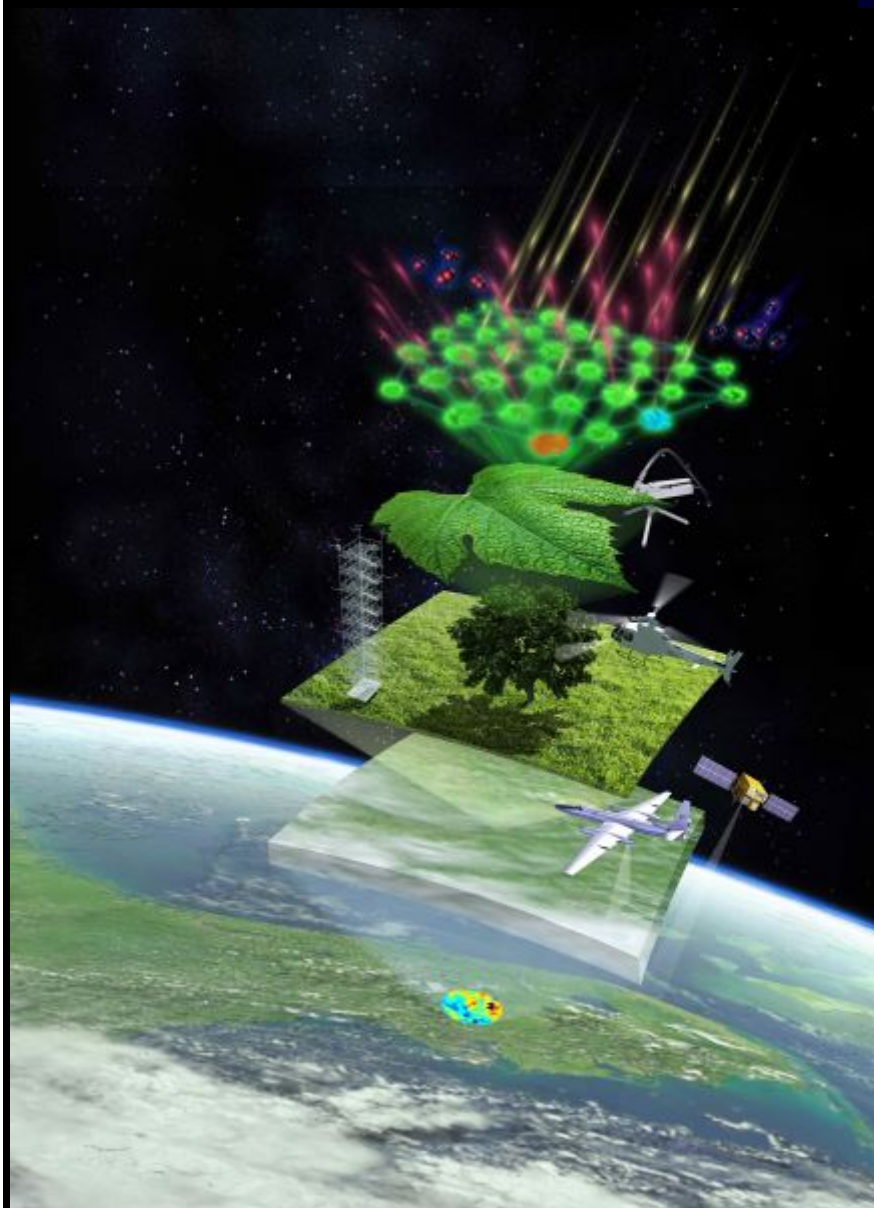


Misurare dallo spazio la produttività di foreste e colture agricole

Perchè e come si fa?

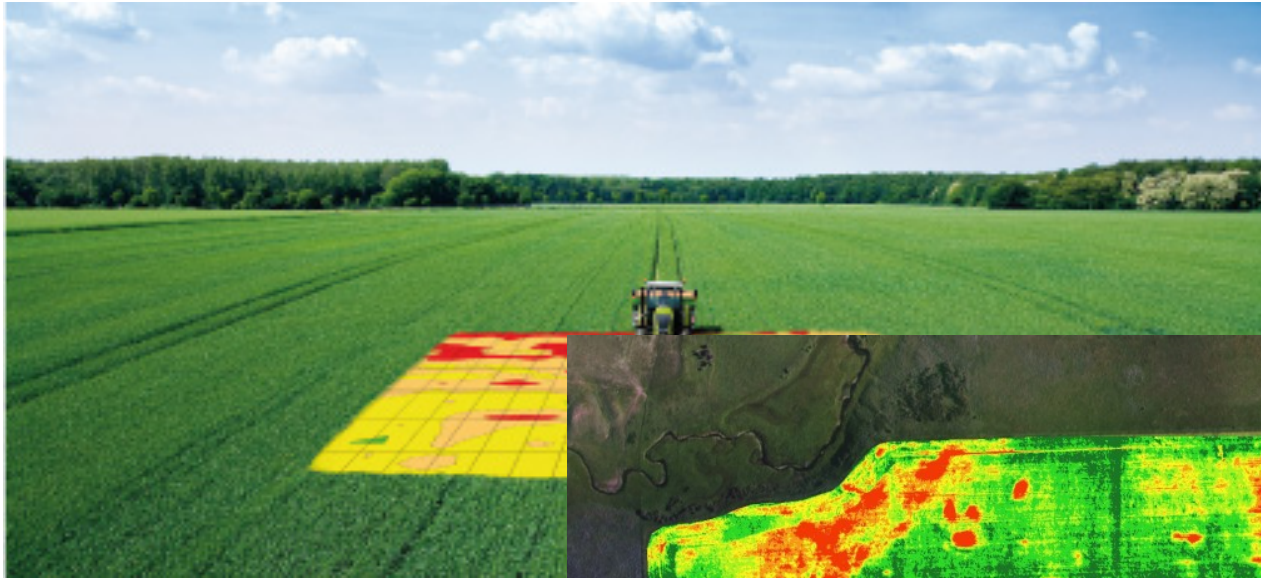
Federico Magnani

Dipartimento di Scienze Agrarie
Alma Mater - Università di Bologna



Perchè misurare la produttività dallo spazio?

