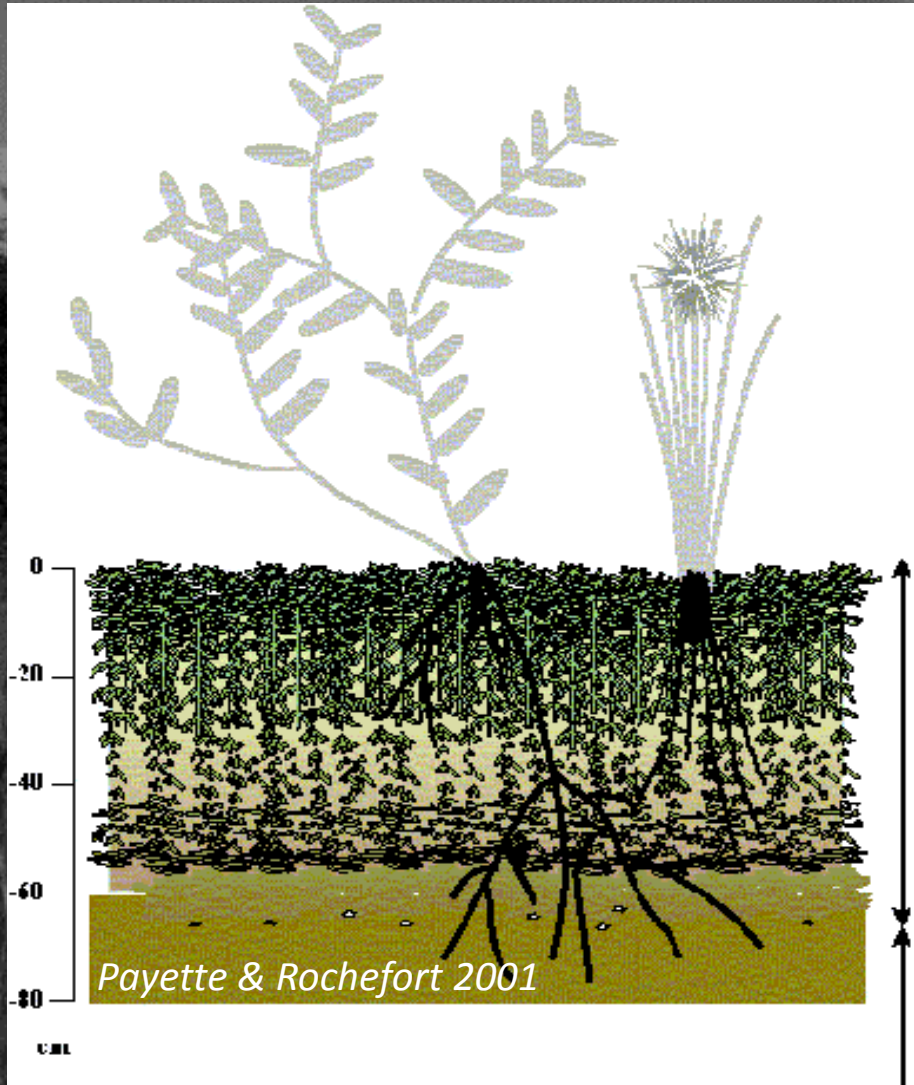
- Grazie all'EVAPOTRASPIRAZIONE la vegetazione modifica la quota della falda
- La vegetazione contribuisce biomassa epigea e ipogea, e aumenta la sostanza organica nel suolo, i.e. OC aumenta mentre BD diminuisce
- Diverse velocità di decomposizione della biomassa a seconda delle popolazioni di microrganismi

VEGETAZIONE

Idrogeologia e topografia

- La topografia e la profondità della falda influiscono sulla zonazione della vegetazione e le popolazioni di microrganismi del suolo
- C'è una diversa disponibilità di ossigeno per le radici e per i microrganismi a seconda della profondità della falda

Evoluzione delle torbiere



Acrotelm: litter + suolo non saturo o parzialmente saturo dove avviene la decomposizione aerobica (VELOCE)

Catotelm: suolo sempre saturo dove la decomposizione è anaerobica (LENTA)

Evoluzione delle torbiere

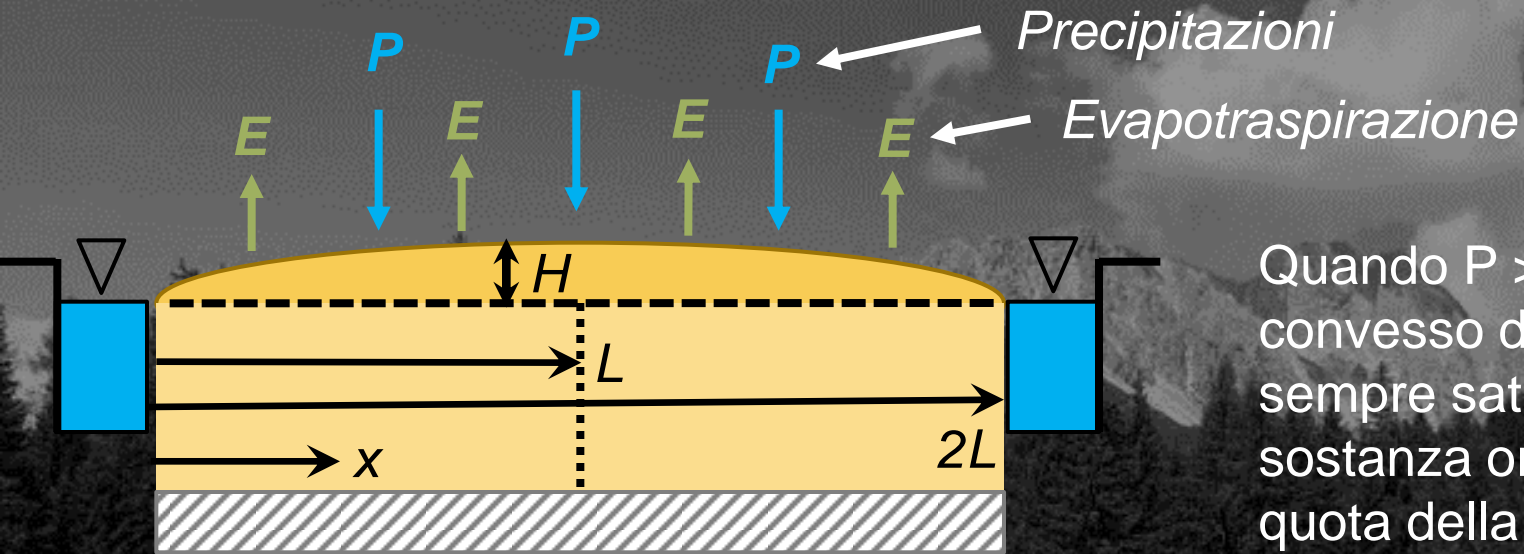
E' quindi il **profilo della zona satura** che guida l'accumulo della sostanza organica e la morfologia della torbiera. **La superficie della torbiera segue il profilo della falda.**



Welsh Raised Bogs

(<https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/projects/waun-ddu-llangattock-new-life-welsh-raised-bogs-0>)

Evoluzione delle torbiere



Quando $P > E + R$ (runoff), si forma un profilo convesso della falda e la zona di suolo centrale é sempre satura = decomposizione LENTA della sostanza organica. La TORBA si ACCUMULA e la quota della torbiera cresce.

