

# Il downstream nazionale tra presente e futuro:

un percorso condiviso con la  
comunità degli utenti

## Stima del contenuto fogliare di N e delle potenzialità fotosintetiche da immagini PRISMA Verso una migliore rappresentazione del sequestro del C delle foreste



**Federico Magnani**

Alma Mater Studiorum Università di Bologna - DiSTAL



**Valentina Raimondi**

Consiglio Nazionale delle Ricerche - IFAC

**Giorgio Matteucci**

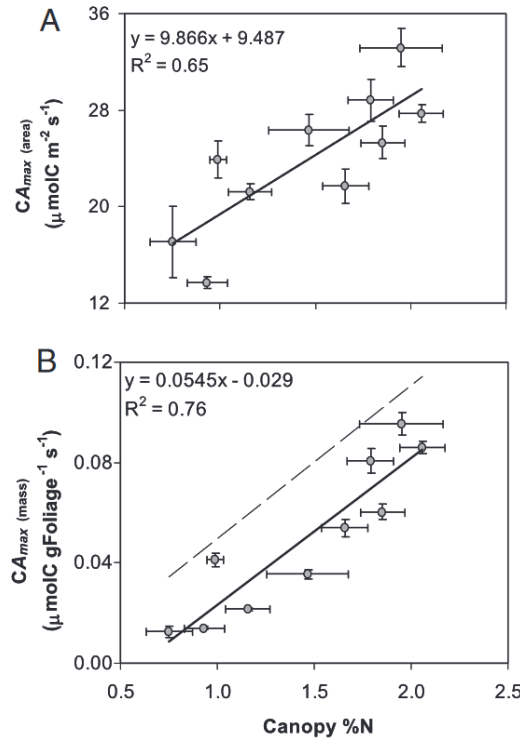
Consiglio Nazionale delle Ricerche - IBE



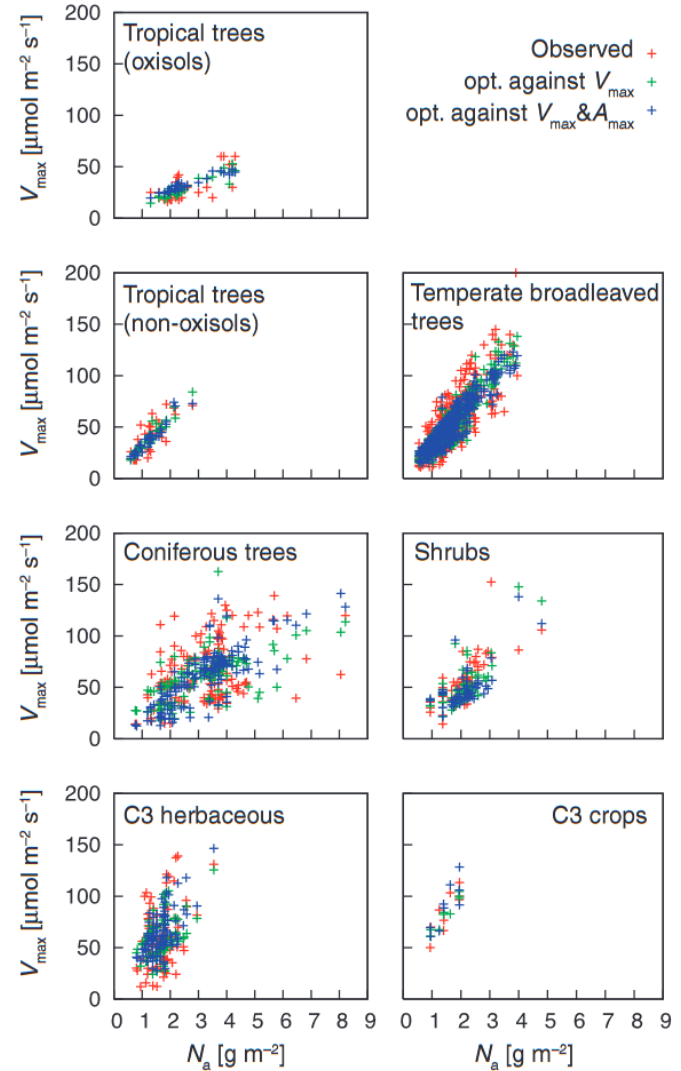


## Perchè rilevare l'N della vegetazione?

- Il contenuto di N delle foglie e delle coperture vegetali è strettamente legato alla GPP (produttività primaria lorda) e alla fissazione di C
- ...in misura particolare nelle foreste temperate e boreali, limitate dalla disponibilità di N
- Le potenzialità fotosintetiche ( $V_{\max}$ ,  $J_{\max}$ ) di foglie e coperture sono in particolare legate al contenuto di N
- ...che è anche un indice degli effetti delle deposizioni atmosferiche di N