La produttività delle colture varia nel tempo e nello spazio

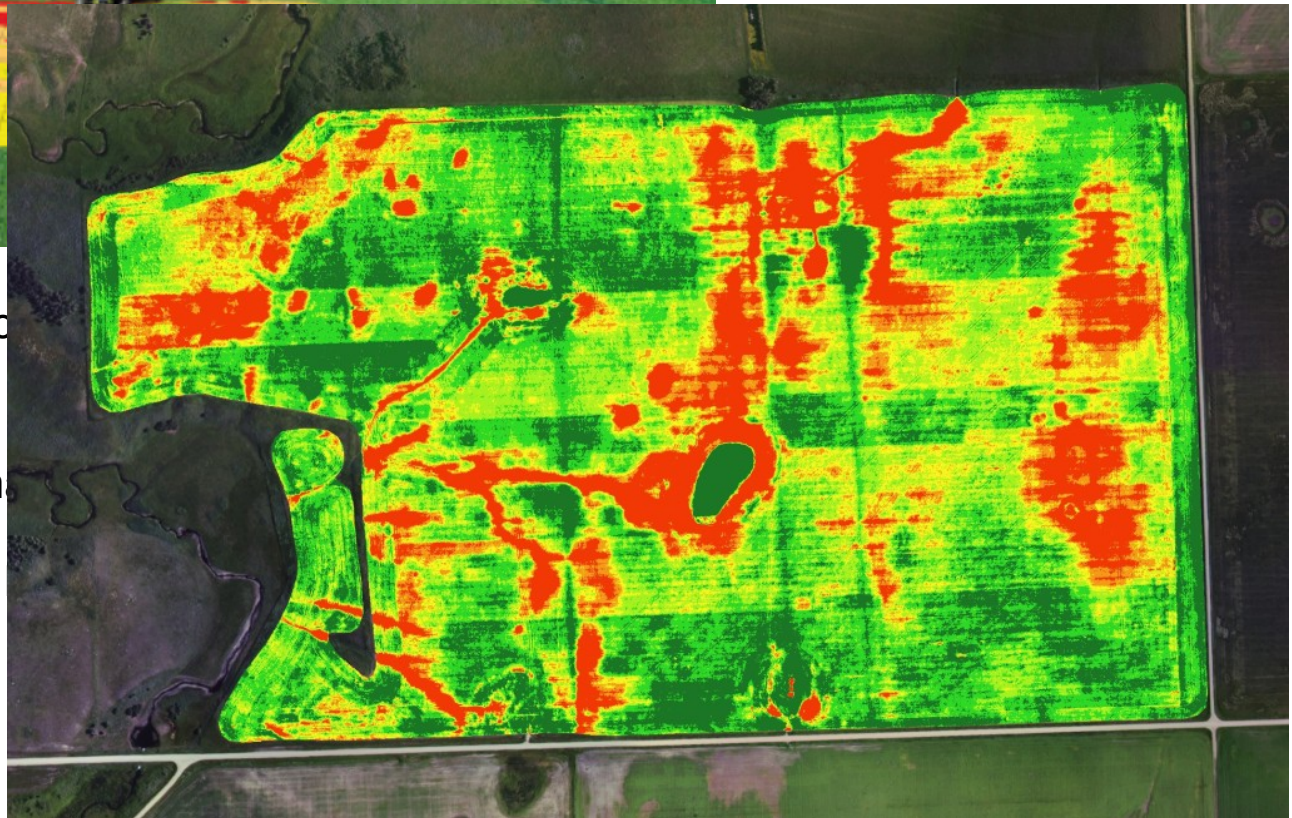


Mappe da satellite per
grandissime superfici
permettono di diluire i
costi

La produttività delle co

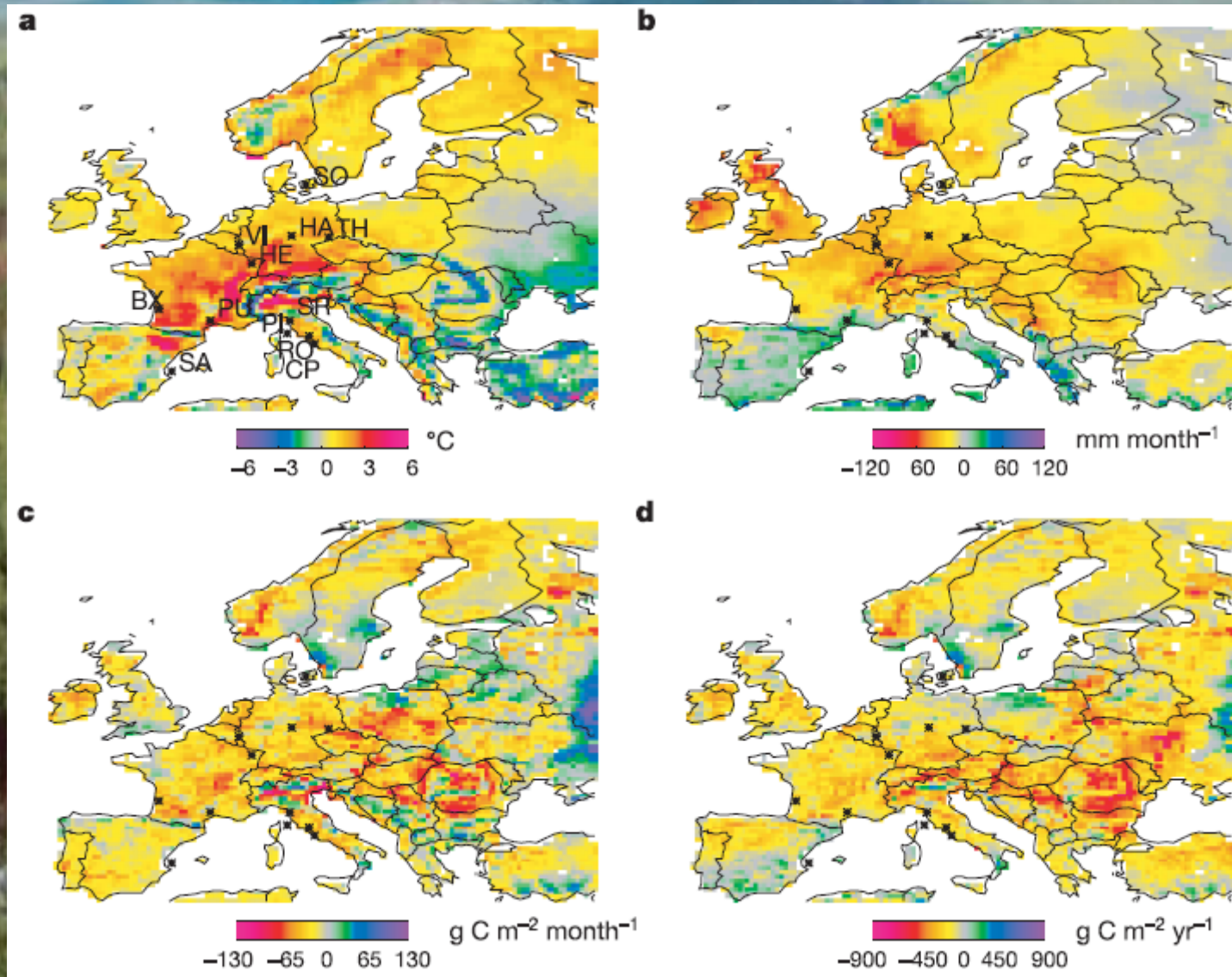
Una m

Possiamo aggiornare



Perchè misurare la produttività dallo spazio?