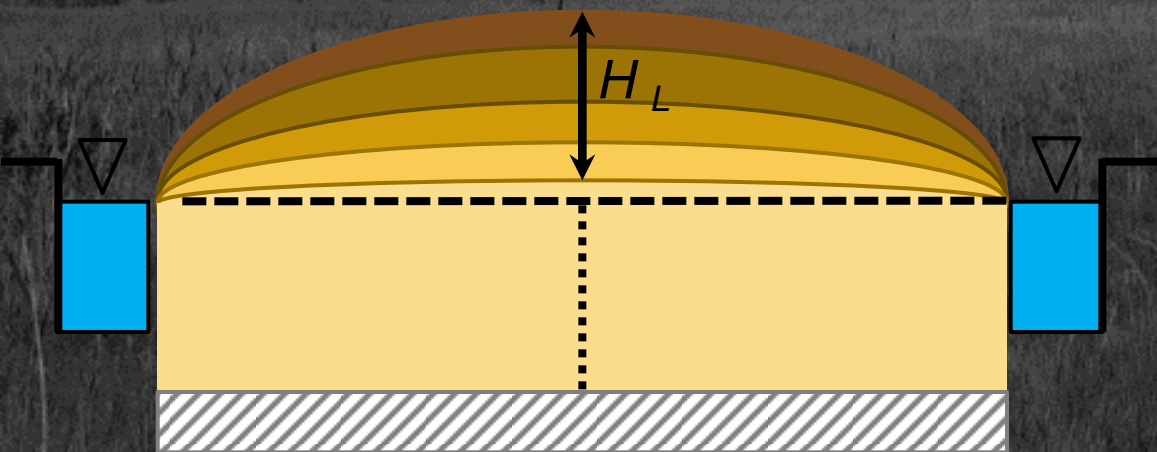
All'equilibrio (quando accumulo e decomposizione si equivalgono), il profilo raggiunge uno stato stazionario del tipo:

$$\frac{U}{K} = \frac{H^2}{2Lx - x^2} \quad 0 \leq x \leq 2L.$$

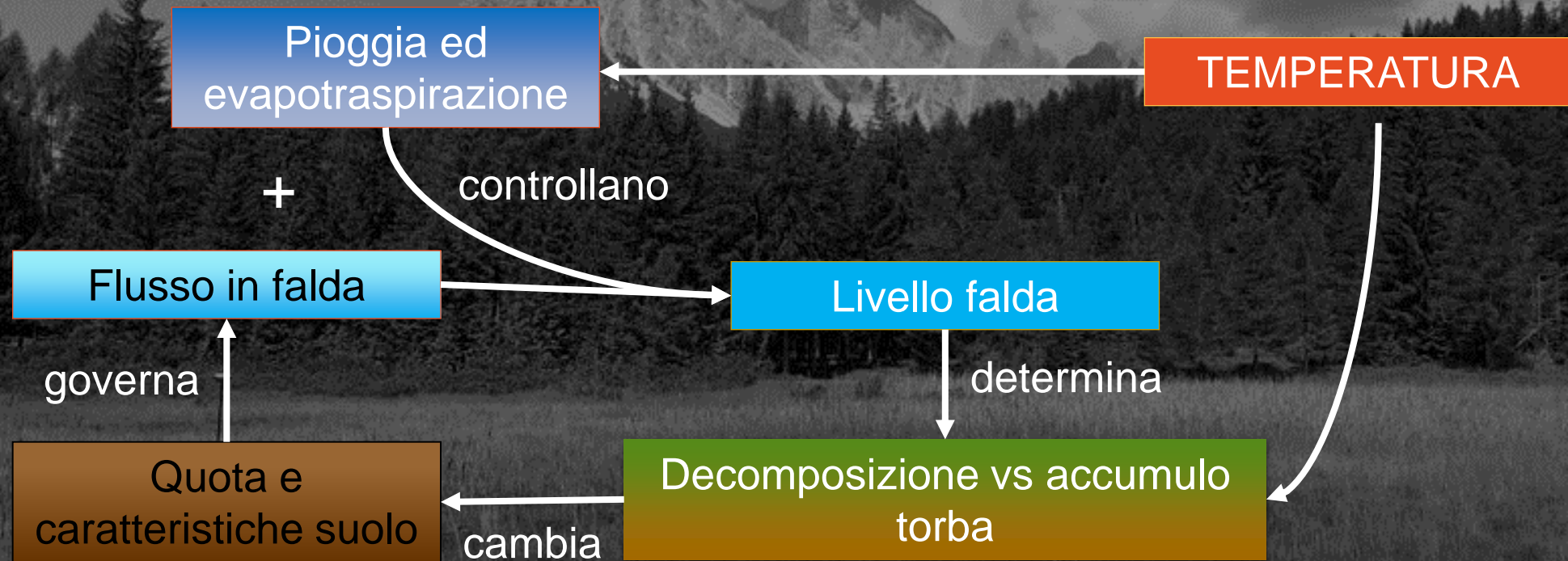
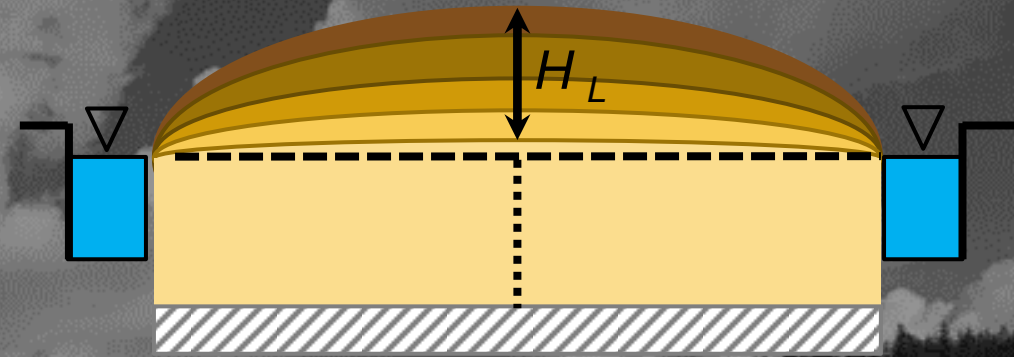
U = ricarica netta = $P - E - R$ (lunghezza/tempo)
 K = conducibilità idraulica (lunghezza/tampo)

Al centro, quando $x=L$, si può calcolare l'altezza massima:

$$\frac{U}{K} = \frac{H_L^2}{L^2}$$



Evoluzione delle torbiere e cambiamenti climatici



DigiBog

Processi che governano accumulo e degradazione

Accumulo:

$$p = 0.001(9.3 + 1.33z - 0.022(100z)^2)^2(0.1575 T_{mean} + 0.0091)$$

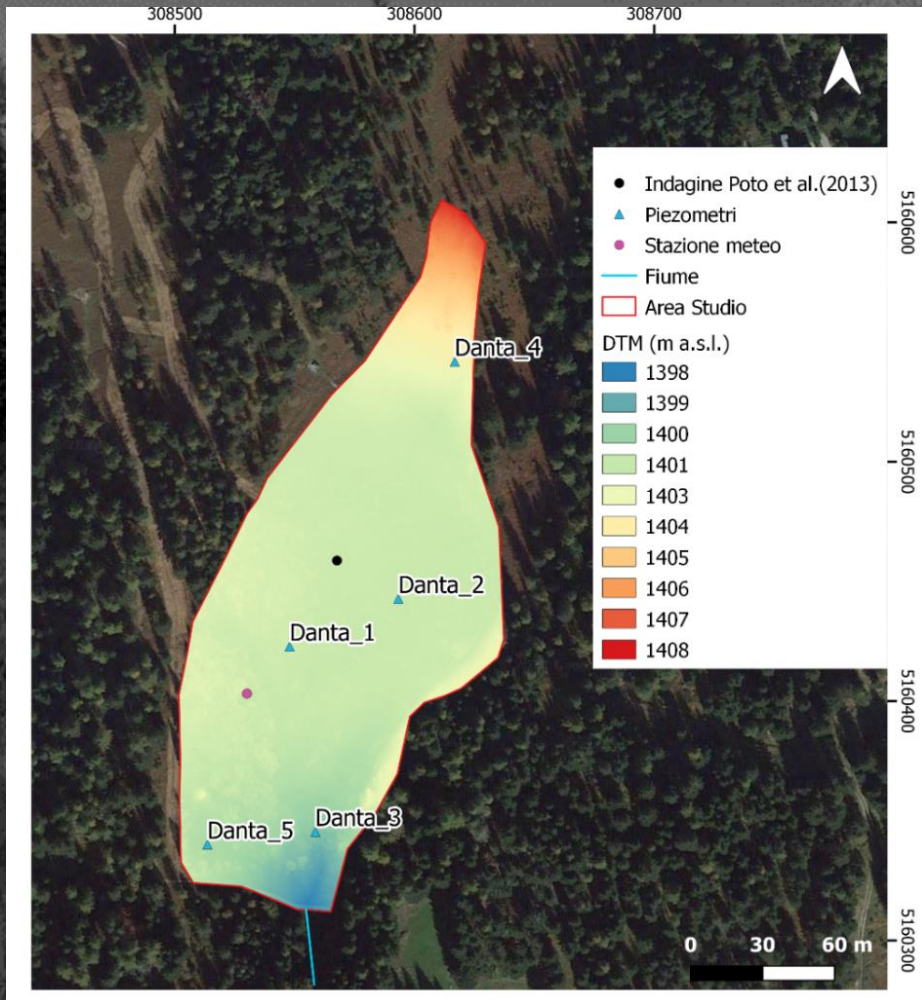
dove z = spessore strato ossigenato
 T_{mean} = temperatura media

Degradazione:

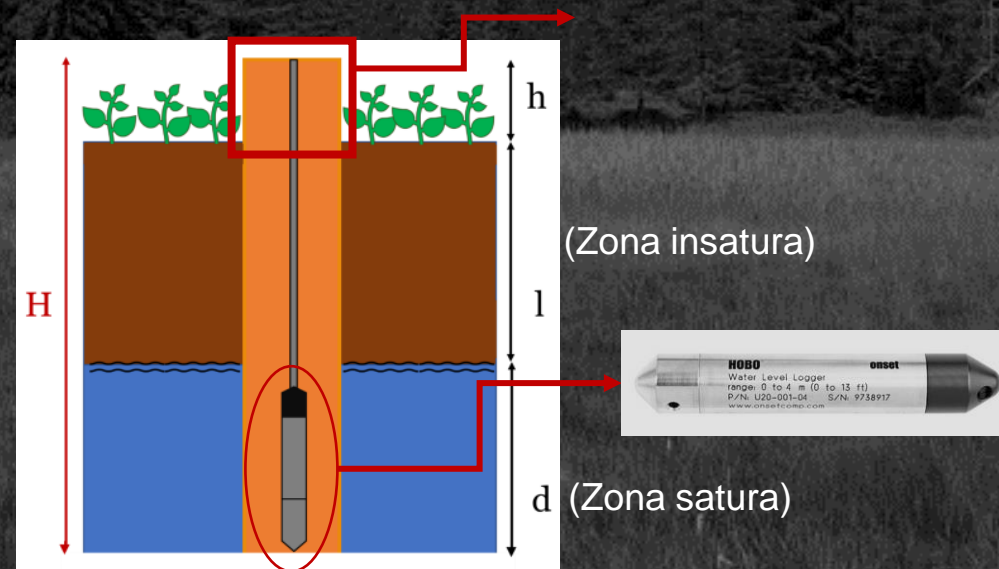
$$m_t = m_{t-1} \left[\left(ox * e^{-\Delta\alpha_{ox,T} Q_{10} (T_w - T_{BC}) / 10} \right) + \left(an * e^{-\Delta\alpha_{an,T} Q_{10} (T_w - T_{BC}) / 10} \right) \right]$$

dove ox = proporzione dello strato ossigenato;
 an = proporzione dello strato saturo
 $\alpha_{ox,T}$, $\alpha_{an,T}$ = parametri di degradazione (dipendenti da ox , an e T)
 T_w = temperatura media settimanale
 T_{BC} = temperatura di soglia di attivazione

Danta di Cadore: monitoraggio della falda freatica

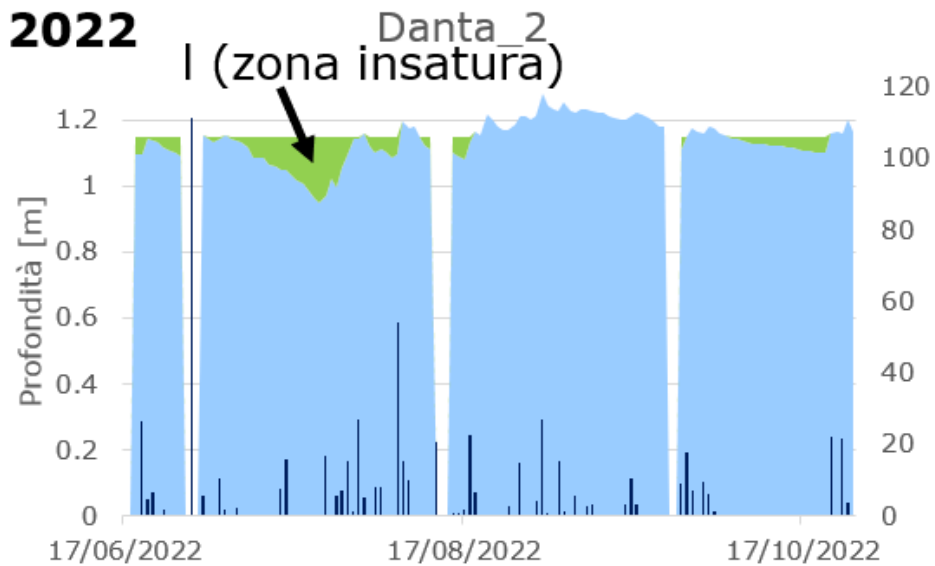


- 4 sonde nel 2022
- 5 sonde nel 2023
- Sonda per monitoraggio T e P atmosferiche