Ollinger et al. PNAS 2008

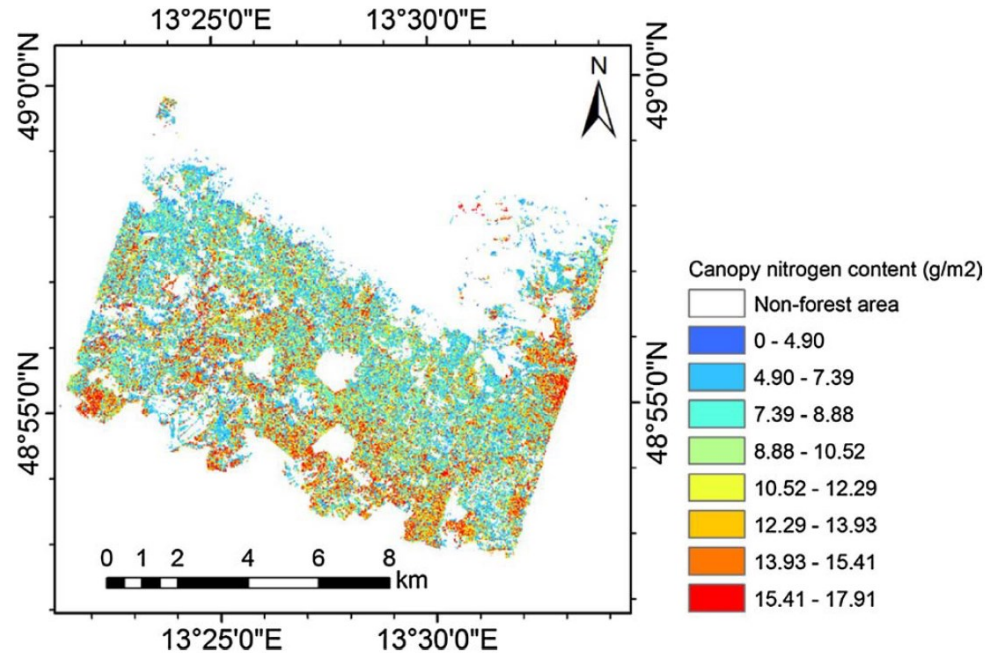


Kattge et al. 2009

## Telerilevamento di N e V<sub>cmax</sub>

Sono stati proposti diversi approcci per la stima di N e V<sub>cmax</sub> da immagini telerilevate (o spettroscopia fogliare):

- Concentrazione N determina assorbimento a 1020 , 1510, 1940, 2060, 2180, 2300 e 2350 nm. Bande NIR nascoste da assorbimento dell'acqua
- Diverse applicazioni da aereo (AVIRIS, MIVIS...) e satellite (HYPERION)
- Retrieval basato su indici normalizzati, recentemente su Partial Least Square Regression (PLSR). Buoni risultati solo con bande SWIR
- Approcci empirici affetti da interazione con fattori di disturbo (struttura), eliminabile con inversione di modelli di transfer radiativo (e.g. SCOPE, SAIL-PROSPECT)



