



# Applicazioni del telerilevamento iperspettrale in agricoltura di precisione: potenzialità nel monitoraggio delle variabili del suolo e delle colture agrarie



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DELLA  
**Tuscia**

Prof. Raffaele Casa

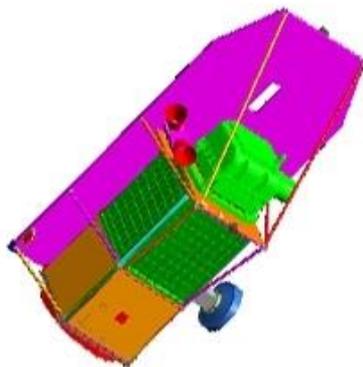
Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali  
(DAFNE)

Università degli Studi della Tuscia (Viterbo)

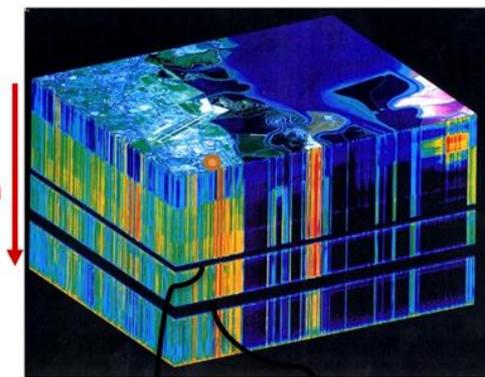
[rcasa@unitus.it](mailto:rcasa@unitus.it)

## Potenziati prodotti PRISMA per l'agricoltura

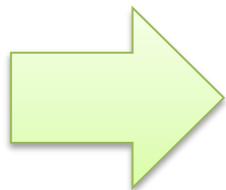
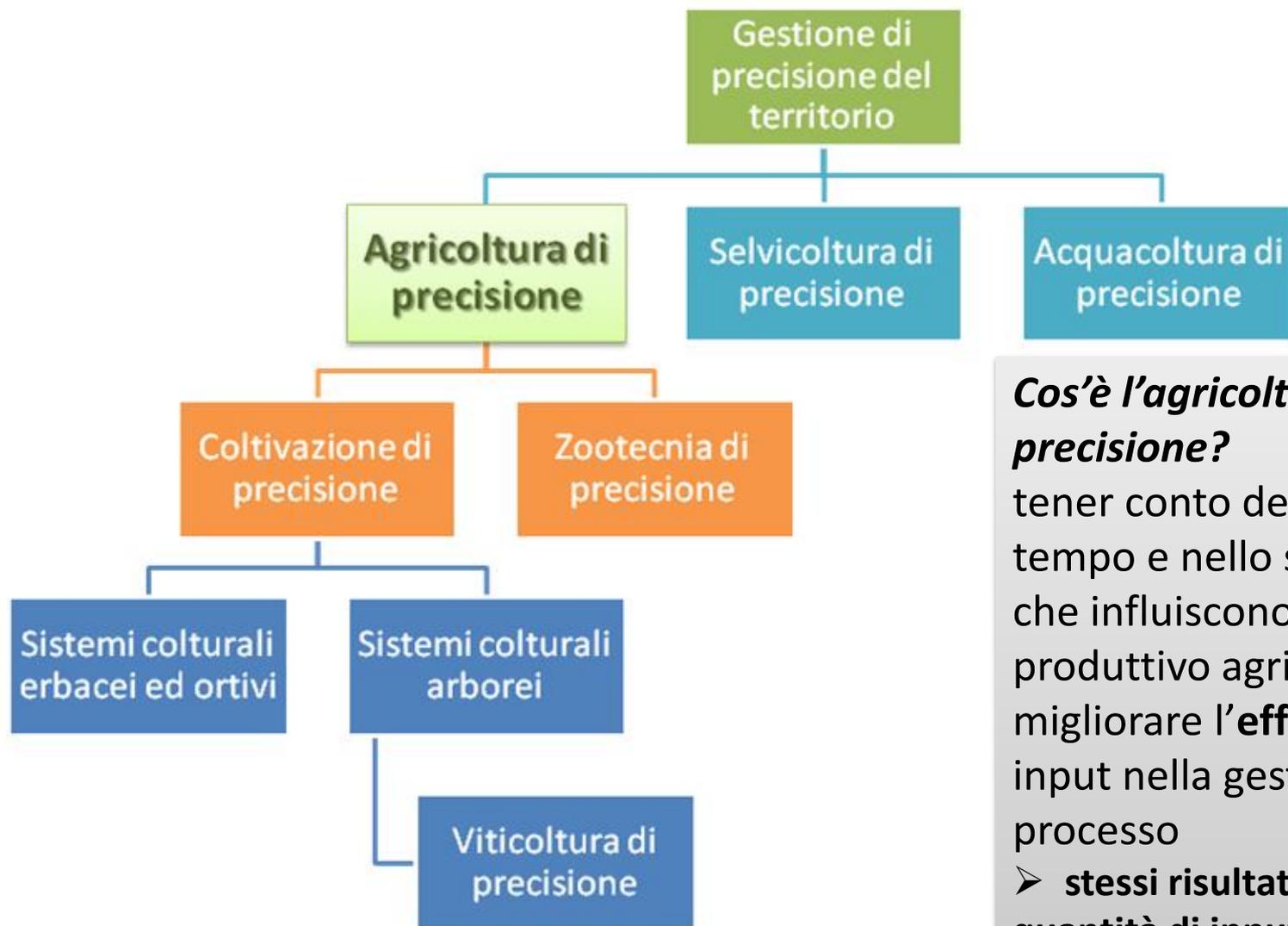
# Applicazioni di PRISMA in agricoltura



### DATA CUBE



	Prodotto	Descrizione
vegetazione	LAI	Indice di area fogliare (Leaf Area Index)
	Cab	Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie per unità di superficie fogliare
	FPAR	Frazione di radiazione fotosinteticamente attiva assorbita dal manto vegetale
suolo	ARG	Percentuale di argilla nei primi 30 cm di suolo
	LIMO	Percentuale di limo nei primi 30 cm di suolo
	SABBIA	Percentuale di sabbia nei primi 30 cm di suolo
	CORG	Percentuale di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo
produzione	YLD	Produzione della coltura
	QN	Contenuto di azoto nella biomassa epigea
	GN	Contenuto di azoto nella granella
	Nres	azoto nitrico (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) nel suolo a fine ciclo colturale



**Intensificazione sostenibile**

***Cos'è l'agricoltura di precisione?***

tener conto della **variabilità** nel tempo e nello spazio dei fattori che influiscono sul processo produttivo agricolo, per migliorare l'**efficienza** degli input nella gestione di questo processo

- **stessi risultati con minori quantità di input (acqua, energia, fitofarmaci, fertilizzanti, sementi ...)**
- **migliori risultati (quantità e qualità) a parità di utilizzo di input**

# Dal monitoraggio all'azione

Raccolta dati

Informazione =  
Interpretazione

Applicazione



Satelliti

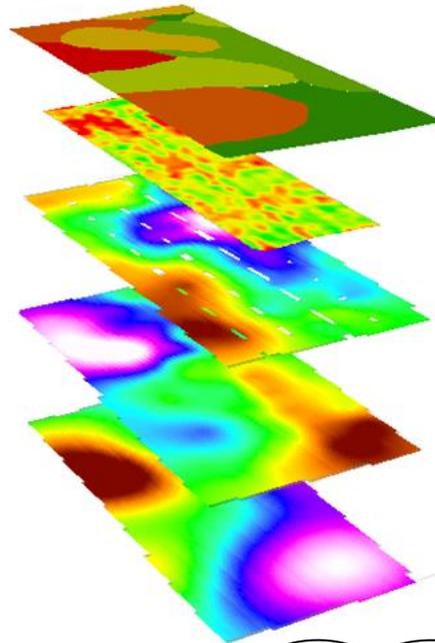
SAPR (droni)