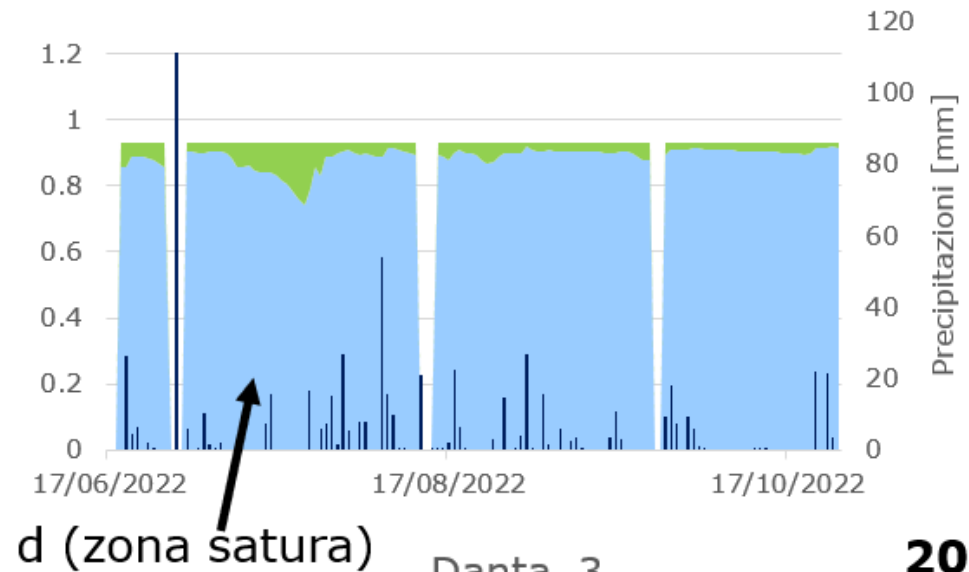
Monitoraggio della falda

2022

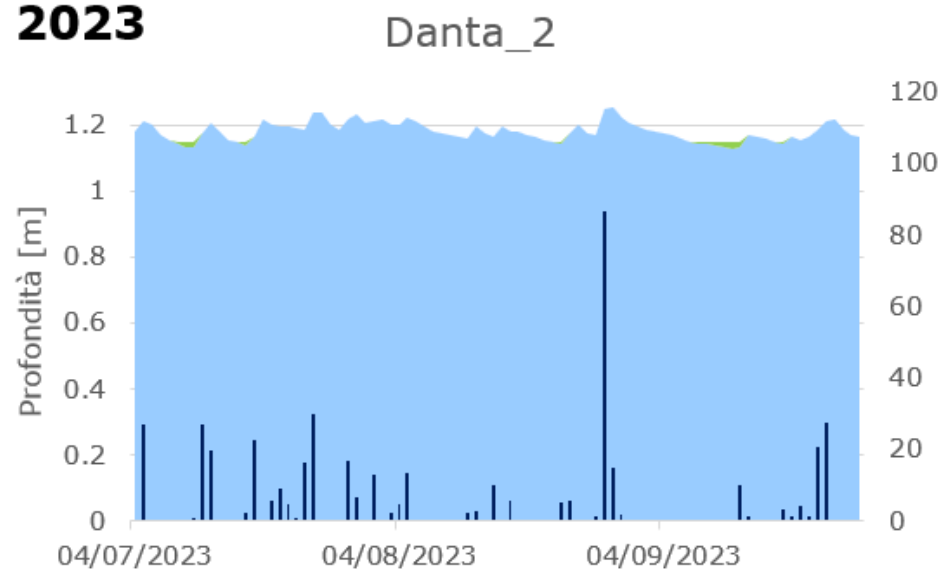


Danta_3

2022

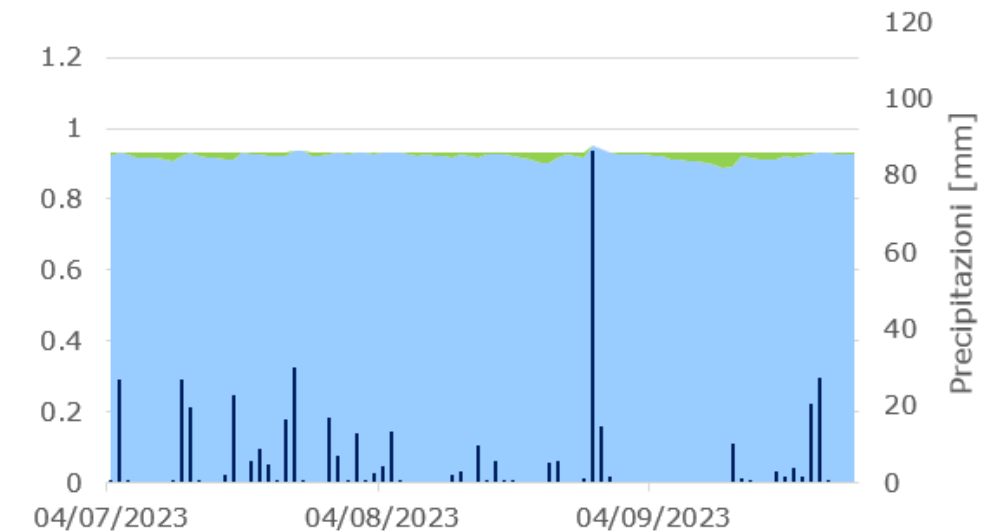


2023



Danta_3

2023

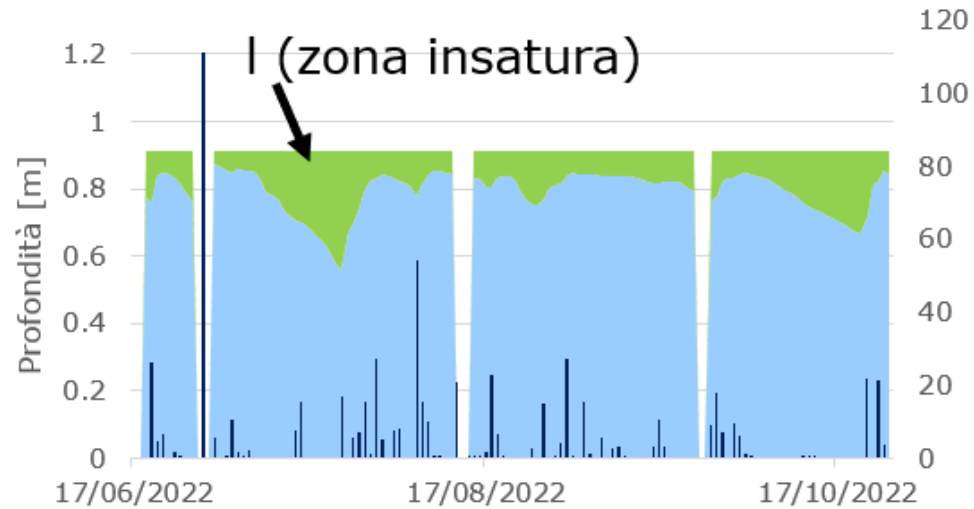


■ d [m] ■ l [m] ■ Precipitazioni [mm]