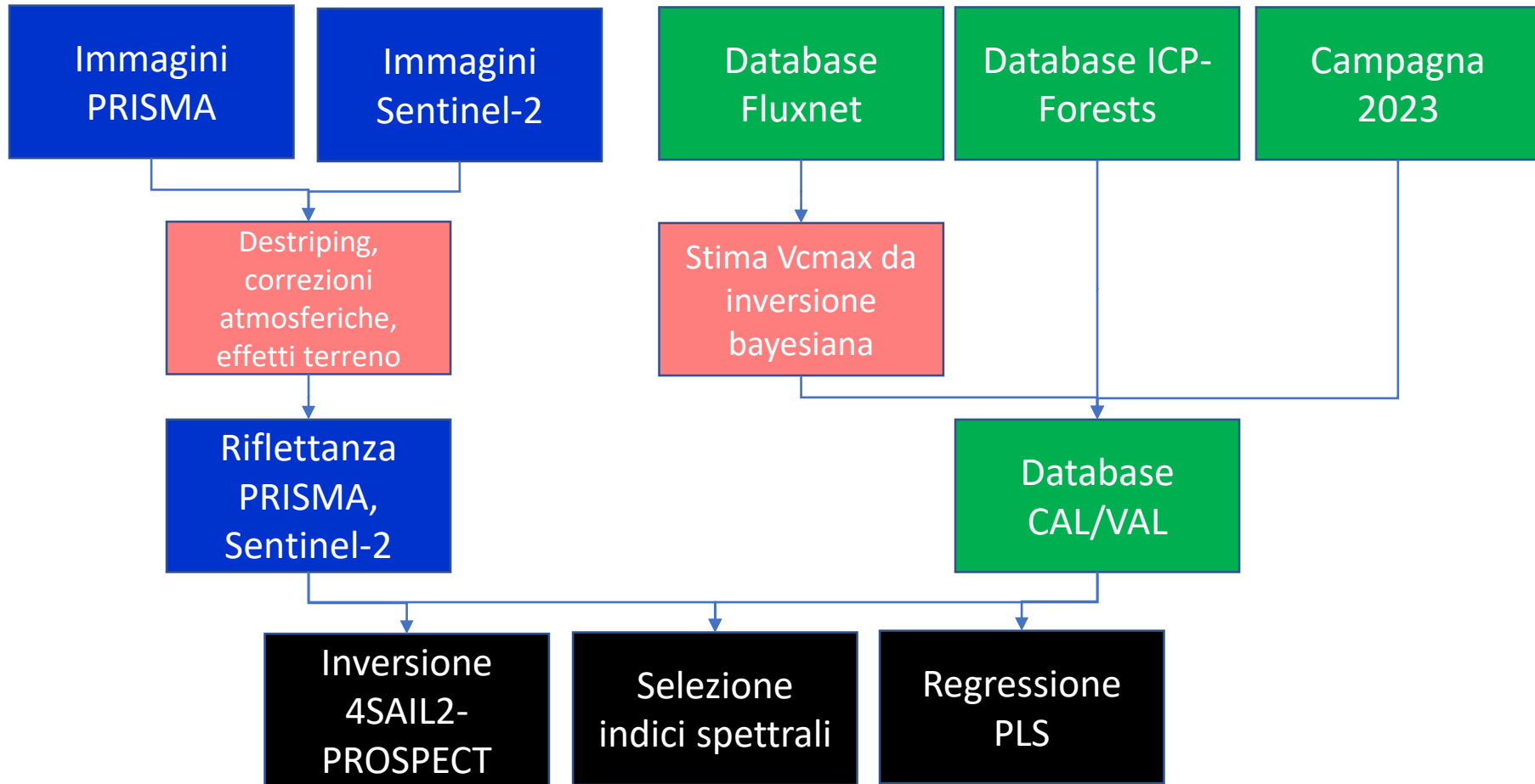
Wang et al. AFM 2018



## Obiettivi del progetto

1. metodi innovativi per la **stima della concentrazione e del contenuto di N** e delle **potenzialità fotosintetiche** delle chiome di coperture forestali, attraverso l'**integrazione di immagini iperspettrali PRISMA con due reti di monitoraggio (ICP Forests, FluxNet)**
2. **valutare gli errori** associati al disaccoppiamento fra la **risoluzione spaziale** ICP Forests (5 piante), le immagini PRISMA (30 m) e la footprint delle misure FluxNet (200-500 m), attraverso due campagne dedicate
3. dimostrare l'impatto delle informazioni così ottenute per la **predizione del bilancio del C delle coperture forestali**, attraverso l'assimilazione delle immagini PRISMA in un modello biogeochimico dell'ecosistema
4. dimostrare la rilevanza dell'uso di immagini **PRISMA vs Sentinel 2**