Sensori prossimali

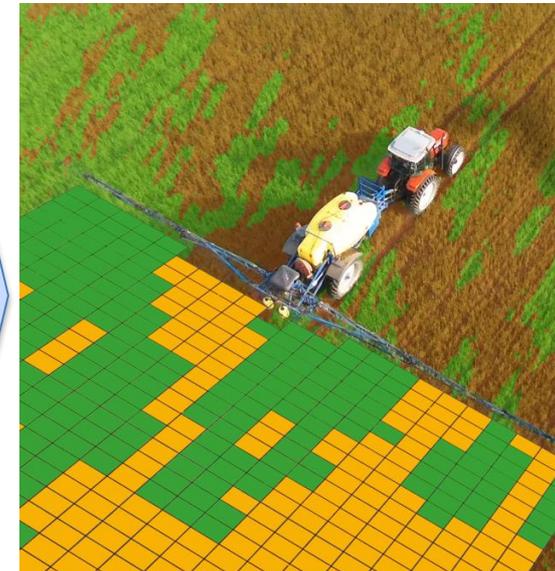


Mappe di  
prescrizione



Conoscenza  
agronomica

Applicazione a rateo  
variabile (VRA)



- Componente ingegneristica
- Componente biologica

# Estimation of soil properties from hyperspectral remote sensing

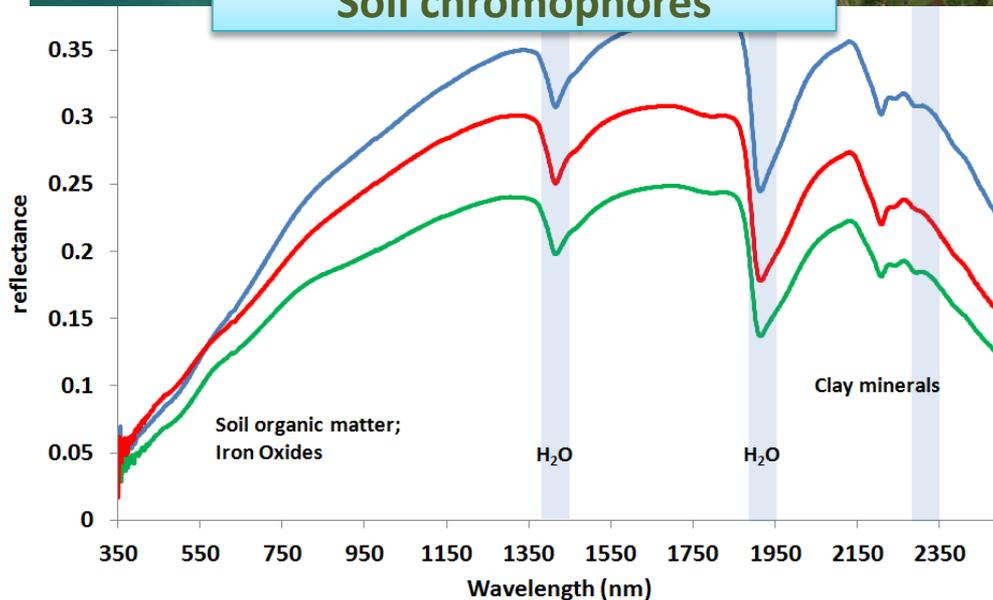


Bare soils are typically observed in arable croplands

Can we retrieve quantitative information from optical remote sensing data of bare soils ?



Soil chromophores



...soil reflectance conveys information from the **topsoil surface only...**

Nei suoli naturali vi è una grande variazione delle proprietà fisico-chimiche con la profondità (profilo)

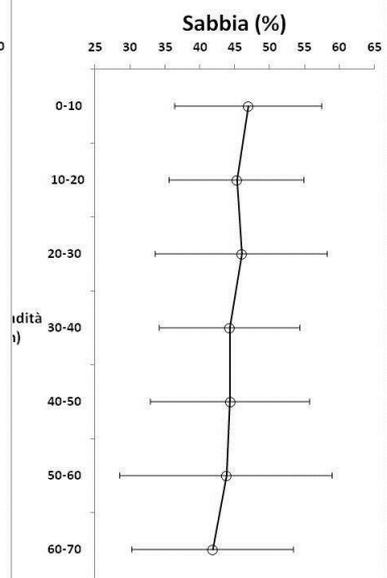
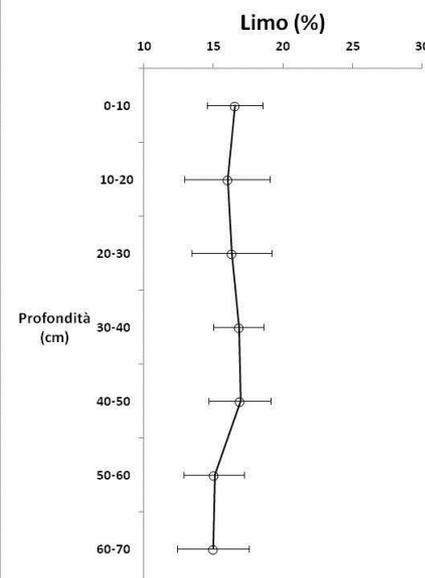
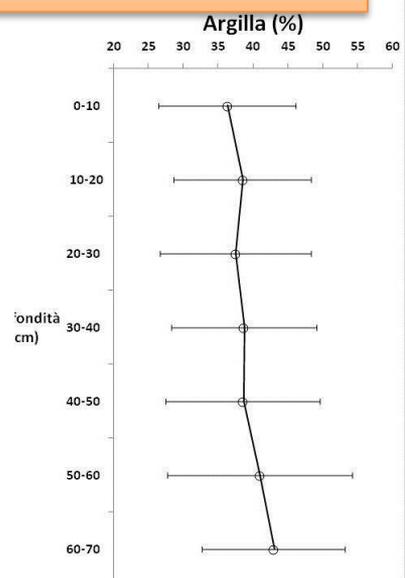


Nei suoli agricoli regolarmente coltivati c'è uniformità nello strato lavorato

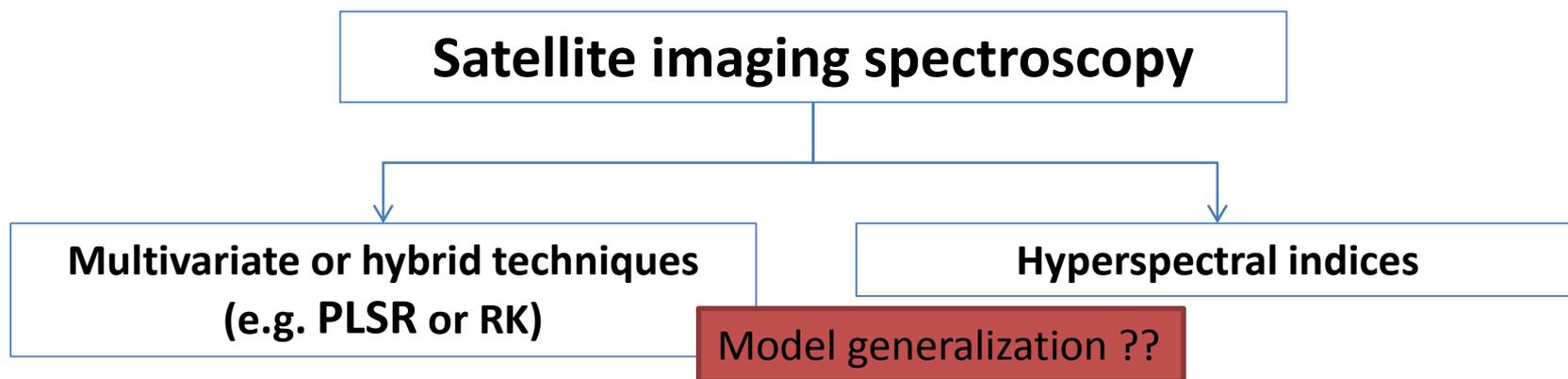


**Soil horizon information**

**Ah<sub>1</sub>**  
 black (10YR 2/1, moist), loam, moderate granular, friable non sticky non plastic, many very fine interstitial pores