Monitoraggio della falda

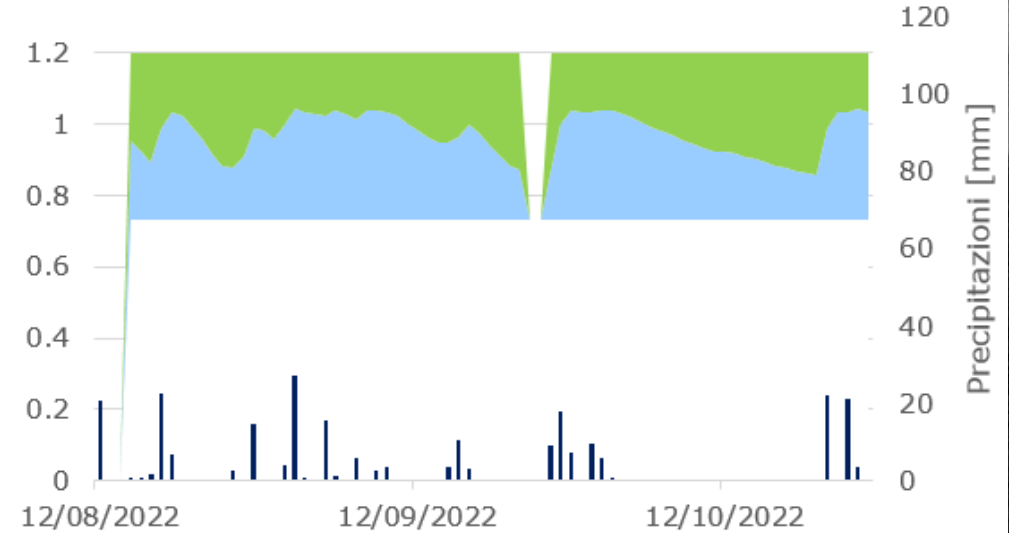
2022

Danta_4



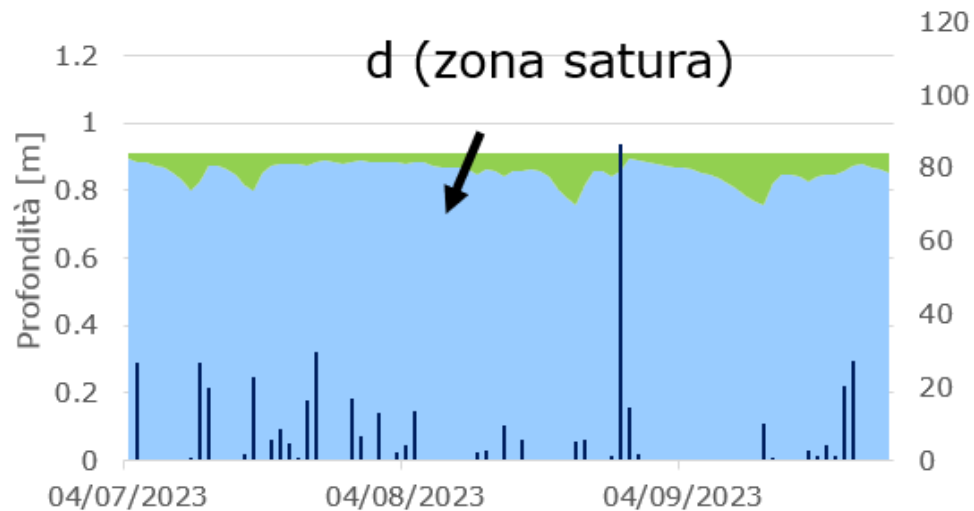
Danta_5

2022



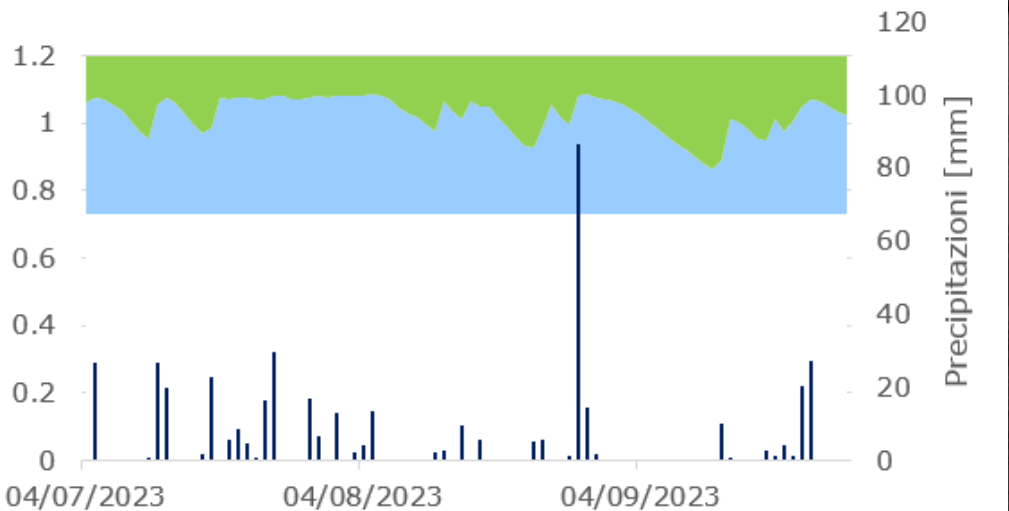
2023

Danta_4



Danta_5

2023

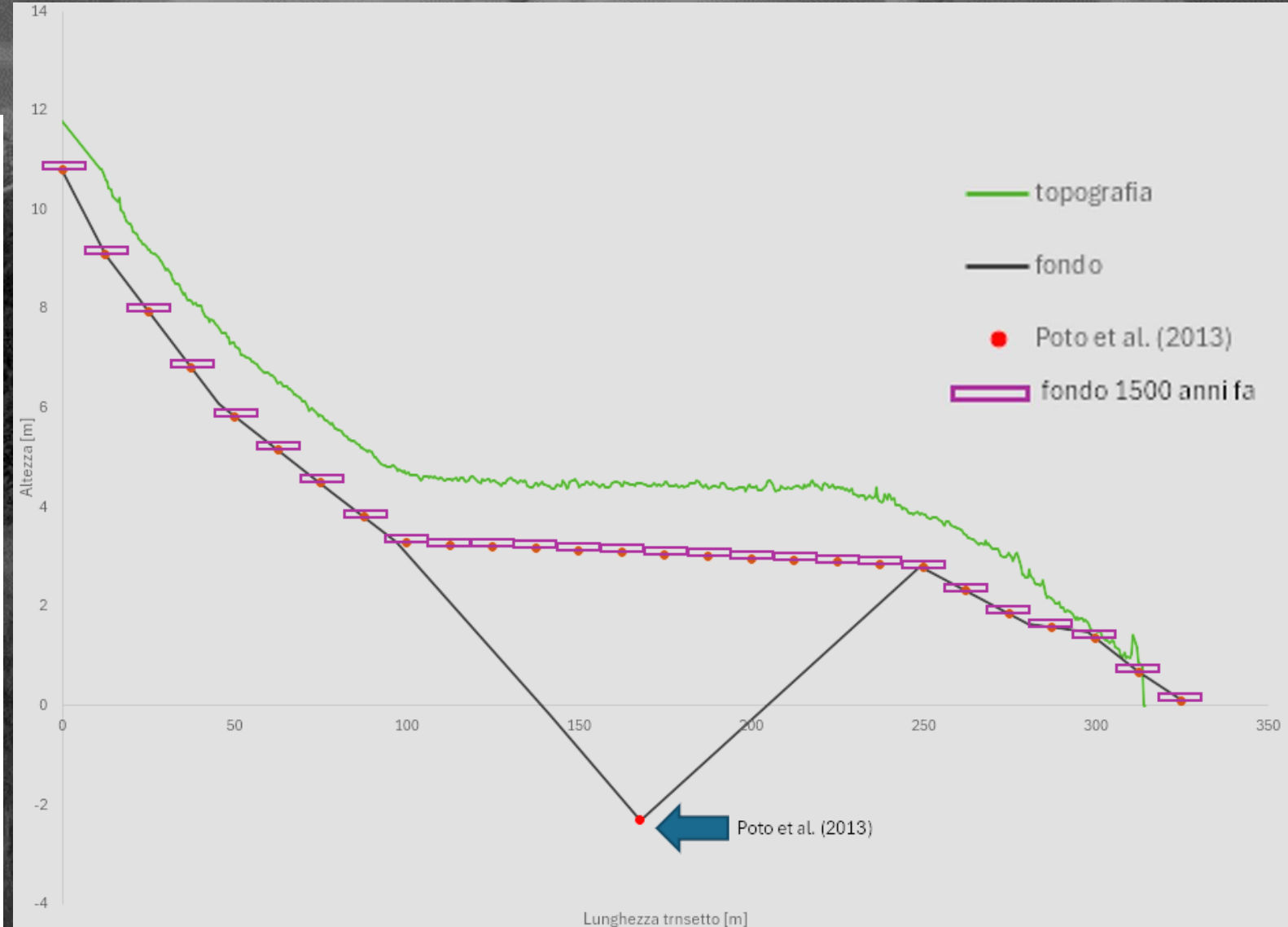
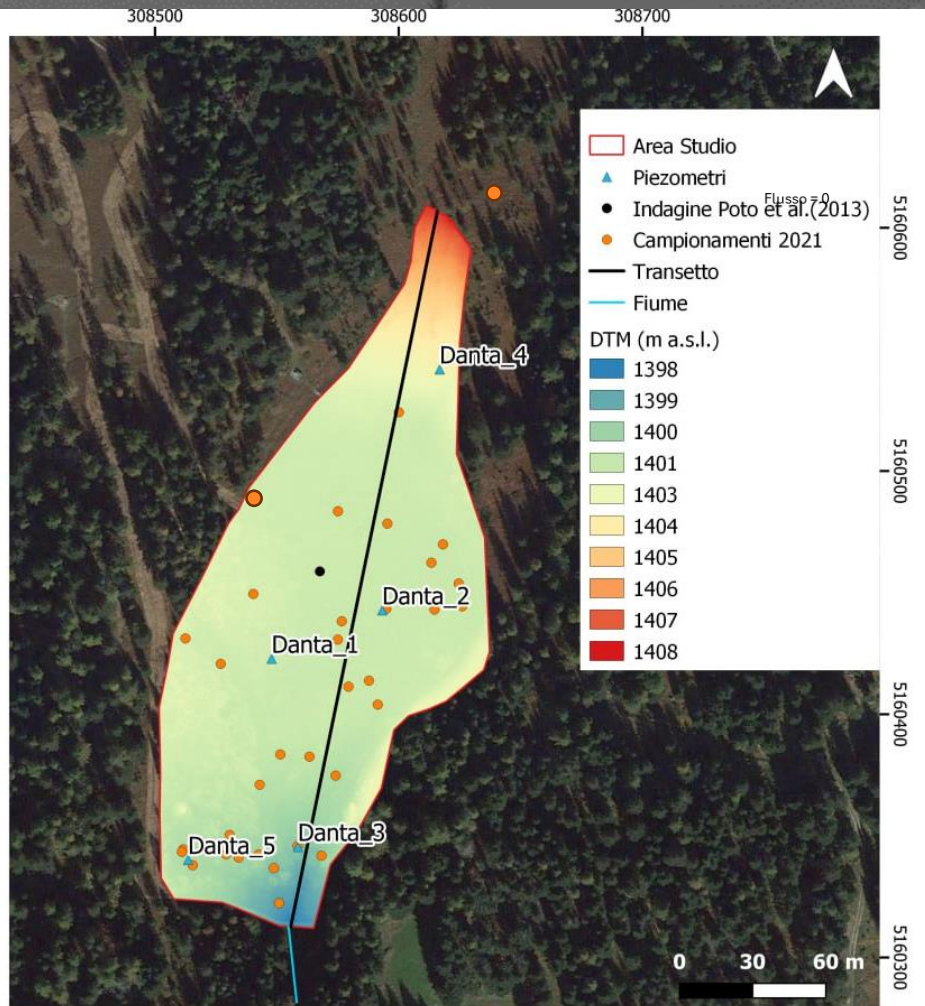