## Organizzazione del progetto

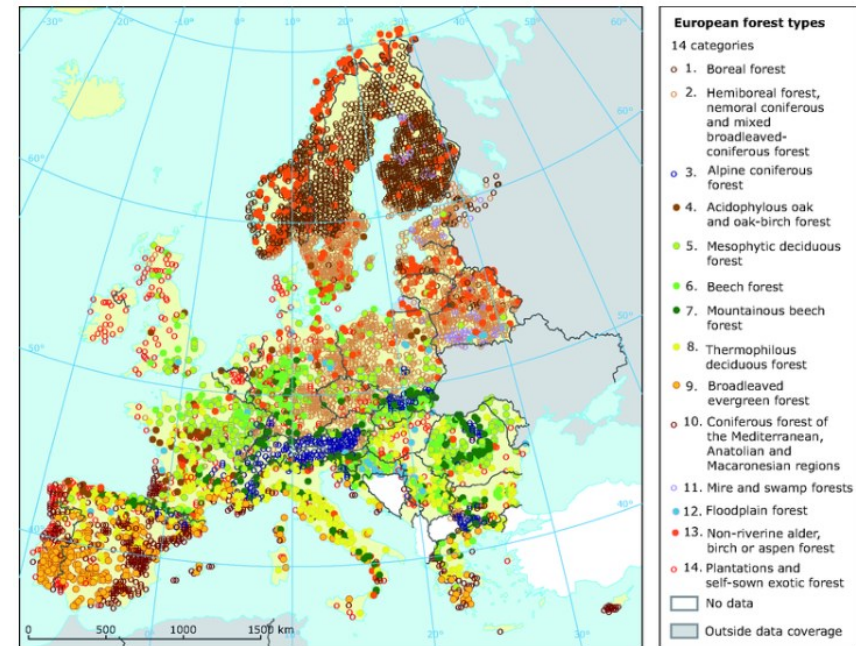
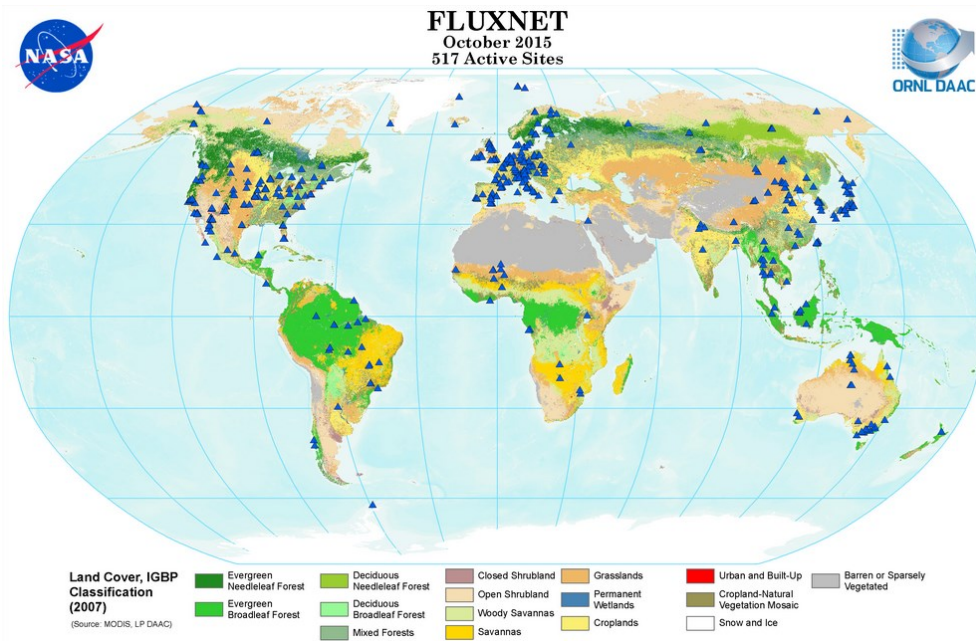


# Database per calibrazione e validazione dei modelli

## Monitoraggio dell'N e dei flussi di C: ICP Forests e FluxNet



- Sia i flussi di C sia gli effetti delle deposizioni atmosferiche di N sono monitorati a livello europeo e globale da reti di lungo termine (FluxNet, ICP Forests Level 2)
- Problematiche delle reti di monitoraggio: costo, copertura spaziale, replicabilità
- Uso nel progetto come rete di CAL/VAL
- Sviluppo di database interrogabile in Python e webGIS



A destra: rete di monitoraggio ICP Forests Livello 2 in Europa.