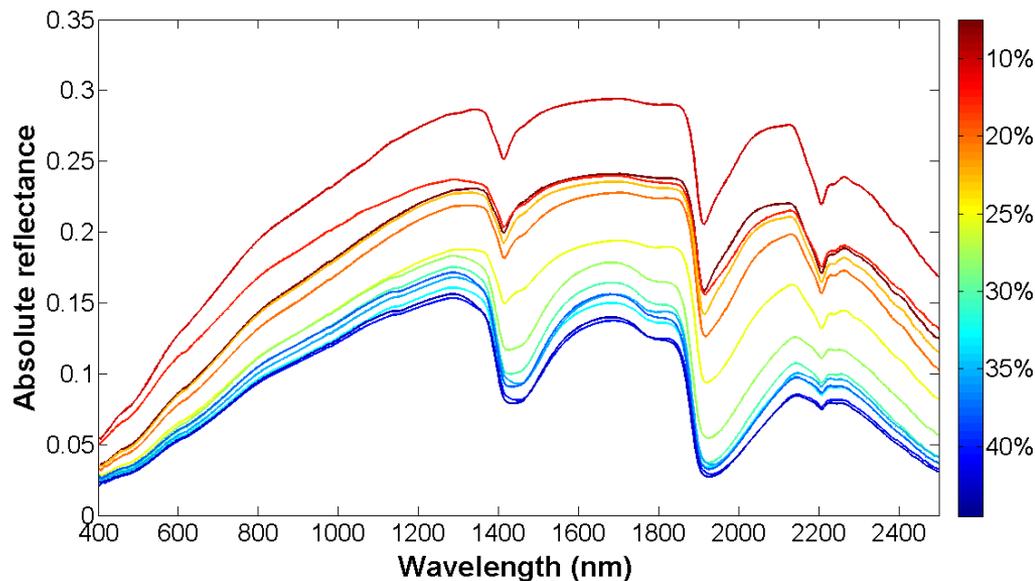
# Issues when moving to real data



**Obstacles :** *spectral resolution, signal quality, geometric and atmospheric correction, availability of bare soil image, roughness, crop residues, **soil moisture**....*

## Metodi di stima

- Regressivi (OLS)
- Multivariati (PLSR)
- Geostatistici (OK)
- Ibridi (RK, LMM)
- Indici iperspettrali



## Obiettivi

- L'influenza della risoluzione spettrale di sensori iperspettrali remoti nella stima della tessitura del suolo
- Influenza delle condizioni di umidità del suolo al momento dell'acquisizione
- Influenza dell'errore di georeferenziazione.

## Materiali e metodi

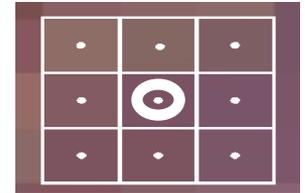
**Dati a terra**  
(argilla, limo e sabbia)    +    **ASD**  
**CHRIS-PROBA**    +    **PLSR**  
**MIVIS**

## Principali risultati e conclusioni

Nonostante la miglior risoluzione spettrale e spaziale, MIVIS ha fornito risultati inferiori a CHRIS

SM\_CHRIS > SM\_MIVIS

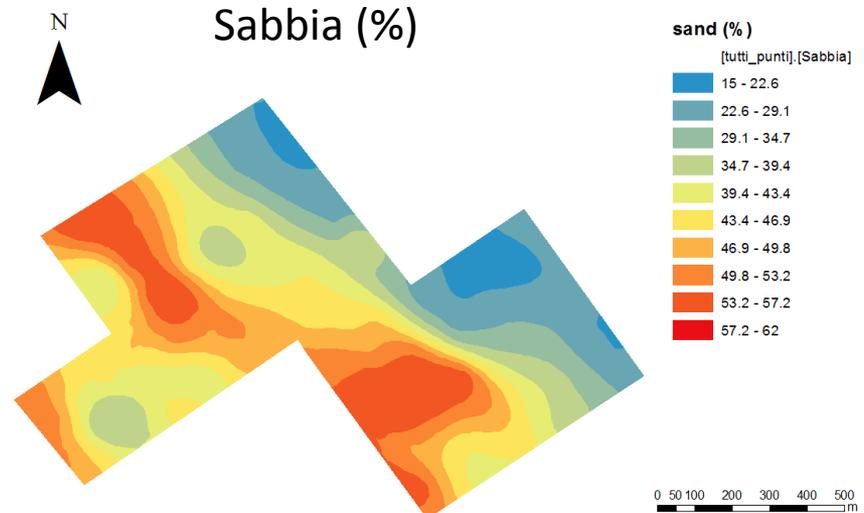
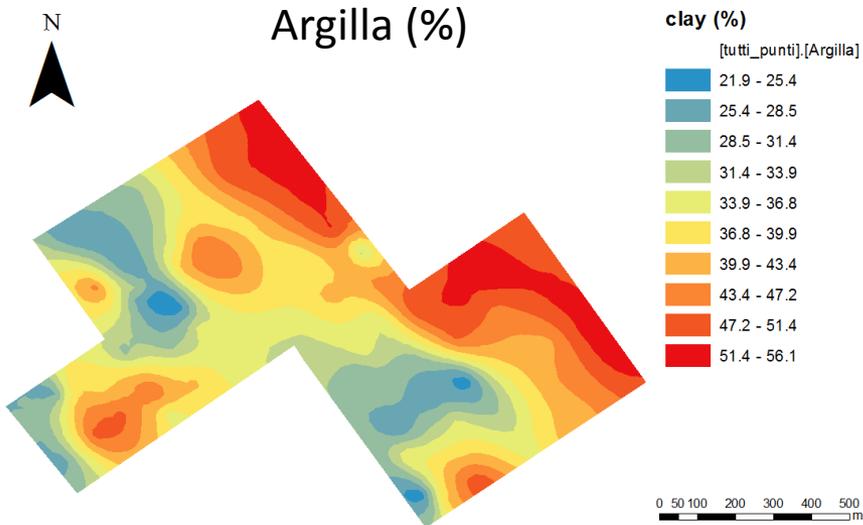
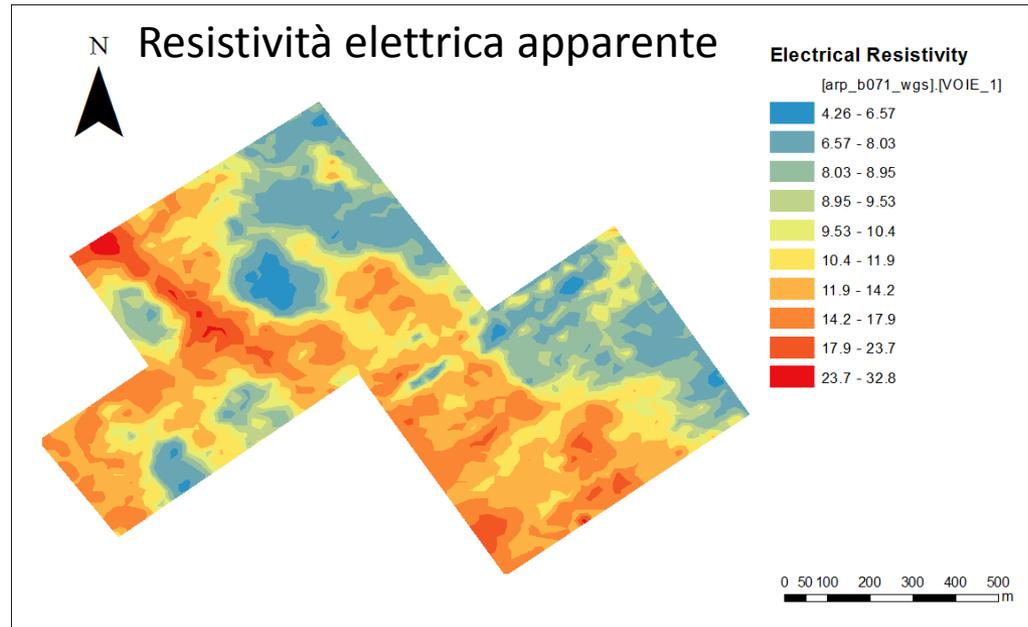
Il dato mediato migliora la stima



CASA R., CASTALDI F., PASCUCCI S., PALOMBO A., PIGNATTI S. (2013) - *Assessment of within-field soil texture variability using hyperspectral remote sensing*. Geoderma, 197-198, 17-26.

# Metodi indiretti di stima delle proprietà del suolo

## Metodi geoelettrici



## Obiettivi

- Data Fusion (proximal sensing)
- Confronto tra metodi multivariati e ibridi
- Utilizzo di immagine remote di suolo nudo e di vegetazione.