d [m] I [m] Precipitazioni [mm]

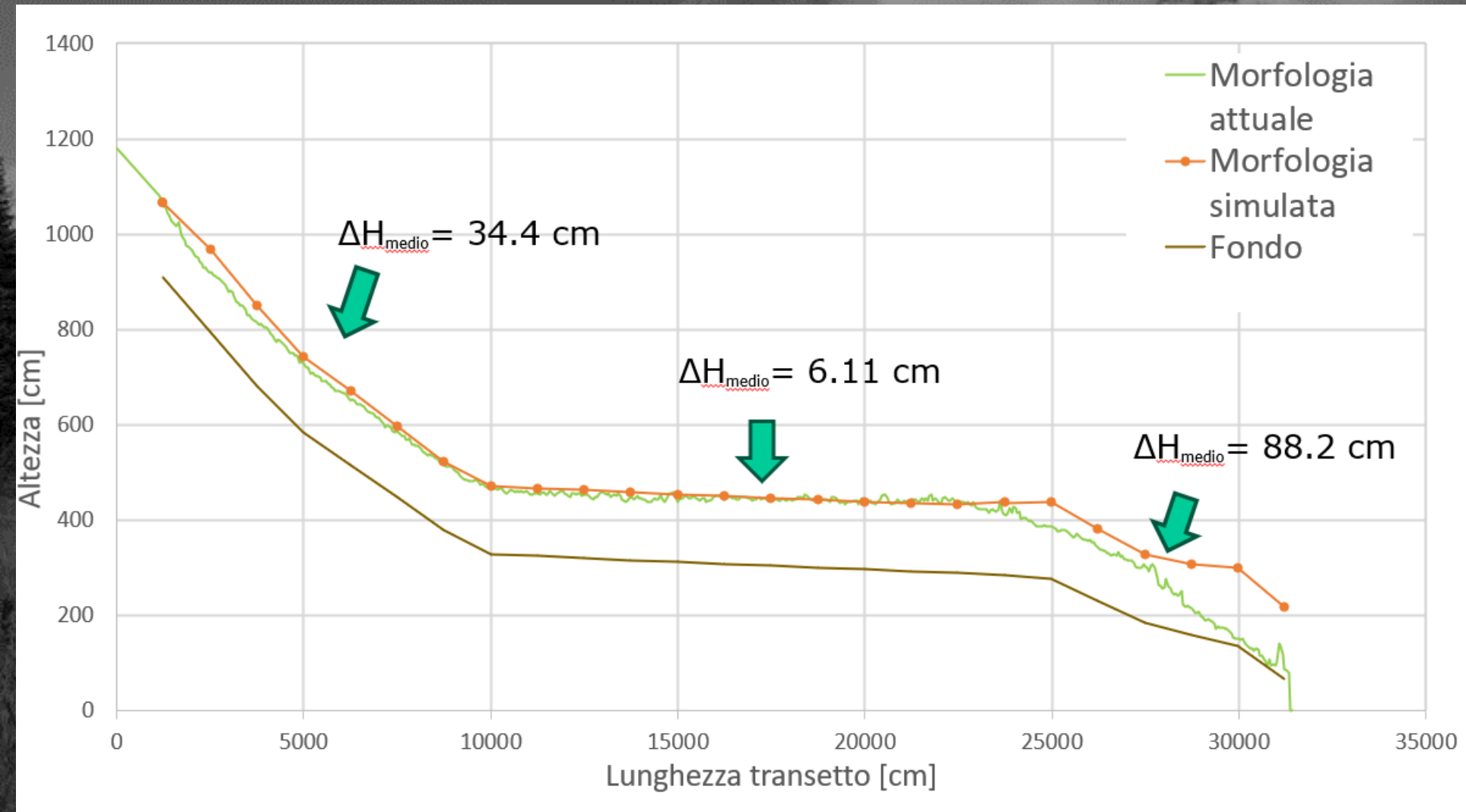
Simulazione con DigiBog: sito di Danta

- Temperatura e precipitazioni misurate dal 2010 al 2022
- Metodo di Thornthwaite (1948) per calcolo di E
- Età torbiera da Poto et al. (2013)