A sinistra: rete di monitoraggio FluxNet

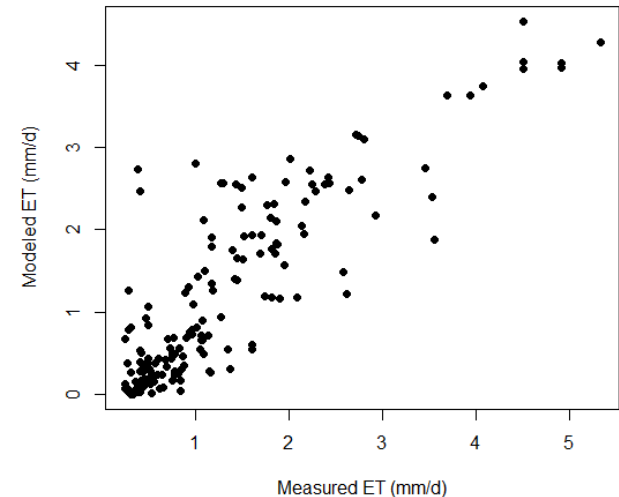
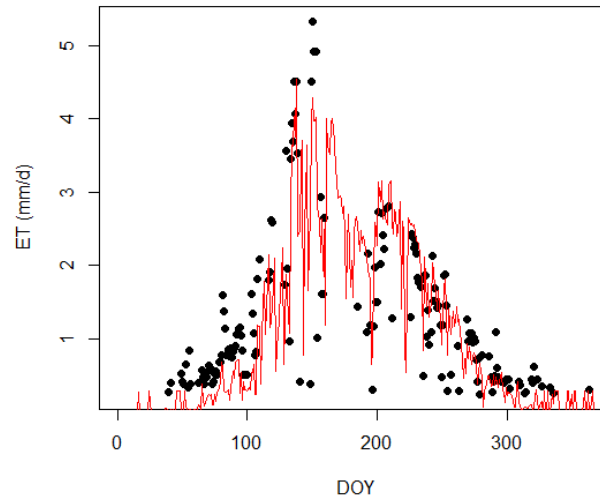
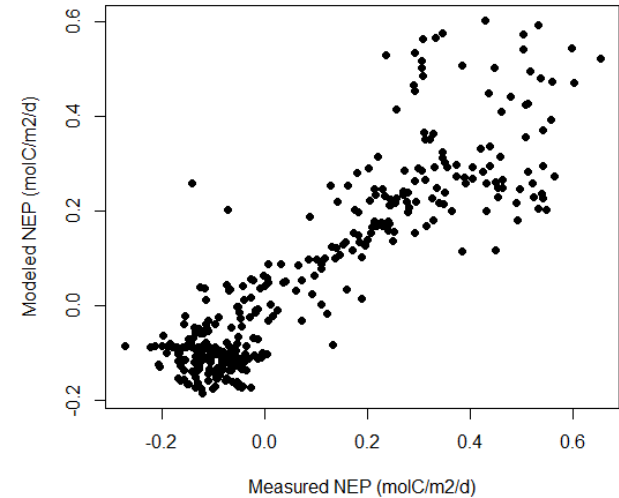
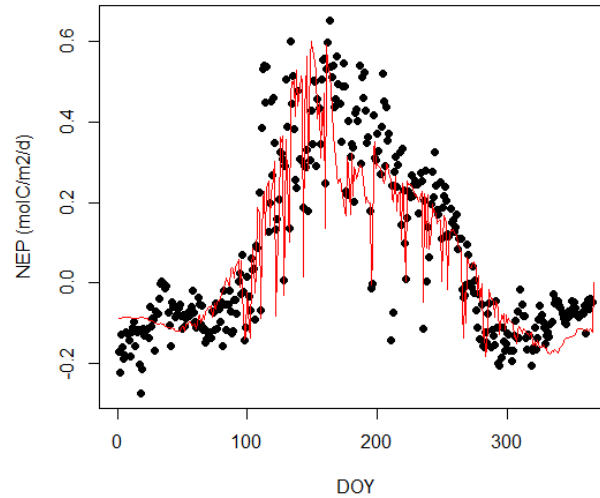
# Stima $V_{cmax}$ da dati eddy covariance siti FluxNet



## Inversione bayesiana multi-obiettivo del modello

Il modello calibrato per la stima di  $V_{cmax}$  dimostra buona capacità di catturare la variabilità stagionale di entrambe le variabili rilevate col metodo dell'eddy-covariance (NEP Net Ecosystem Productivity; ET ecosystem evapo-transpiration)