## Materiali e metodi

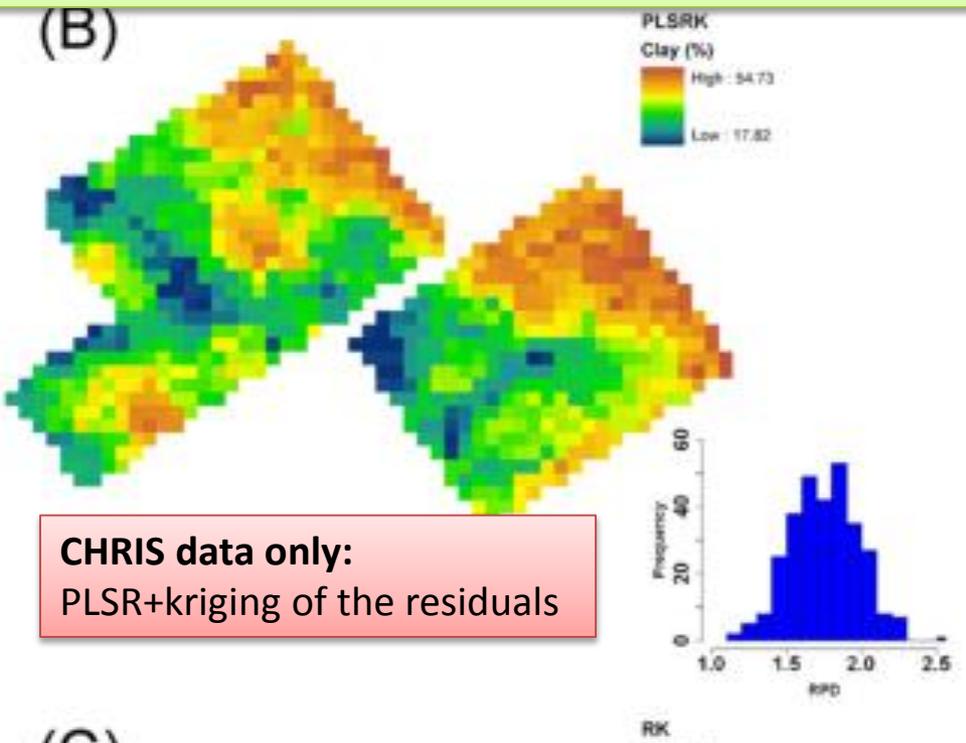
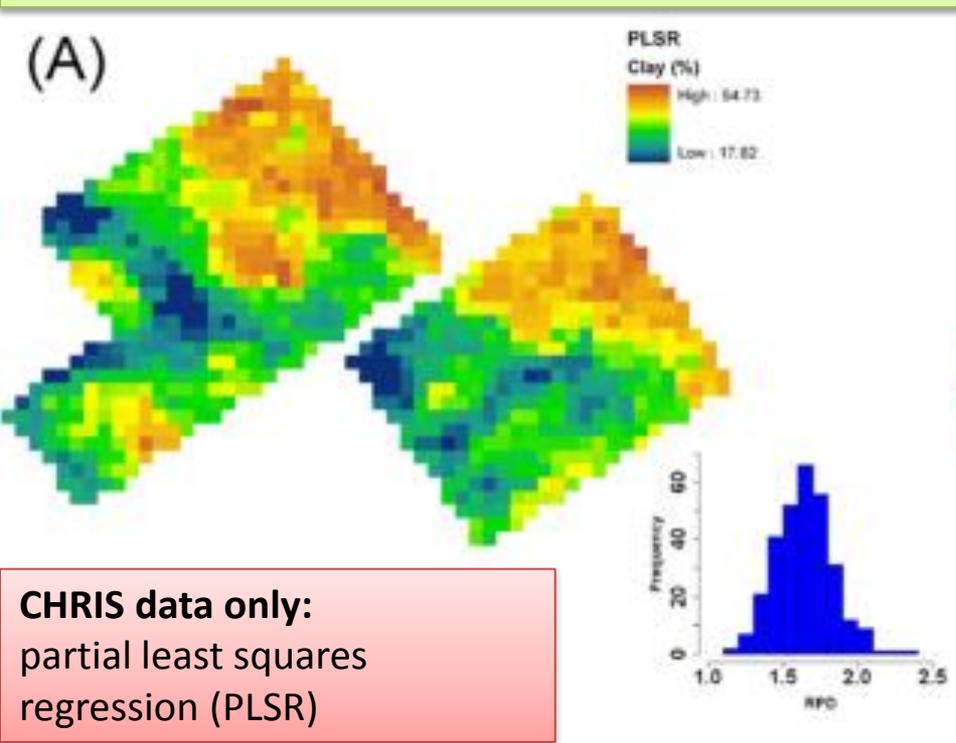
<b>Dati a terra</b> (argilla, limo, sabbia, OC, AWC, EC, N)	+	<b>CHRIS-PROBA suolo</b> <b>CHRIS-PROBA vegetaz.</b> <b>ARP</b>	+	<b>PLSR</b> <b>RK</b> <b>PLSR-K</b>
---	---	---	---	---

## Principali risultati e conclusioni

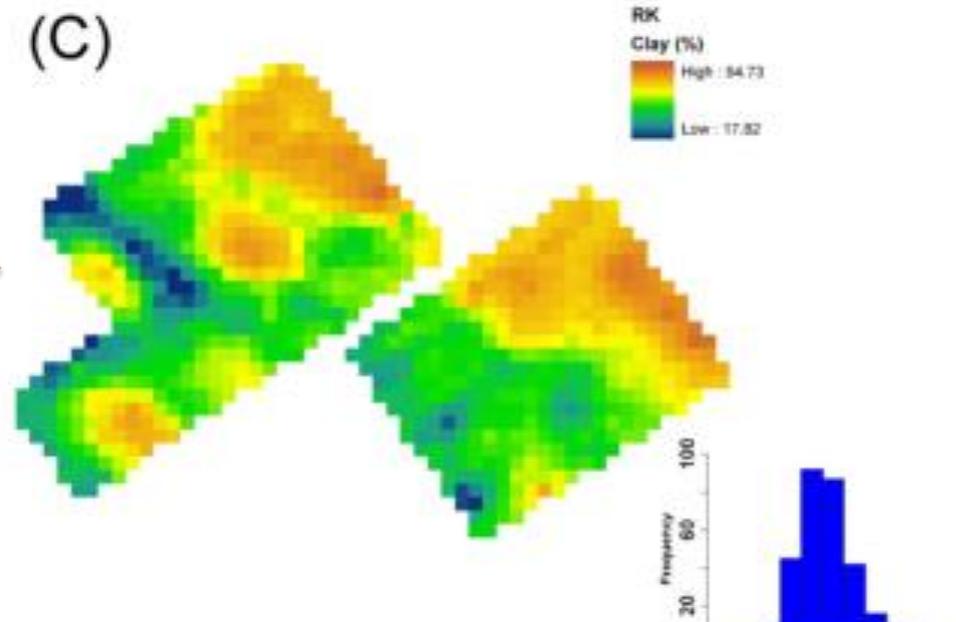
I migliori risultati utilizzando data fusion: ARP + Suolo  
Suolo > Vegetazione  
Inclusione della componente spaziale incrementa l'accuratezza, RK>PLSR  
La variabilità della variabile influisce sull'accuratezza della stima

CASA R., CASTALDI F., PASCUCCI S., BASSO B., PIGNATTI S. (2013) - GEOPHYSICAL AND HYPERSPECTRAL DATA FUSION TECHNIQUES FOR IN-FIELD ESTIMATION OF SOIL PROPERTIES. VADOSE ZONE JOURNAL, 12(4).