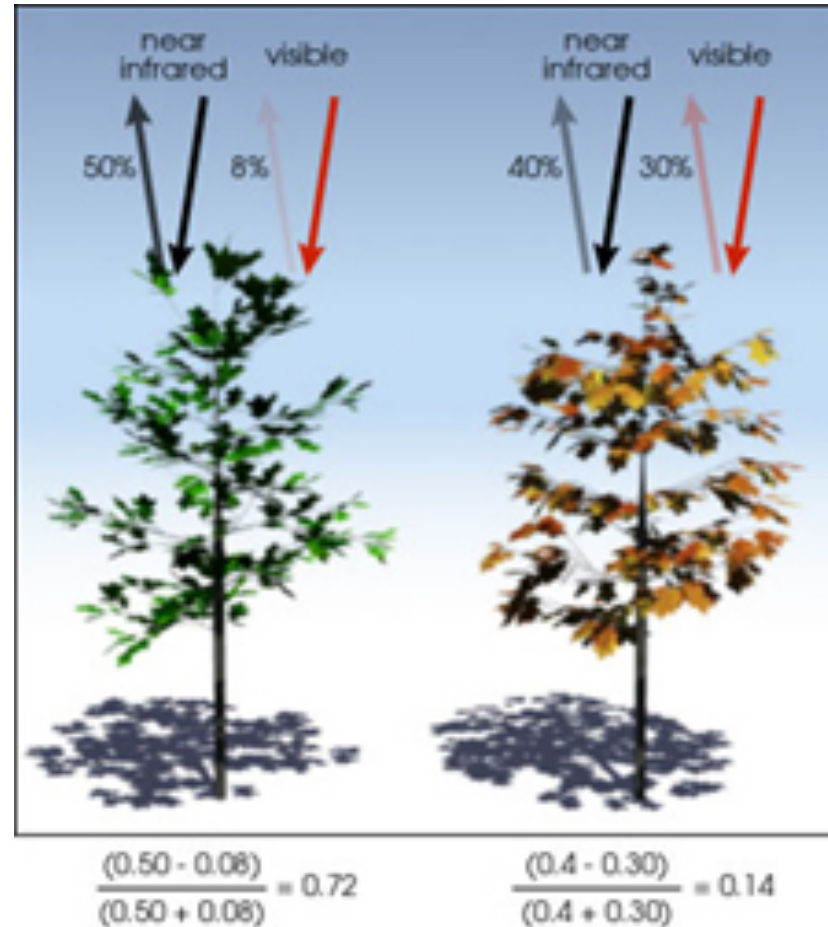
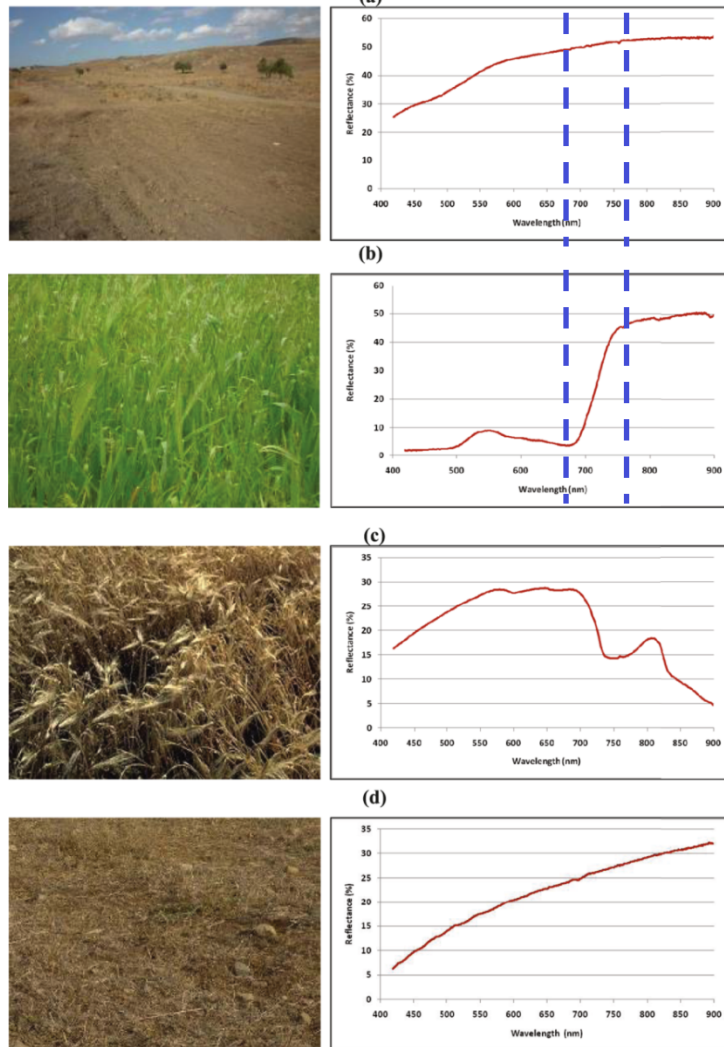
Non si manda un trattore a misurare lo stress delle foreste!



Misura della quantità di foglie dallo spazio

Firme spettrali e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

“Firme spettrali” di suolo e vegetazione



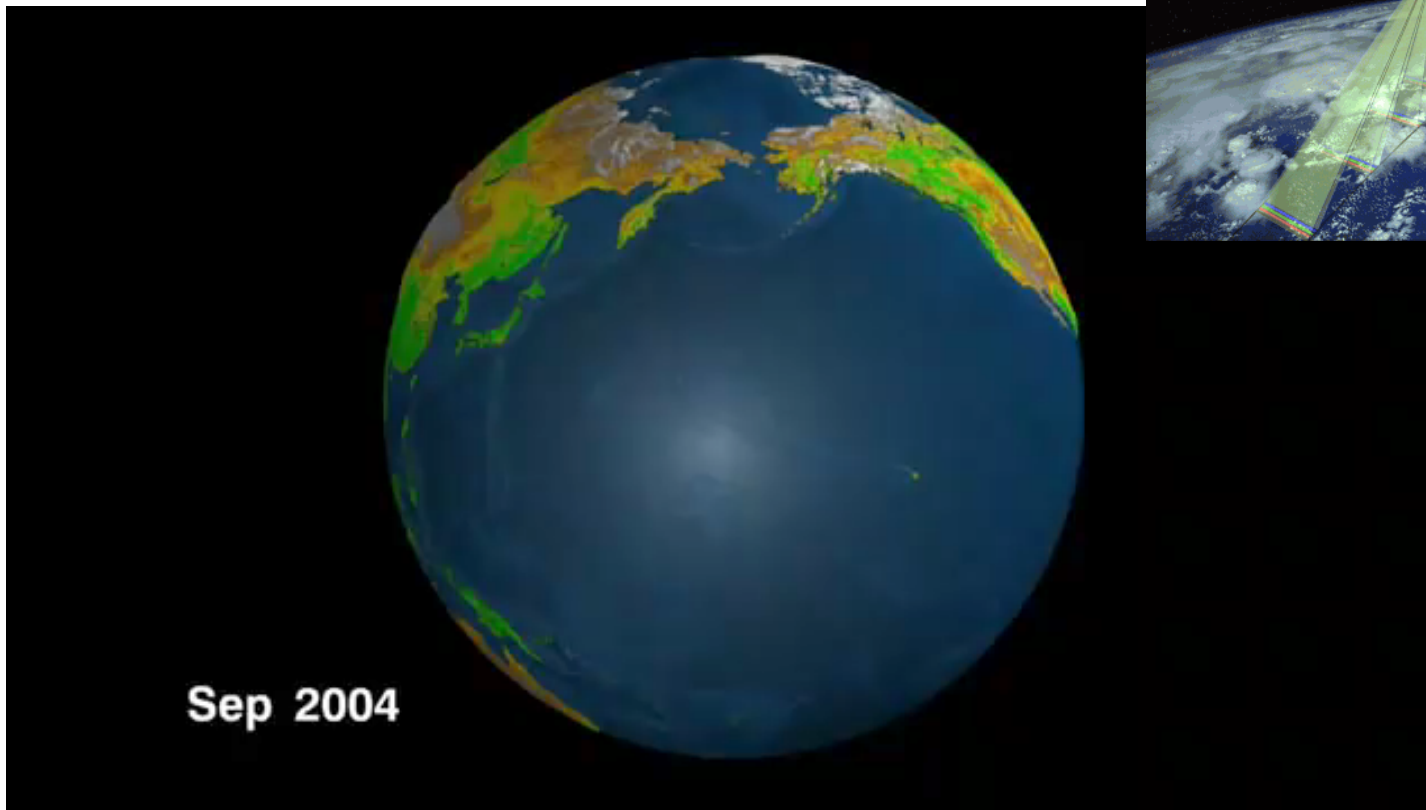
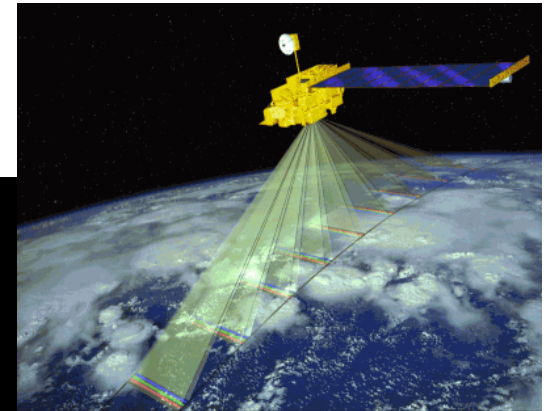
$$NDVI = \frac{NIR - Rosso}{NIR + Rosso}$$