Lavoro di tesi di Simona Bondioli 2024



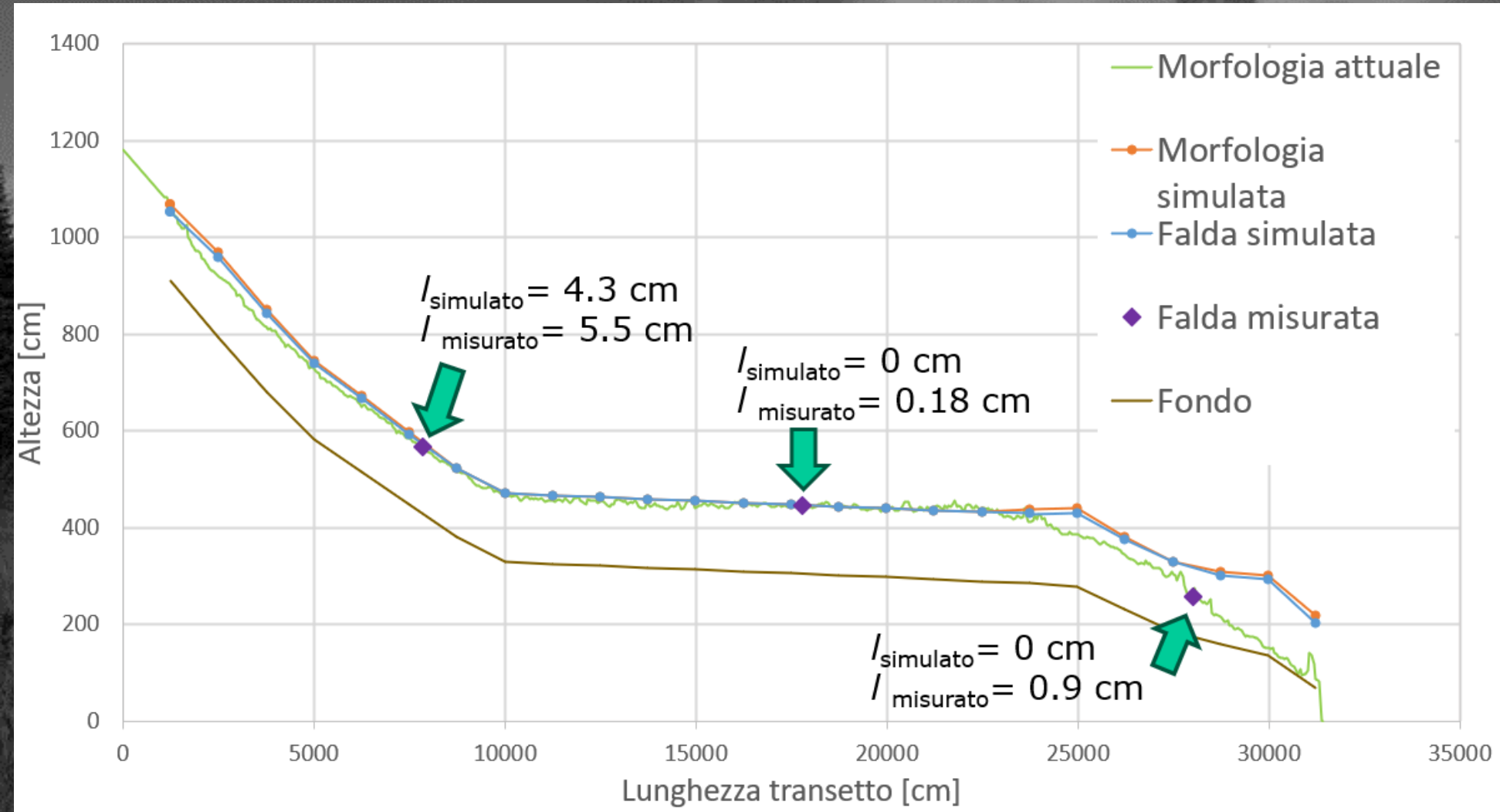
Risultati simulazione con DigiBog: profilo superficie



Limiti del modello:

- K inizialmente costante
- Crescita solo in altezza
- Crescita omogenea lungo tutto il transetto

Risultati simulazione con DigiBog: profondità della falda



- Falda simulata più alta della falda misurata
- Zona insatura simulata e misurata simili

Considerazioni finali sull'EVOLUZIONE delle torbiere

DigiBog simula accuratamente l'evoluzione della torbiera di Danta nella porzione centrale, ma ha dei limiti perché K è inizialmente costante, e la torbiera può crescere solo in altezza (non si espande lateralmente).

WORK IN PROGRESS - Le **conseguenze dei cambiamenti climatici** vanno previste con grande accuratezza perché potrebbero incrementare l'accumulo della torba nelle torbiere alpine.



Grazie dell'attenzione !!

Sonia Silvestri

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali

Via S.Alberto 163, Ravenna

Cell. 331 6083434

sonia.silvestri5@unibo.it

<https://www.unibo.it/sitoweb/sonia.silvestri5>



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

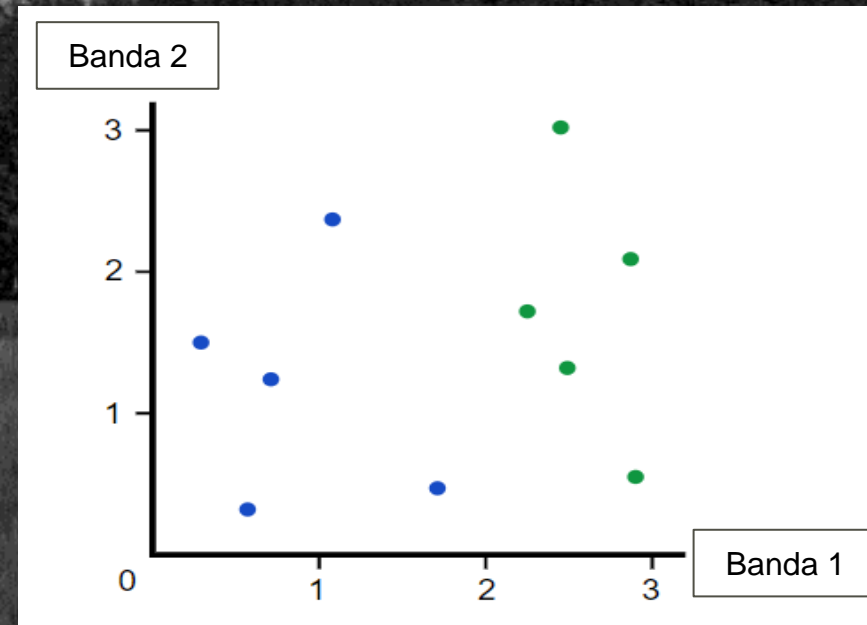
Classificazione controllata di tipo Random Forest

La **Random Forest** é una **classificazione «controllata»** vale a dire che va fatto un **training all'algoritmo** in modo che **«impari» a classificare** i pixel di un'immagine, attribuendo ad ogni pixel una **«classe»**, ad esempio classe **«BOSCO»**, classe **«TORBIERA»**, classe **«PRATO»**, ecc.

Supponiamo di avere **1 immagine di 10 pixels** acquisita con un sensore con solo **2 bande**.

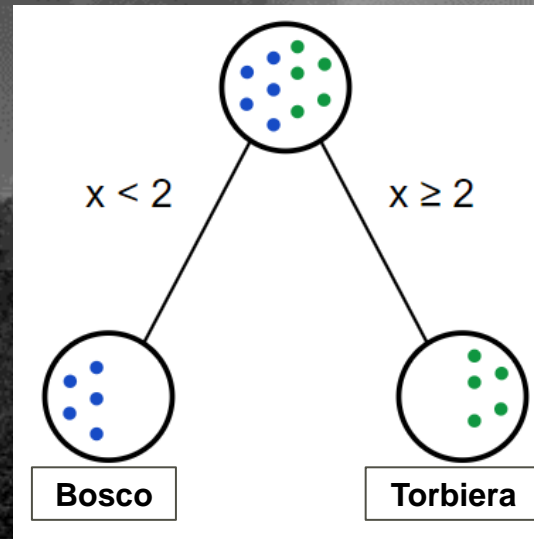
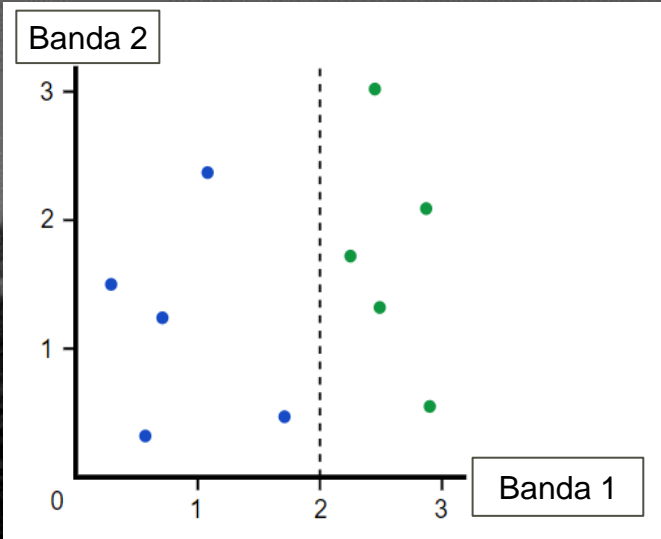
Supponiamo anche che questa immagine contenga 5 pixel che individuano una **«Torbiera»** e 5 pixel che individuano un **«Bosco»**