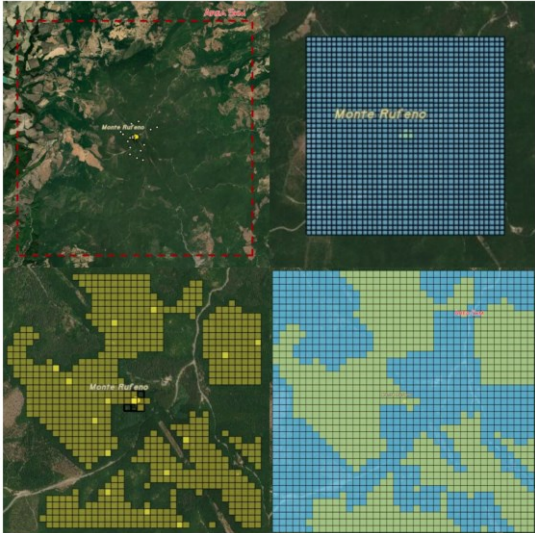
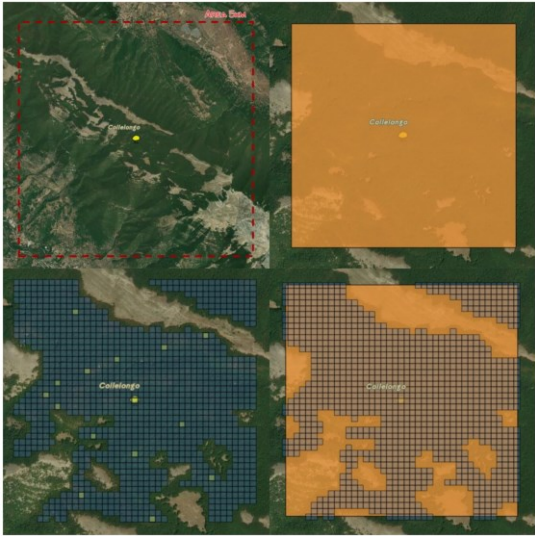
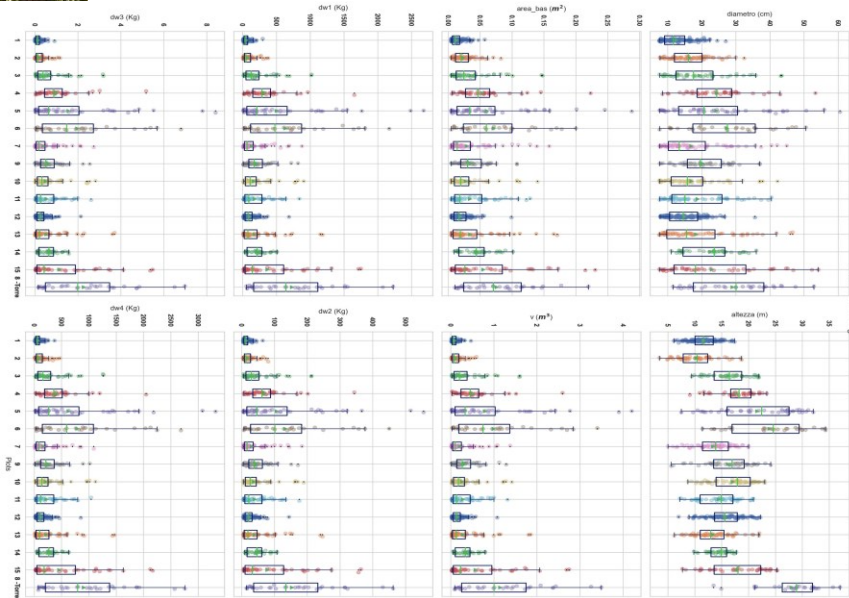
L'uso di entrambe le variabili permette una calibrazione più robusta del modello, limitando i problemi di equifinalità e di cross-correlation fra le stime delle variabili



# Analisi variabilità spaziale N

## Campagna a terra 2023: Collelongo e Monte Rufeno

- Dopo l'analisi della variabilità spaziale si è scelto di operare in un quadrato di 2km x 2km.
- Abbiamo utilizzato delle maschere bosco/non bosco con fotointerpretazione a video per selezionare le patches del campionamento.
- La selezione è stata del tipo sistematica non allineato per individuare i 15 punti dei 15 plot, applicato dall'Inventario Forestale secondo un criterio ragionato  $k=N/n$ .





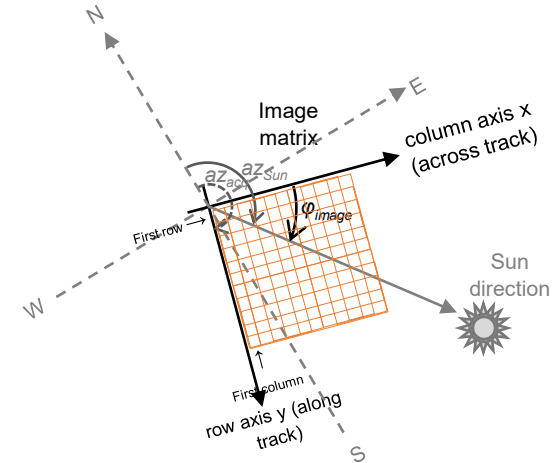
## Destriping, correzioni atmosferiche, effetti del terreno

Correzione per effetti del terreno importante in siti montani (tipici delle foreste) e alta risoluzione spaziale

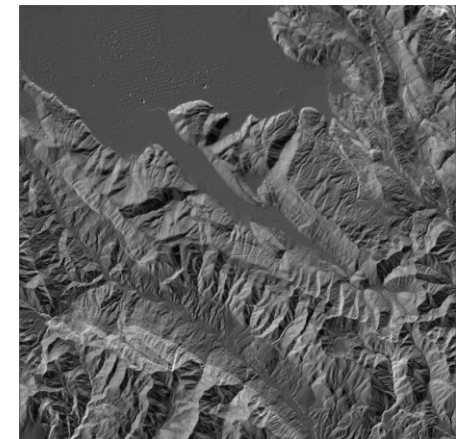
### Modello inverso (CNR-IFAC):

- ✓ Stima (ordine 0) della **riflettanza**  $\rho$  del terreno osservato (noti i differenti contributi alla radianza acquisita).
- ✓ Modello iterativo per la determinazione della **riflettanza**, tenendo conto degli effetti di adiacenza tra pixel al suolo [1]
- Implementazione utilizzo del **DEM**

Il DEM viene letto da file, estratto (limitatamente al segmento di interesse) e re-interpolato su ciascun pixel corrispondente all'immagine satellitare PRISMA (si utilizzano i metadati corrispondenti alle matrici di latitudine e longitudine).