Misura della quantità di foglie dallo spazio

Misura dell'NDVI per il monitoraggio della vegetazione

Serie temporale di NDVI dai satelliti NASA TERRA e AQUA (250 m, passaggio ogni 8 gg)

- Biomassa fogliare e assorbimento della luce (base della produttività)
- Analisi della fenologia
- Analisi delle anomalie (effetti di aridità, ondate di calore...)



Misura della quantità di foglie dallo spazio

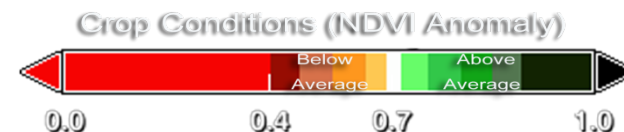
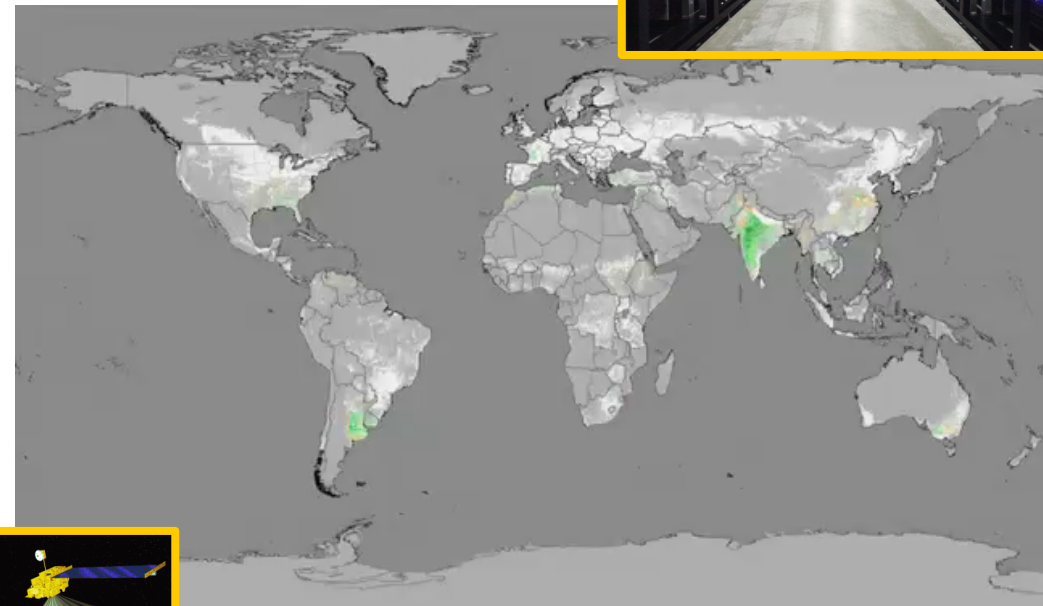
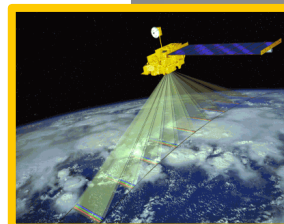
Serie temporali per l'analisi delle anomalie e degli stress

NDVI una tecnologia vecchia, in uso fin dagli anni '80.

Passo avanti... capacità di gestire grandi quantità di immagini per l'**analisi regionale e globale di lunghe serie temporali**: studio delle anomalie e degli stress... tutto grazie a computer sempre più potenti.

Analisi temporale della deviazione dell'NDVI delle colture agricole (da satellite MODIS) rispetto alla media del periodo 2000-2011.

Toni arancioni e marroni indicano coperture con condizioni al di sotto della media. Il verde indica condizioni di produttività sopra la media.



Dalla quantità di foglie alla produttività

Misura dallo spazio della fluorescenza della clorofilla



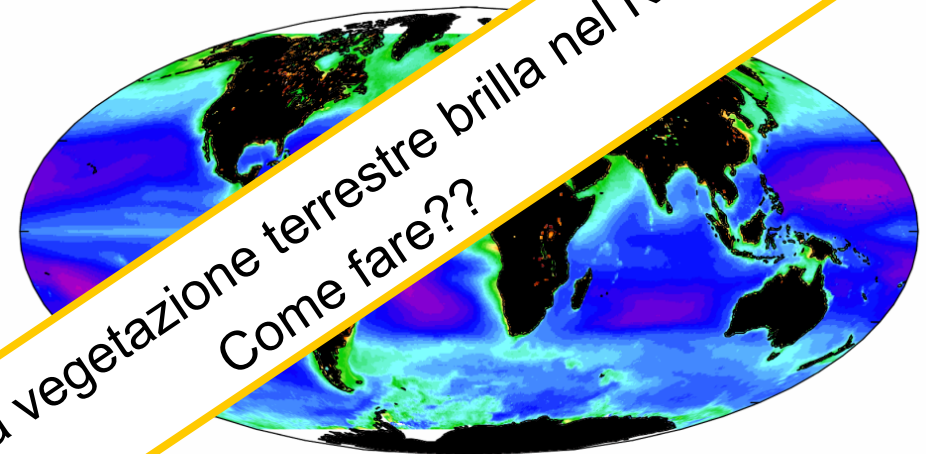
Sopra: un estratto di foglie illuminato in luce visibile appare verde.
Sotto: illuminato in luce ultravioletta, appare rosso a causa della (debolissima!!) emissione di fluorescenza

2-10% della luce assorbita dalla clorofilla viene riemessa come fluorescenza nel rosso e infrarosso vicino (NIR).