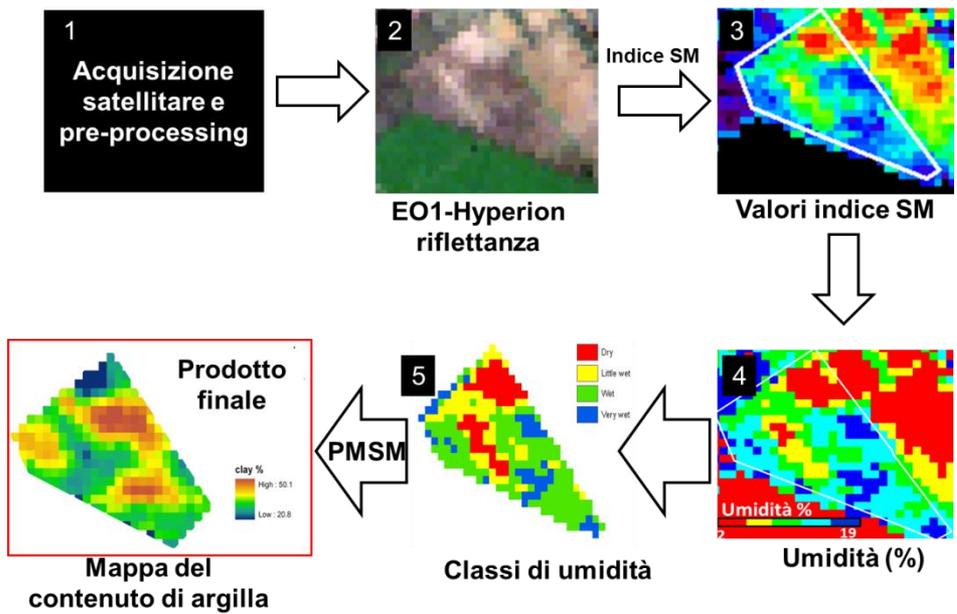
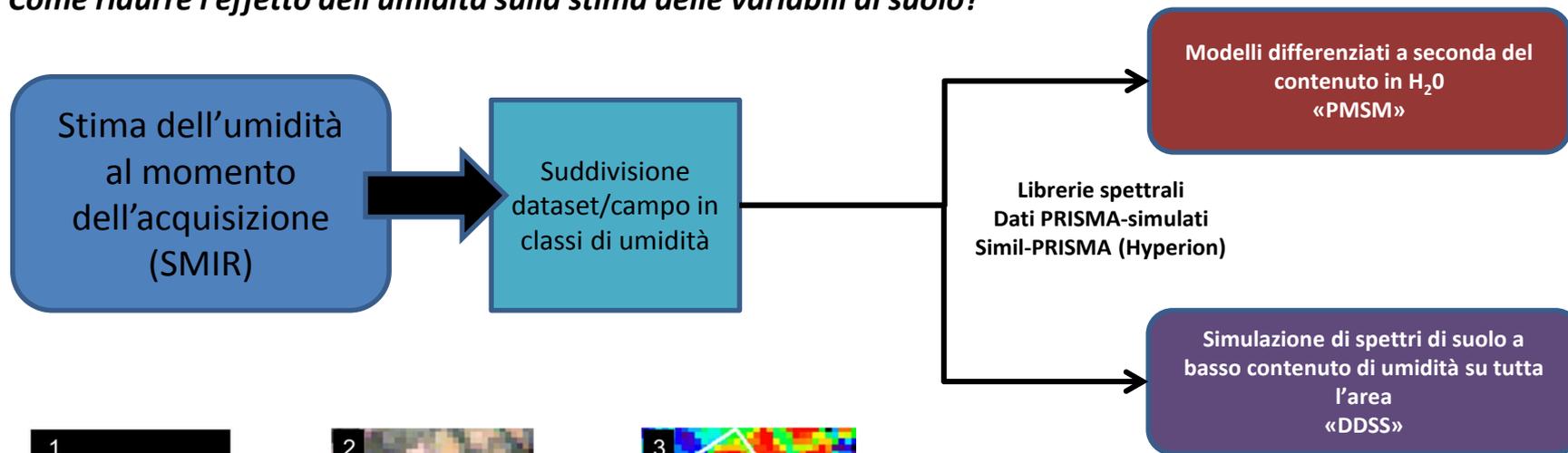
# Metodi ibridi (data fusion): dati satellitari + geoelettrici



**HYBRID METHOD**  
**CHRIS + ARP data :**  
Regression kriging (ARP as covariate)



Come ridurre l'effetto dell'umidità sulla stima delle variabili di suolo?



I test effettuati con dati di laboratorio e PRISMA-simulati hanno mostrato l'applicabilità dei due metodi di riduzione degli effetti dell'umidità (PMSM e DDSS) e un miglioramento dell'accuratezza di stima rispetto a modelli che non tengono conto dell'umidità (30-120%).

**PLSR** (campionamento)  
**Indici iperspettrali** (no campionamento)

**Objective:** evaluate the performance of current and forthcoming multispectral and hyperspectral imagers for the quantitative retrieval of soil texture (clay, sand and silt) and Soil Organic Carbon (SOC)



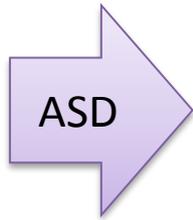
## Spectral libraries

Library	Soil variable	n	Min	Max	Mean	sd	CV	Skewness	Transformation	Removed outliers
LUCAS_C	Clay / %	713	3	78	29.72	13.54	0.46	0.51	Sqrt	9
	Sand / %	713	1	92	26.18	18.59	0.71	1.08	Sqrt	20
	Silt / %	713	3	79	44.01	13.89	0.32	-0.23	None	1
	SOC / %	713	0.1	16	1.65	1.18	0.72	4.67	Sqrt	50
PONMAC	Clay / %	163	3.95	56.08	34.77	9.75	0.28	0.09	None	1
	Sand / %	163	15.01	60.59	36.84	9.73	0.26	0.33	None	0
	Silt / %	163	8.42	63.93	28.38	9.41	0.33	0.45	None	1
	SOC / %	166	0.55	2.32	1.25	0.46	0.37	0.64	Log	0

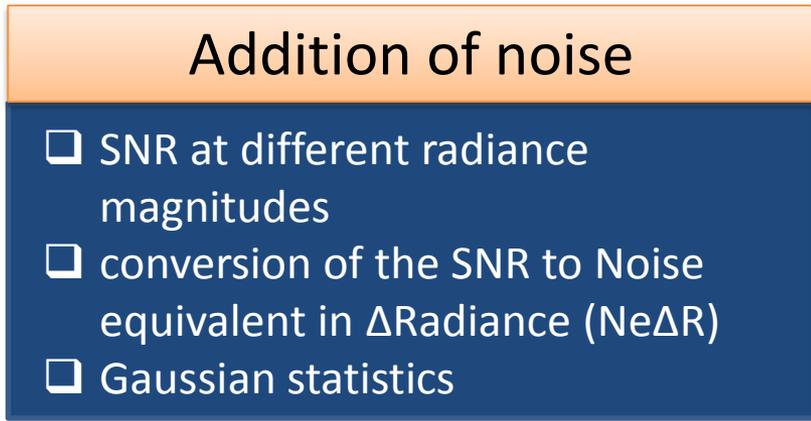
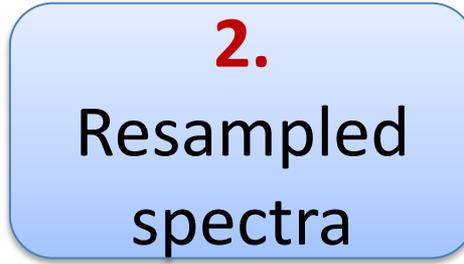
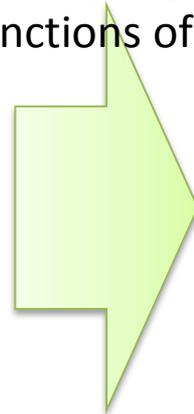
Soil samples were placed in Petri dishes and their spectral signatures were measured in a dark lab in the visible-near infrared (VNIR) to SWIR optical domain (350-2500 nm, spectral sampling of 1 nm) using an ASD Field Spec Fr Pro spectroradiometer

## Sensori multi- ed iperspettrali considerati

Imager	Spectral bands	Spectral range	FWHM (nm)	SNR	SNR condition
EO-1 ALI	7	4 VNIR 3 SWIR	20-200	572 @550 nm 1040 @1550 nm 912 @2080 nm	17,08 mW/cm <sup>2</sup> sr μm 2,15 mW/cm <sup>2</sup> sr μm 0,68 mW/cm <sup>2</sup> sr μm
LANDSAT 8 OLI	7	5 VNIR 2 SWIR	20-200	100 @562 nm 100 @1610 nm 100 @2200 nm	30 W/m <sup>2</sup> sr μm 4,0 W/m <sup>2</sup> sr μm 1,7 W/m <sup>2</sup> sr μm
Sentinel-2 MSI	12	9 VNIR 3 SWIR	10-60	168 @560 nm 100 @1610 nm 100 @2190 nm	128 W/m <sup>2</sup> sr μm 4,0 W/m <sup>2</sup> sr μm 1,5 W/m <sup>2</sup> sr μm
Hyperion	220	400-2500	10	161 @550 nm 147 @700 nm 110 @1125 nm 40 @2125 nm	nadir looking 60° sun-zenith angle 0.3 earth albedo
EnMAP	242	420-2450	10	> 500 @495 nm > 150 @2200 nm	nadir looking 30° sun-zenith angle 0.3 earth albedo
<b>PRISMA</b>	247	400-2500	7÷11	600 @ 0.65 μm > 400 @ 1.55 μm > 200 @ 2.1 μm	nadir looking 30° sun-zenith angle 0.3 earth albedo
HyspIRI	214	380-2510	10	560 @500 nm 356 @1500nm 236 @2200 nm	nadir looking 23,5° sun-zenith angle 0.25 earth albedo