Possiamo analizzare questa immagine mettendo le due bande come assi del piano cartesiano in modo che i 10 pixels siano dei punti del piano.



Classificazione controllata di tipo Random Forest

Possiamo separare i pixel usando un semplice “decision tree” con un solo split in 2 nodi:



Ma come decidiamo se questo è un buono split?

Gini Impurity

$p(i)$ = probabilità di estrarre il pixel i

C = numero classi totali

$$G = \sum_{i=1}^C p(i) * (1 - p(i))$$

Calcoliamo il **Gini Impurity del nodo iniziale:**

$$G = p(1) * (1 - p(1)) + p(2) * (1 - p(2)) \\ = 0.5 * (1 - 0.5) + 0.5 * (1 - 0.5) = 0.5$$

Calcoliamo il **Gini Impurity dei due nodi finali:**

$$G_{\text{left}} = 1 * (1 - 1) + 0 * (1 - 0) = 0$$

$$G_{\text{right}} = 0 * (1 - 0) + 1 * (1 - 1) = 0$$

Perfect Split

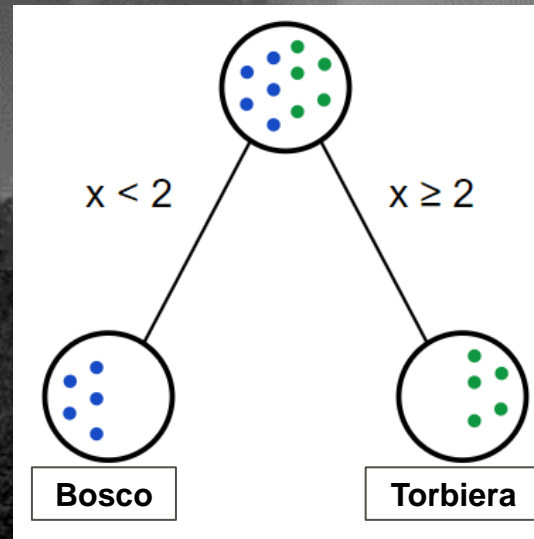
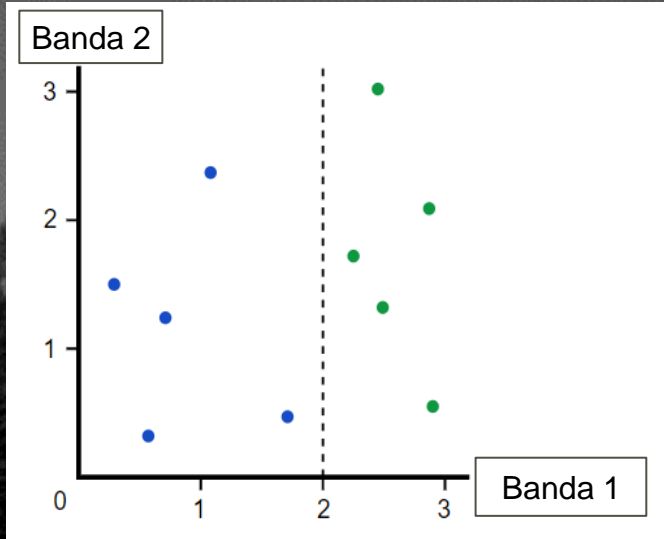
Per uno split perfetto con $C=2$ il

Gini Gain è massimo, cioè

$$\text{Gini Gain} = 0.50 - 0 = 0.5$$

Classificazione controllata di tipo Random Forest

Possiamo separare i pixel usando un semplice “decision tree” con un solo split in 2 nodi:

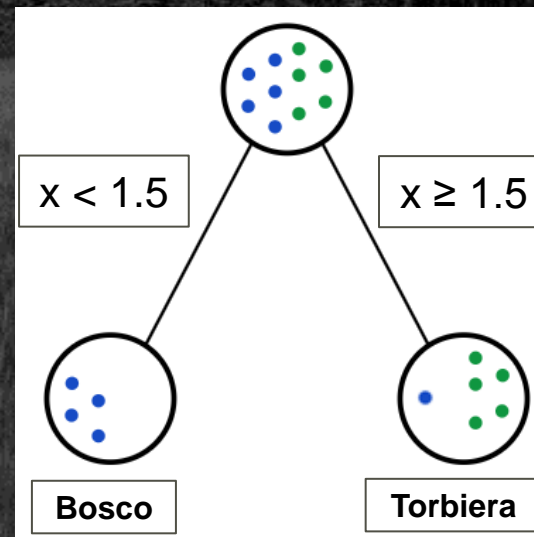
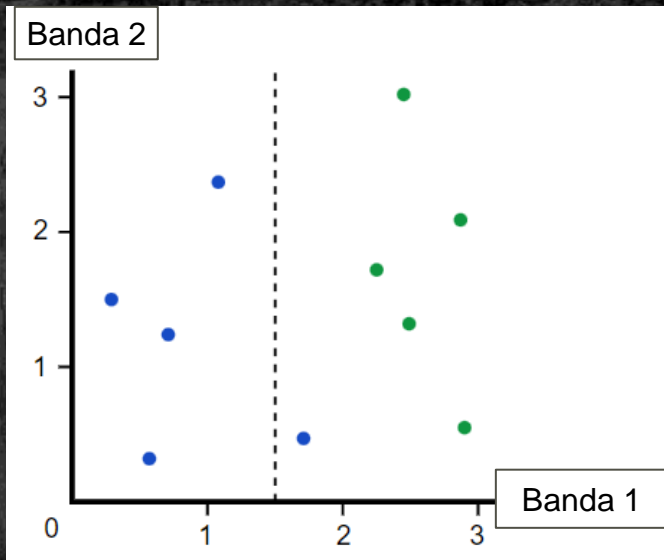


Perfect Split

Per uno split perfetto con $C=2$ il

Gini Gain è massimo, cioè

$$\text{Gini Gain} = 0.50 - 0 = 0.5$$



Imperfect Split

Per uno split imperfetto di questo tipo possiamo calcolare:

$$G_{\text{left}} = 0$$

$$G_{\text{right}} = 0.278$$

$$\text{Gini Gain} = 0.5 - 0.167 = 0.333$$

Classificazione controllata di tipo Random Forest

Conoscendo a priori alcune aree di Bosco e alcune aree di Torbiera, possiamo usarle per **fare il training** dell'algoritmo, selezionando così un albero che **massimizzi il Gini Gain**

... però se usassimo un solo albero (decision tree) per provare tutti gli split possibili per immagini con tantissime immagini, con tante features e con molte classi, ci metteremmo un tempo lunghissimo !!
Così si usa una "foresta di alberi", **Random Forest**