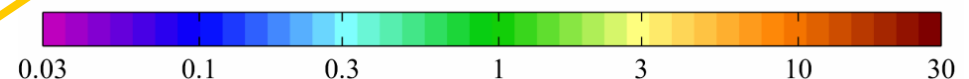
Segnale facilmente misurabile sugli oceani (acqua nera nel NIR), usato dai '90 per stimare concentrazioni di clorofilla e produttività del fitoplancton.

Contenuto di clorofilla (fitoplancton) dedotto da misure SPOT-4
fluorescenza

Ma la vegetazione terrestre brilla nel NIR!!
Come fare??



Average sea-surface chlorophyll, 1998 to 2006 [mg chl m⁻³]

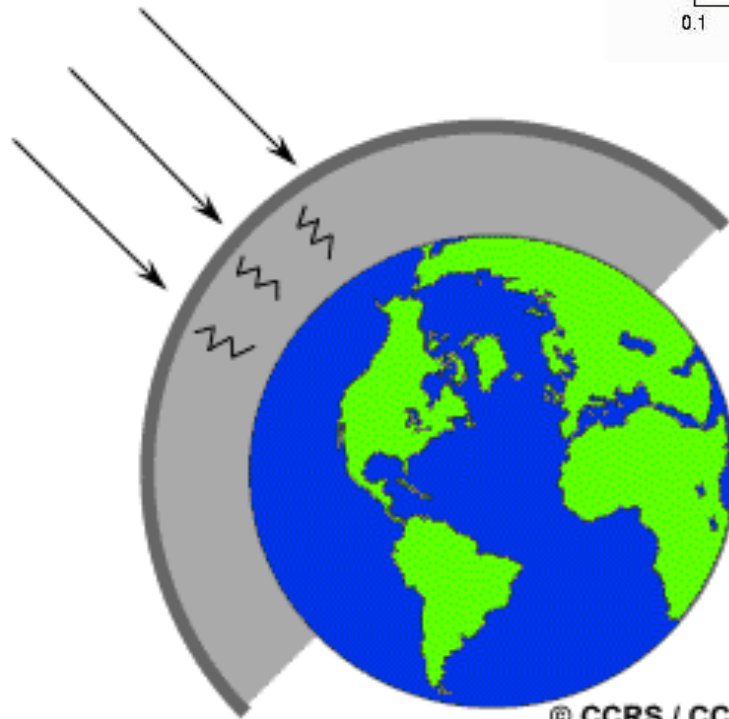
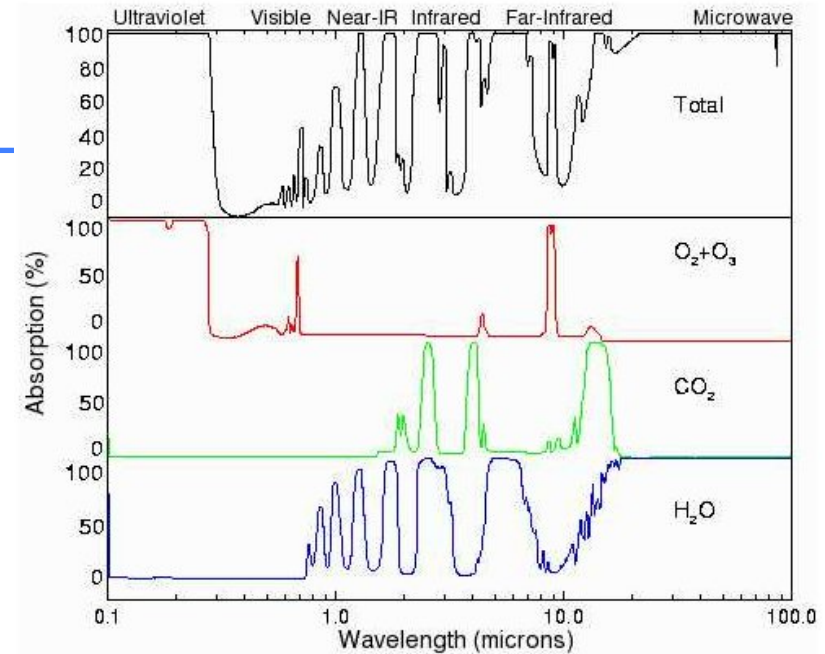