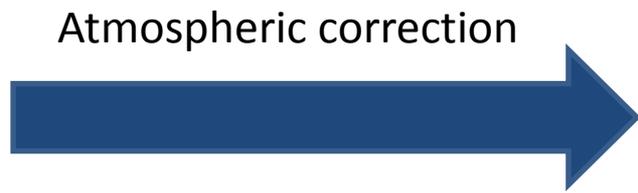
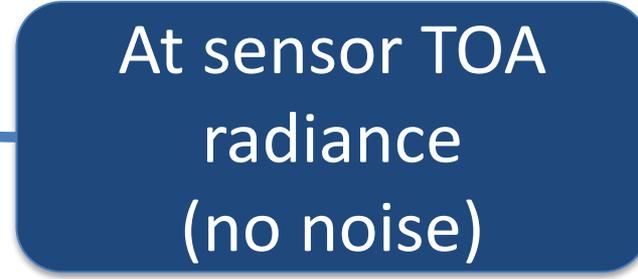
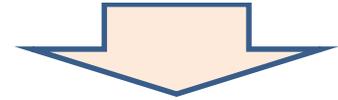


Resampling spectral response functions of imagers



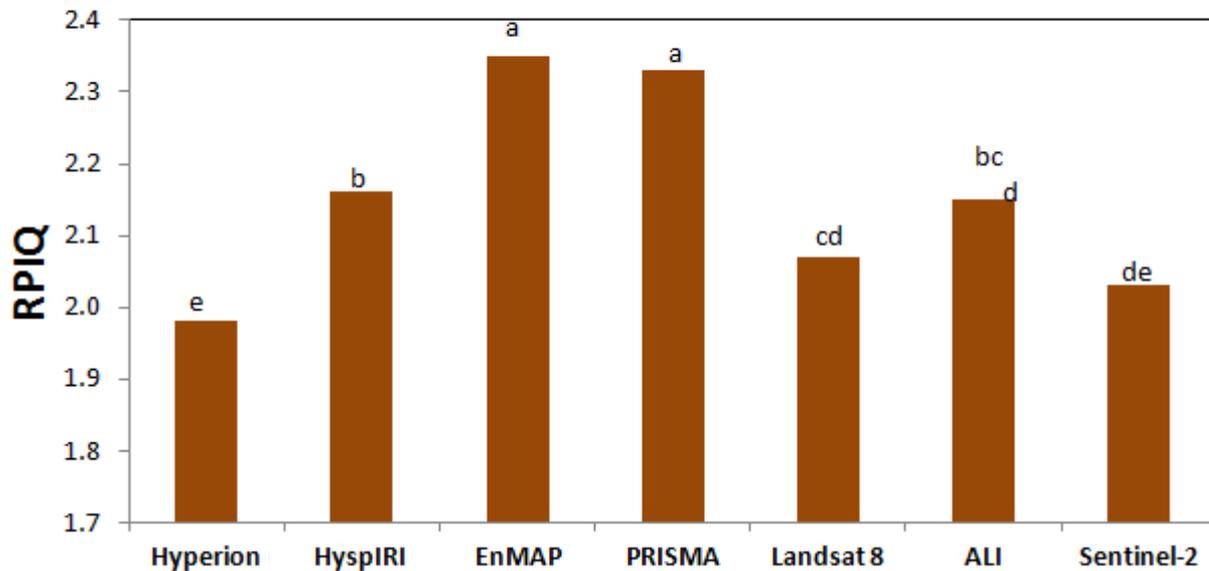
Atmosphere (MODTRAN)