Sistema di riferimento per immagine satellitare e dato DEM



Angolo di incidenza Sole - superficie

[1] Guzzi, D.; Nardino, V.; Lastrì, C.; Raimondi, V. A Fast Iterative Procedure for Adjacency Effects Correction on Remote Sensed Data. *Remote Sens.* 2021, 13, 1799. <https://doi.org/10.3390/rs13091799>

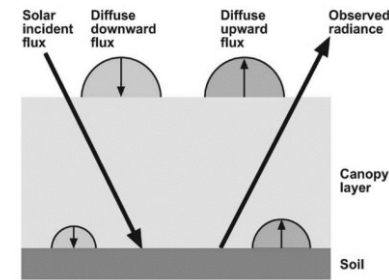


## Modulo PROSPECT-PRO

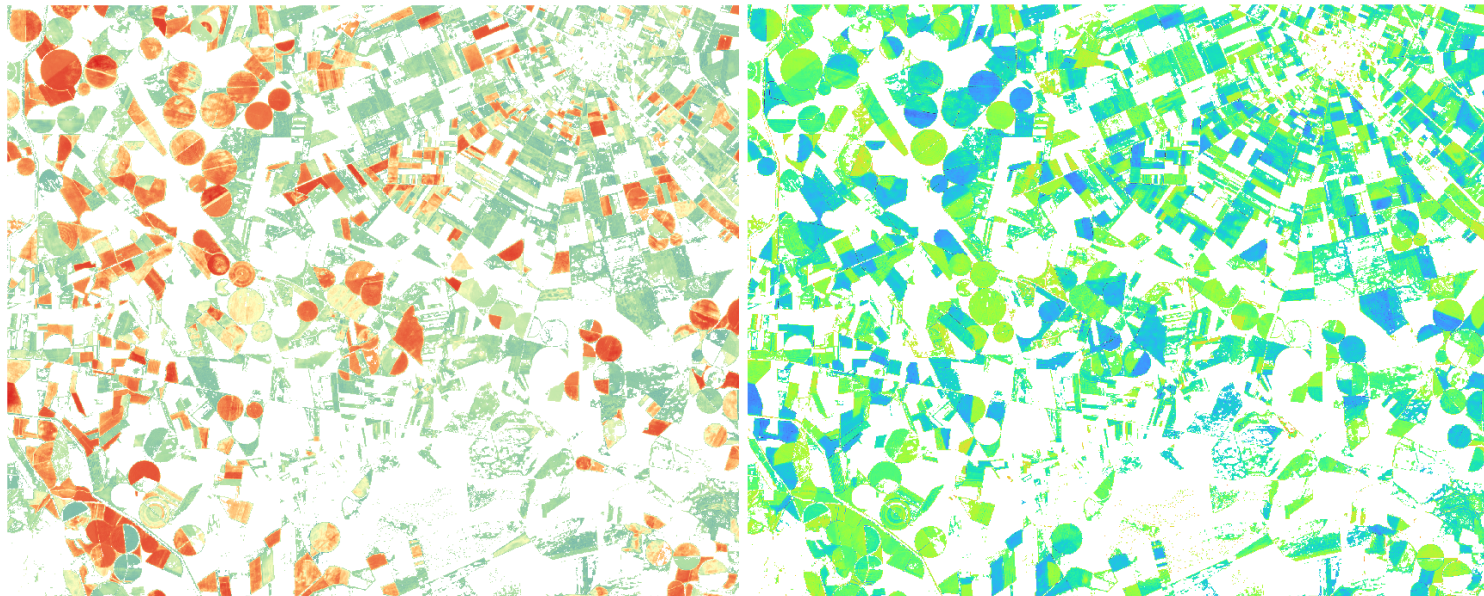
- PROSPECT-PRO (Féret et al. 2021) ha incluso l'aggiunta del contenuto fogliare di azoto proteico, separando i costituenti a base di azoto (proteine) dal CBC (tra cui cellulosa, lignina, emicellulosa e amido).
- identificati sottodomini spettrali ottimali per il recupero delle proteine fogliari (2125-2174 nm) e del contenuto CBC (2025-2349 nm)

## Modulo 4SAIL2

- Ultima versione del modello TR SAIL con (i) modello BRDF non lambertiano del suolo e (ii) considerazione di vegetazione con copertura <math>< 1</math>. Simulazioni più realistiche di acquisizioni direzionali e coperture forestali



Esempio della procedura di inversione del modello 4SAIL2-PROSPECT-PRO per la stima del LAI (a sinistra) e del contenuto di N (a destra).