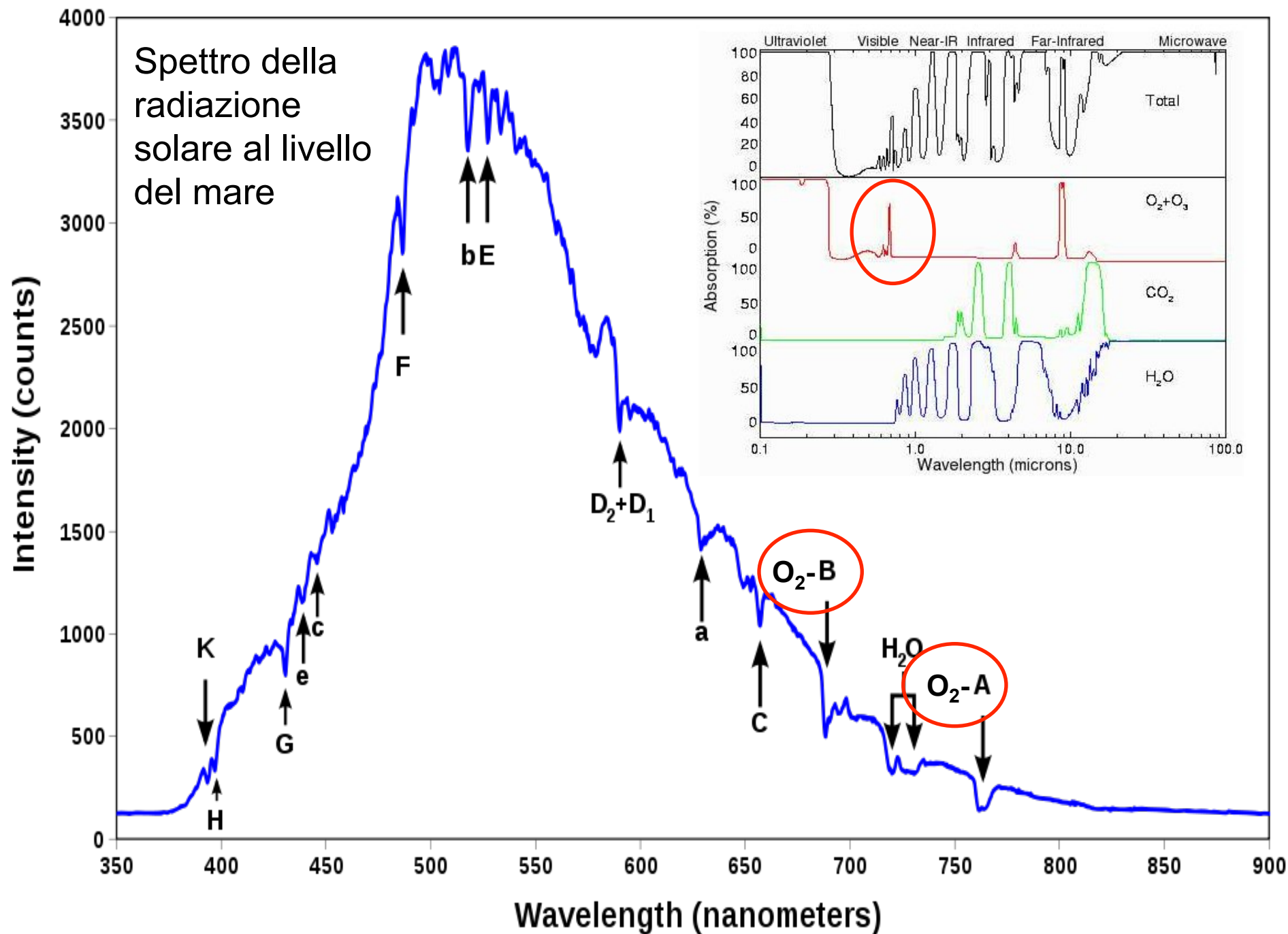
Il trucco della ricerca

Sfruttiamo l'opacità dell'atmosfera!!

Per la vegetazione terrestre, dobbiamo ricorrere a un trucco!

L'atmosfera terrestre assorbe la luce del sole ad alcune lunghezze d'onda, per la presenza di molecole come O_2 , CO_2 , H_2O





La fluorescenza della vegetazione dallo spazio

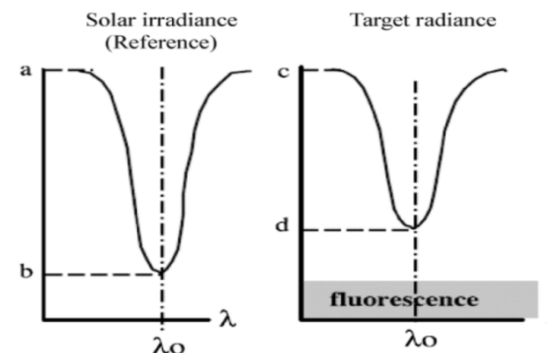
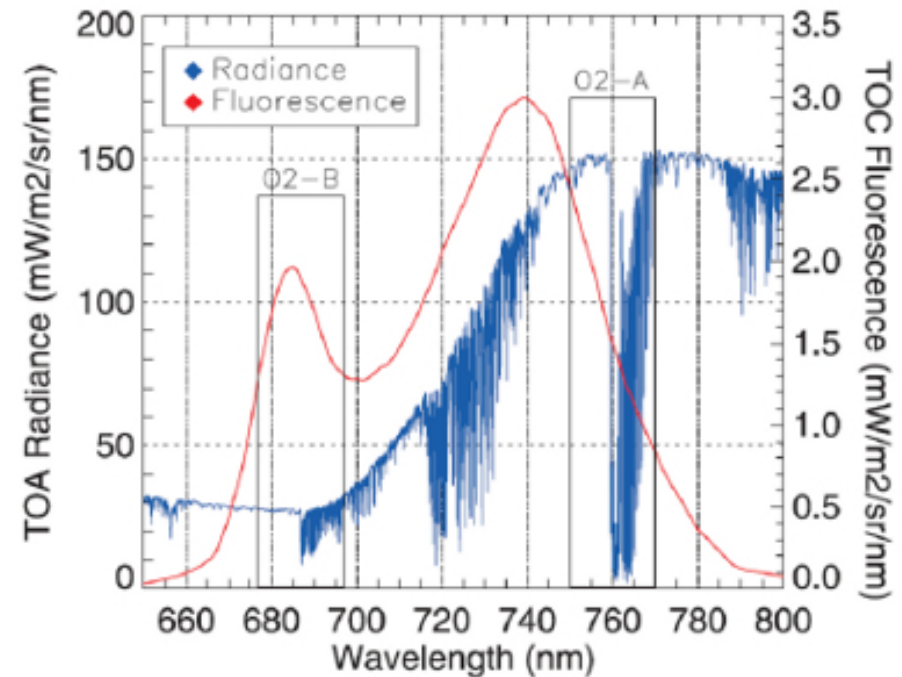
la banda O₂-A: quello che l'atmosfera toglie, la foglia restituisce

Nella banda O₂-A di assorbimento dell'ossigeno (760 nm), non arriva quasi luce a terra.

Guardando la luce riflessa dalla vegetazione, vediamo invece un debole bagliore...

**...la fluorescenza
della clorofilla!!**

Abbiamo messo a punto tecniche sempre più precise per misurare questo debole bagliore. E oggi...



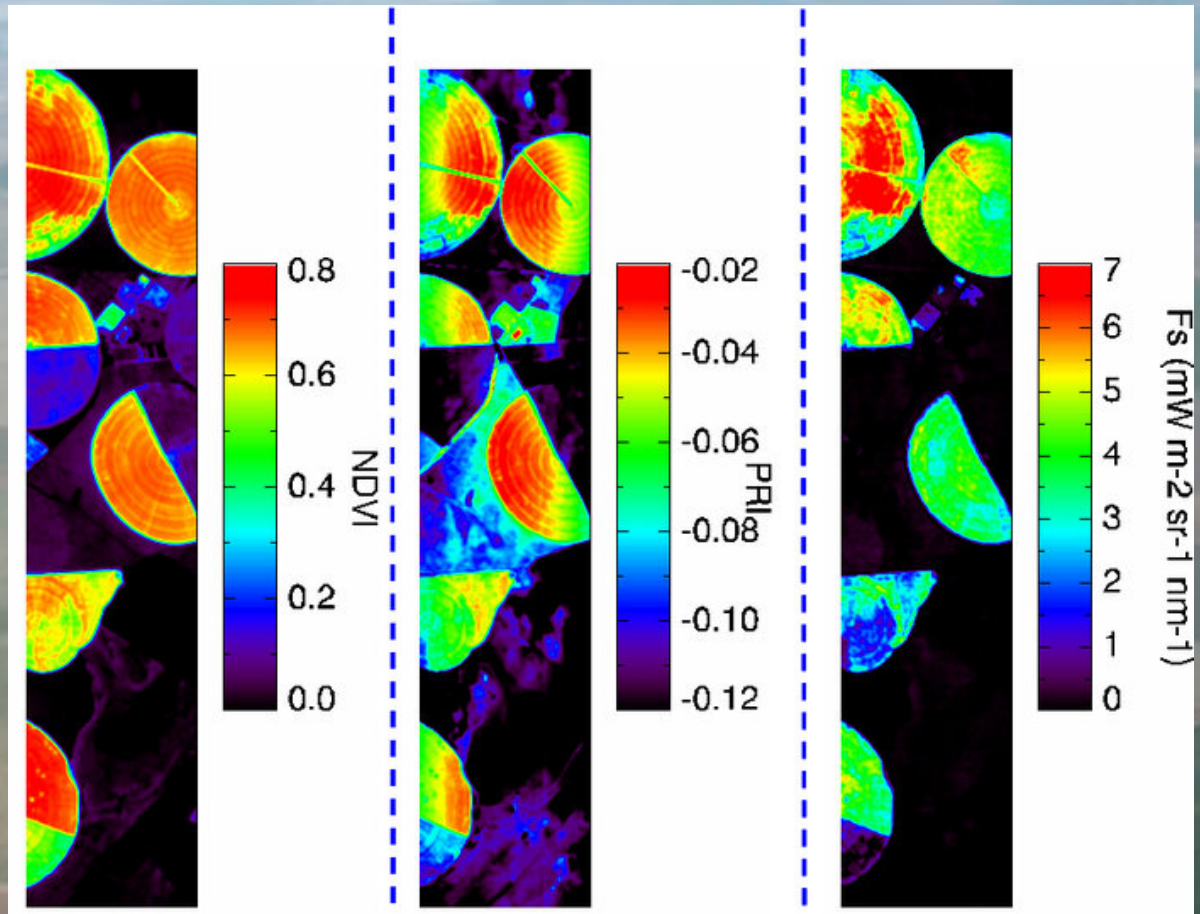
Metodo FLD
(*Fraunhofer Line
Discrimination*)
per la misura della
fluorescenza nella
banda O₂-A