$$L = \frac{A\rho}{1-\rho S} + L_a$$

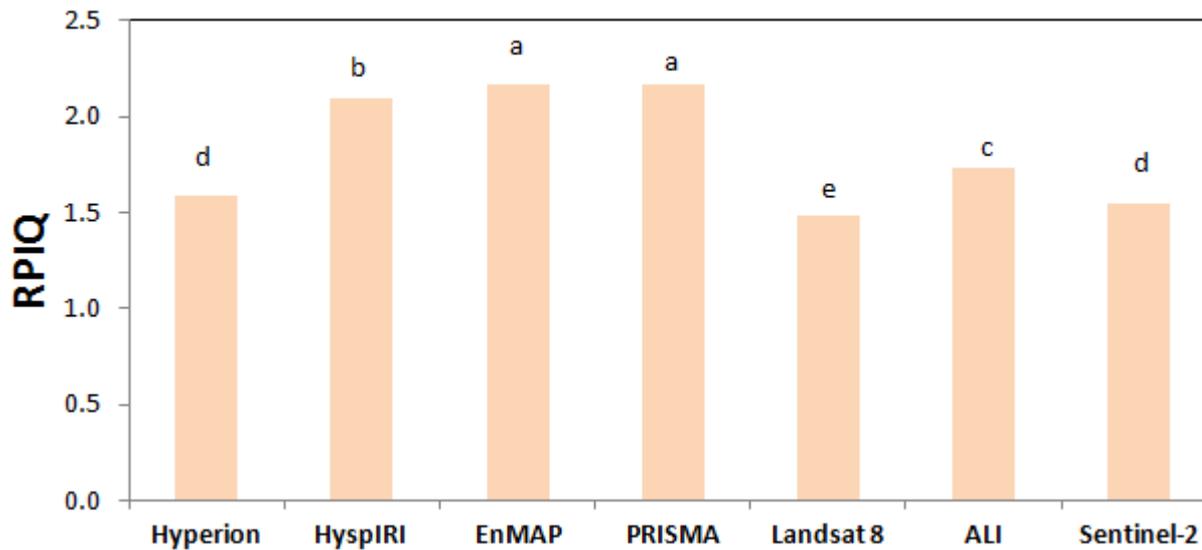


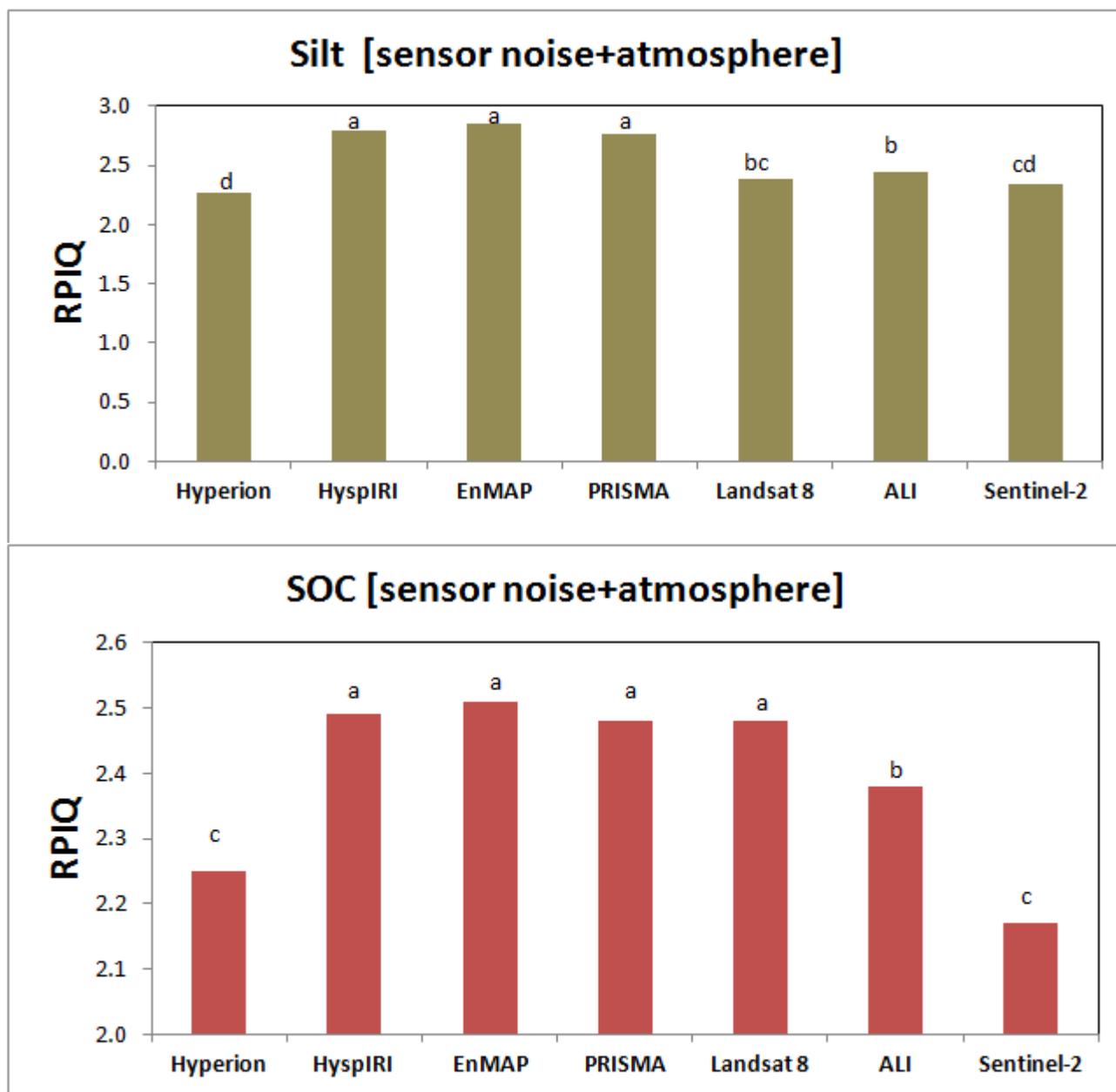
$$\rho = \frac{1}{A} [L - L_a - \text{Gauss}(0, \text{Ne}\Delta R)] (1 - \rho S)$$

Clay [sensor noise+atmosphere]



Sand [sensor noise+atmosphere]

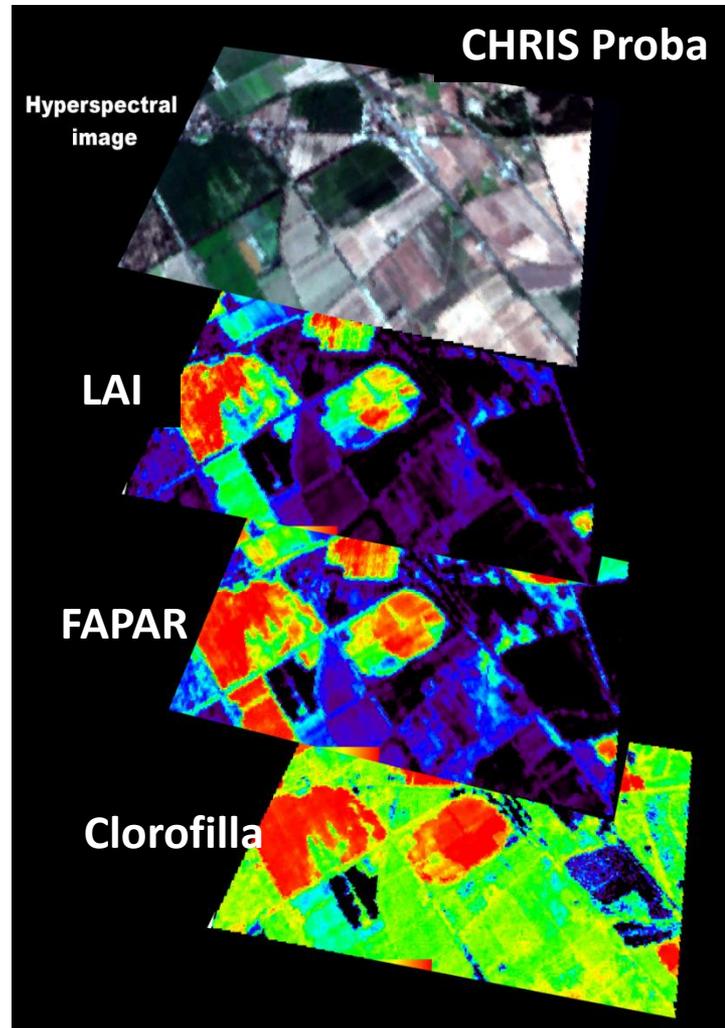
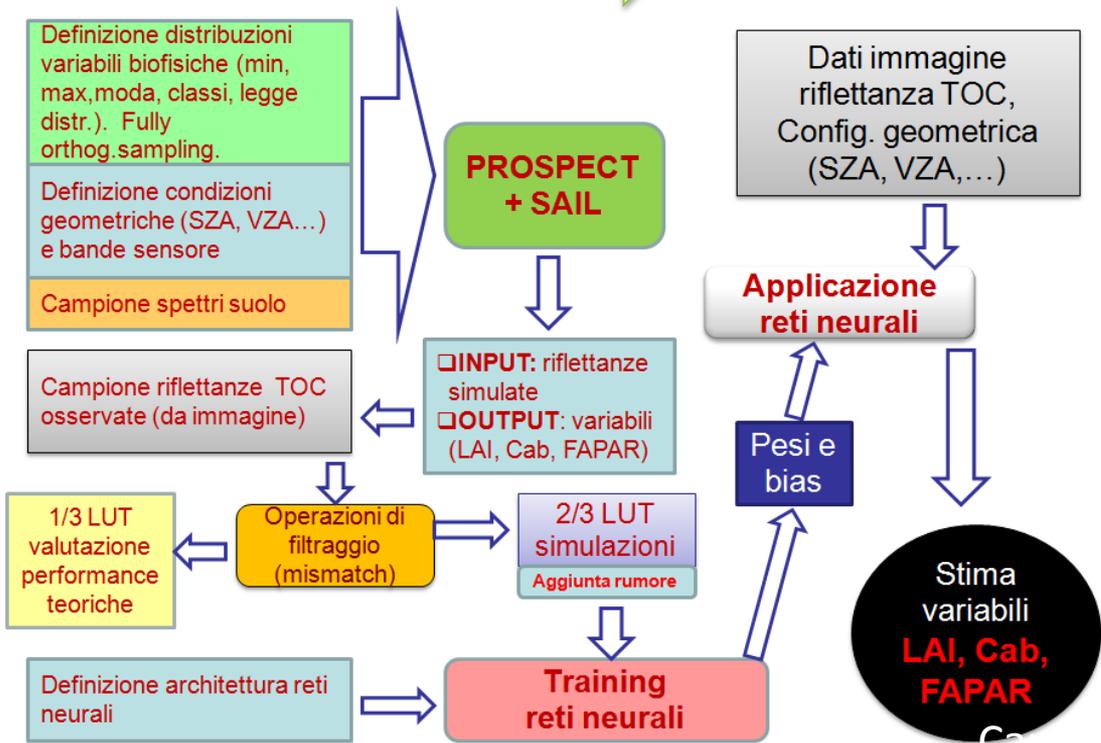




# Variabili della vegetazione (biofisiche) al posto degli indici di vegetazione (es. NDVI)

*attualmente abusati da chi opera in agricoltura*

Algoritmi basati su modelli fisici meccanicistici: metodi ibridi

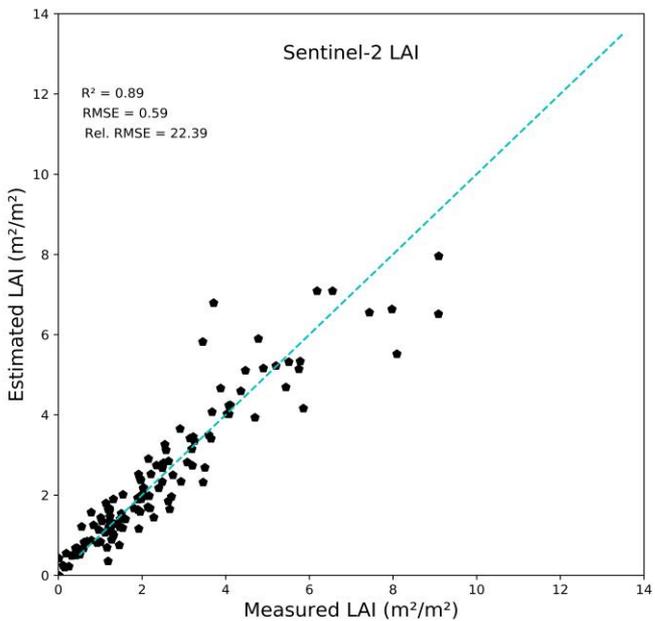


# Confronto tra algoritmi Machine Learning con dati simulati con modello PROSAIL ricampionati alle bande Sentinel-2 o PRISMA