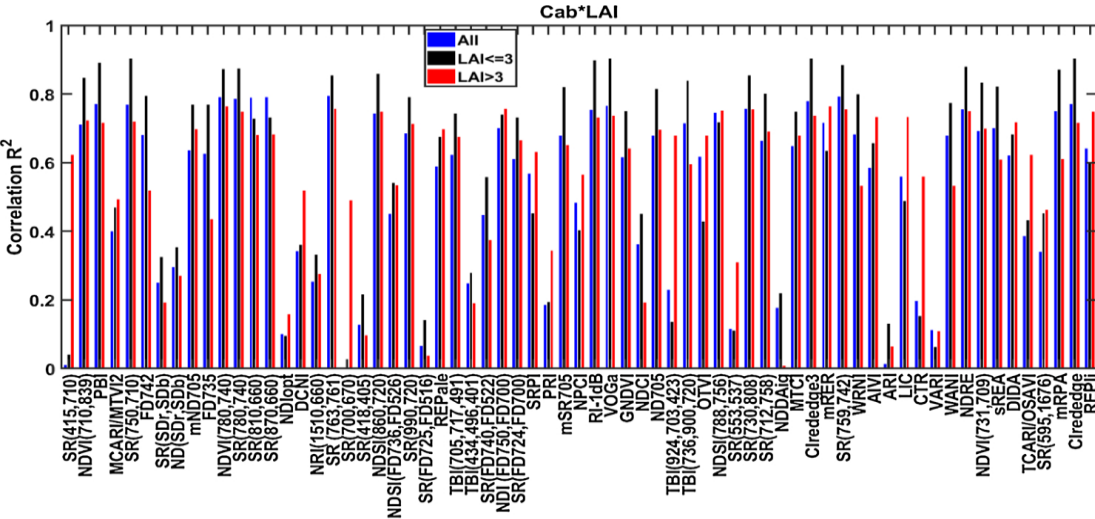




# Retrieval da indici spettrali e regressione PLS

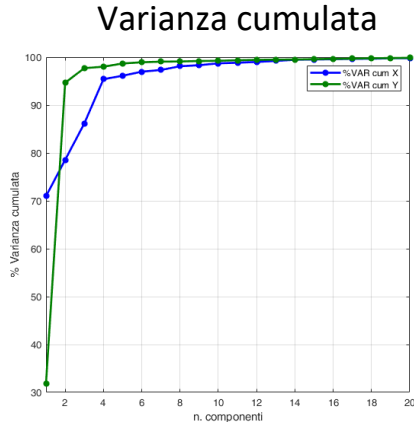
## Selezione indici da letteratura

Valutati e scelti degli indici di vegetazione (VIs) che meglio-correlano con il contenuto foliare di azoto (N) ed il tasso massimo di carbosilazione (V<sub>cmax</sub>) – tenendo conto anche del LAI – e che sono stimabili usando le bande spettrali di PRISMA.



## Metodologia di regression Partial Least Squares

Un numero molto limitato di componenti (4) permette di stimare la variabile Y con accuratezza e minimizzando l’overfitting. Il metodo permette, attraverso la massimizzazione della cov(X,Y) di fornire predittori robusti ed interpretabili.



## Possibili applicazioni downstream

Si prevede che le metodologie messe a punto e calibrate nell'ambito del progetto possano portare alle applicazioni downstream:

1. Stima  $N$ ,  $V_{cmax}$  su scene PRISMA: utilizzo degli algoritmi ottimizzati e deicodici 4SAIL2-PROSPECT per stime su intere immagini PRISMA
2. Stima  $N$ ,  $V_{cmax}$  su scene Sentinel-2: utilizzo degli algoritmi ottimizzati per la stima su intere immagini (potenzialmente implementabile in SNAP)
3. Utilizzo delle stime da intere immagini (vedi sopra) per estrapolazione spaziale dei dati di monitoraggio ICP-Forests
4. Utilizzo delle stime da intere immagini (vedi sopra) per stima regionale  $V_{cmax}$  ad alta risoluzione, miglioramento delle simulazioni DVMs