La fluorescenza della vegetazione dallo spazio

Possibile rilevare dallo spazio un bagliore così flebile?



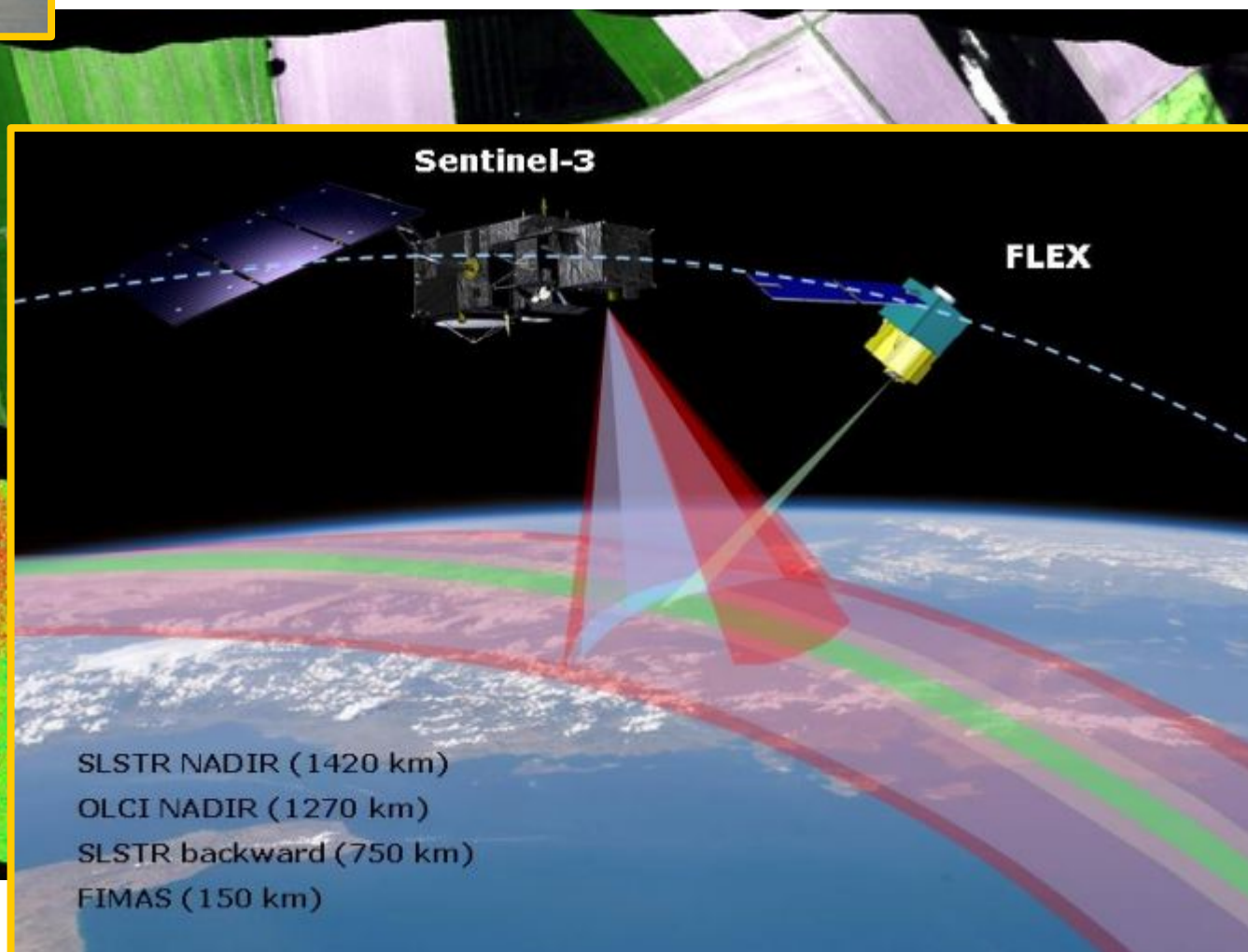
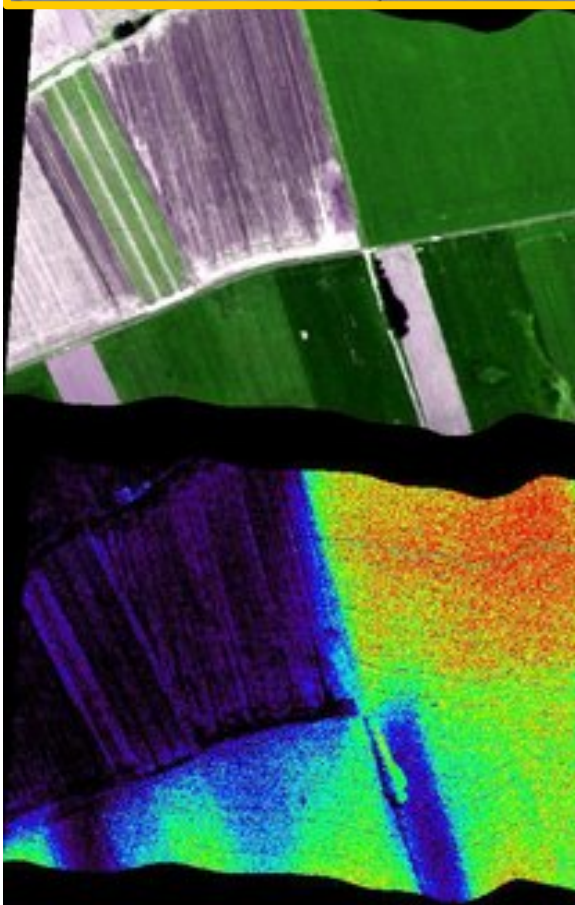
L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha voluto verificare la fattibilità di misurare la fluorescenza da aereo, con la campagna SEN2FLEX a Barrax (Spagna)