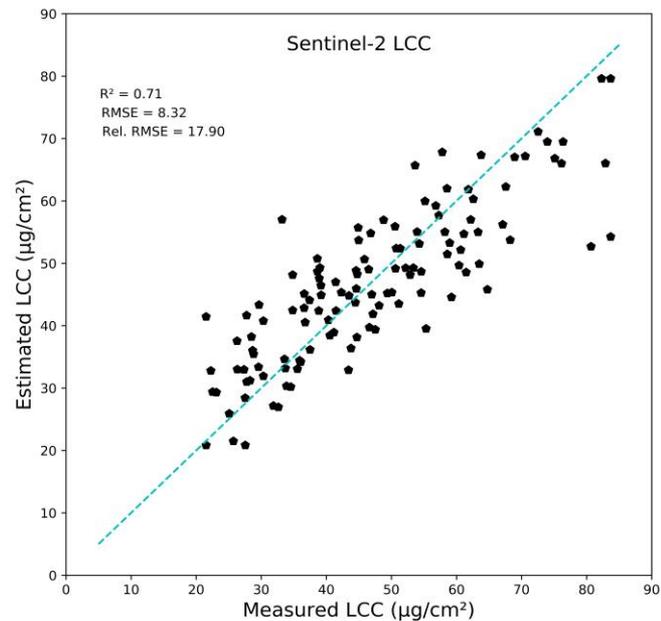
MLRA		SENTINEL-2 (8 Bands)		PRISMA (213 Bands)	
		LAI	LCC	LAI	LCC
		RMSE(SD)	RMSE(SD)	RMSE(SD)	RMSE(SD)
KERNEL-BASED	GPR	<b>0.59 (0.36)</b>	<b>8.31 (2.05)</b>	0.53 (0.23)	6.82 (2.00)
	VHGPR	0.70 (0.43)	8.31 (2.07)	0.55 (0.20)	7.08 (1.62)
	RVM	0.63 (0.27)	9.21 (1.95)	0.60 (0.27)	7.57 (2.58)
	SVR	0.65 (0.37)	9.02 (2.02)	0.70 (0.37)	8.60 (2.85)
	KRR	0.58 (0.21)	8.51 (1.74)	<b>0.51 (0.29)</b>	<b>6.09 (2.25)</b>
	ELM	0.69 (0.27)	8.85 (3.47)	0.81 (0.31)	9.16 (1.60)
NON KERNEL-BASED	NN	1.00 (0.15)	10.15 (3.58)	0.82 (0.12)	9.61 (0.54)
	BagT	0.96 (0.13)	11.01 (3.90)	0.84 (0.11)	11.54 (0.62)
	PCR	1.06 (0.22)	10.42 (3.70)	0.89 (0.10)	9.85 (0.46)
	RFTB	0.98 (0.13)	10.79 (3.81)	0.86 (0.11)	11.46 (0.60)
	LSLR	1.07 (0.20)	10.11 (3.60)	1.04 (0.11)	11.24 (0.64)
	PLSR	1.07 (0.19)	10.11 (3.60)	1.04 (0.11)	11.39 (0.69)
	BooT	1.13 (0.13)	11.75 (4.62)	1.24 (0.11)	12.28 (0.45)
	RegT	1.28 (0.17)	13.92 (4.88)	1.26 (0.13)	16.34 (0.68)
RFFE	1.35 (0.21)	14.56 (5.47)	1.30 (0.14)	16.77 (0.84)	

**Sentinel-2**

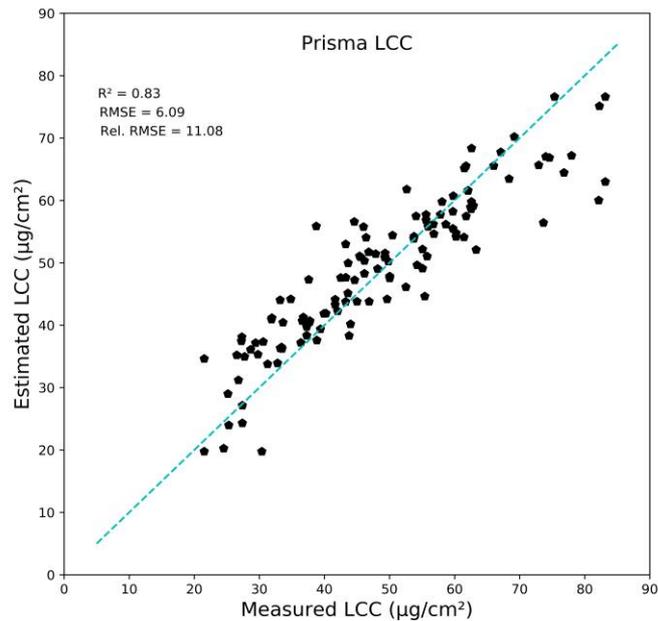
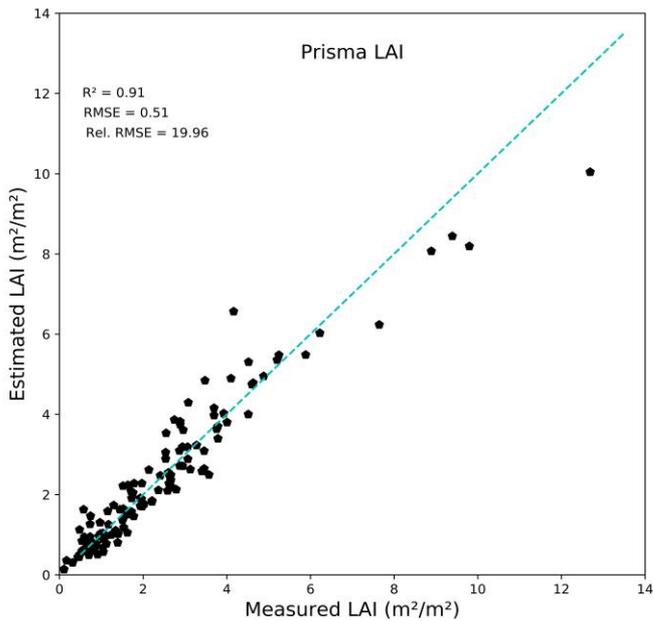
# LAI

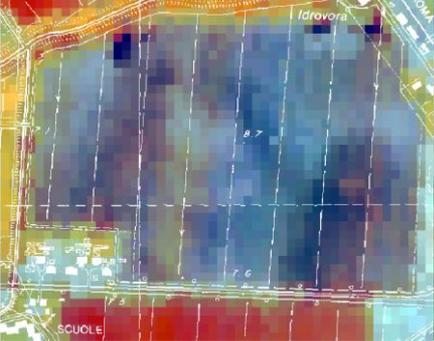


# Clorofilla fogliare



**PRISMA**





# Conclusioni

- ❑ Per le applicazioni in agricoltura di precisione è necessario il monitoraggio di variabili del suolo e della coltura ed il telerilevamento iperspettrale da satellite può contribuire ad entrambi
- ❑ **requisito ideale: altissima risoluzione spaziale ( $\sim <10$  m) e temporale ( $\sim 5$  gg)**
- ❑ ma anche con le caratteristiche di PRISMA (...EnMAP, CHIME...) si potranno avere contributi utili, soprattutto per la stima delle proprietà dei suoli agrari (non dinamiche)
- ❑ Per le proprietà della vegetazione su colture agrarie:
  - vista la bassa risoluzione temporale, è necessario prevedere sinergie (es. data fusion) con prodotti da sensori multispettrali come Sentinel-2
  - vista la “media” risoluzione spaziale (30 m) è necessario prevedere sinergie con dati a maggior risoluzione spaziale (es. pan-sharpening)