ESA Hyflex, Juelich (DE), Agosto 2013

Immagini di fluorescenza col nuovo sensore
Hyplant

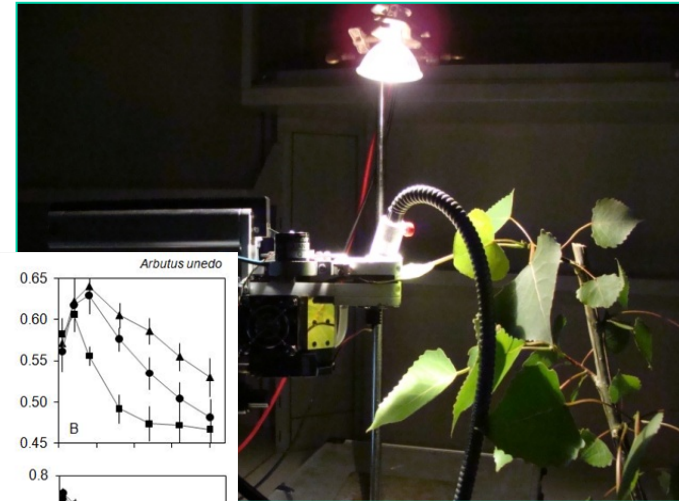
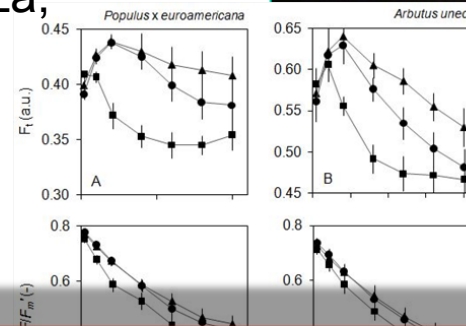


Dalla fluorescenza alla produttività delle colture

L'Alma Mater per lo sviluppo di modelli di interpretazione

Misurare la fluorescenza non basta!

Misure dettagliate e modelli fisiologici per interpretare la relazione fra fluorescenza, fotosintesi e produttività delle colture



$$\begin{cases} \Phi_f = \Phi_p \cdot \frac{a_1}{1 - a_2 \cdot I \cdot \Phi_p} & \text{if } V = V_c \\ \Phi_f = a_3 \cdot (1 - \Phi_p) & \text{if } V = V_j \end{cases}$$

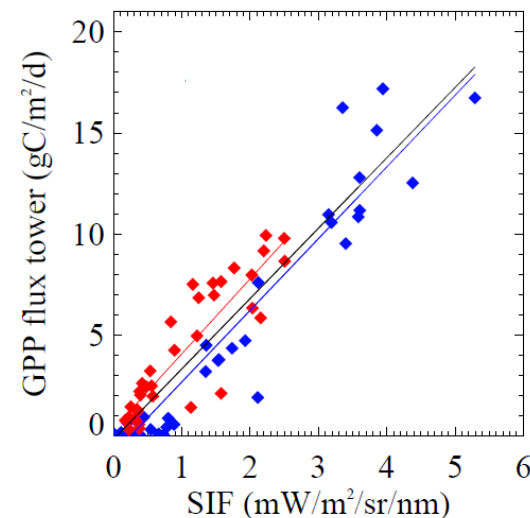
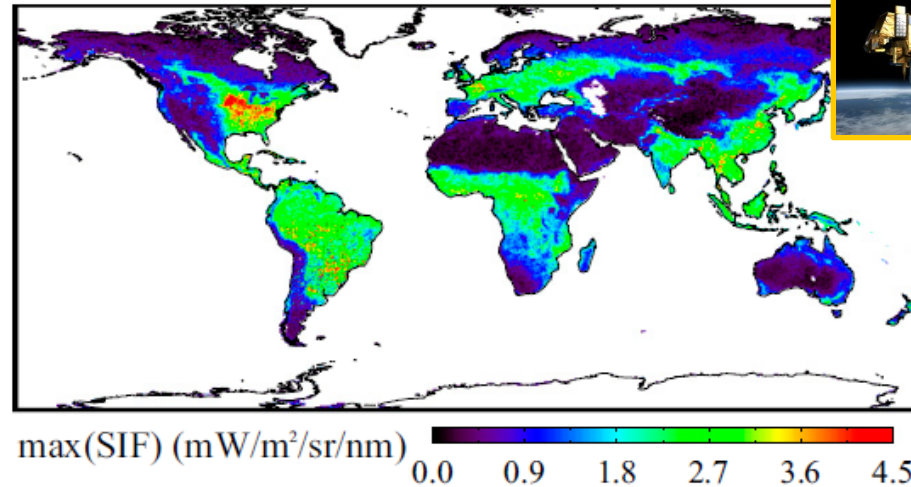
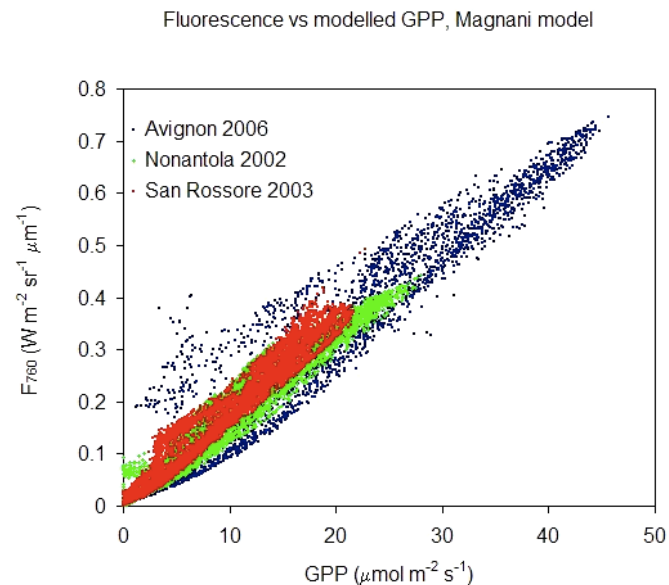
High-light (CO₂-limited photosynthesis)

Low-light (light-limited photosynthesis)

$$a_1 = \frac{k_f}{k_{PSII} \cdot qL_S} \quad a_2 = \frac{1}{J_{\max} \cdot qL_S} \quad a_3 = \frac{k_f}{k_f + k_D + k_d^* + k_{NPQs}}$$

Dalla fluorescenza alla produttività delle colture

L'Alma Mater per lo sviluppo di modelli di interpretazione



ESA GOME-2

Prime immagini globali a
bassa risoluzione della
fluorescenza di
coperture erbacee e
agricole

A sin.: confronto con la
produttività misurata

NASA OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory)

Lancio: 2 luglio 2014



Misurare dallo spazio la
produttività
di foreste e colture agricole

FINE