

Il telerilevamento iperspettrale a supporto della gestione dei rischi naturali ed indotti dall'uomo: casi di studio

S. Pignatti, A. Palombo, S. Pascucci, F. Santini

CNR IMAA




- **Expertise CNR IMAA**
- **Supporto alla gestione del rischio**
- **Casi di studio condotti da IMAA**
 - *Land Cover e Land Degradation*
 - *Inquinanti otticamente attivi*
 - *Food security - Agricoltura di precisione (DAFNE- TUSCIA)*
- **Conclusioni**

- Gruppo telerilevamento sull' HSI nasce nel 1995 con l'esperienza del MIVIS;
- Partecipa ai progetti scientifici di Hyperion; ha seguito lo sviluppo delle missioni HYPSEO, JHM; partecipa agli studi per PRISMA e CHIME;
- È in grado di operare con i principali sensori iperspettrali da aereo;
- Collabora dal 2002 con CISAM e dal 2014 con Capitaneria di Porto (sensore CASI);
- Partecipa ed ha partecipato a progetti di ricerca per il retrieving quantitativo di variabili di stato;



Strumento	Tipo	Range(μm)
<i>Ocean Optics 2000</i>	Spettrometro	0.3÷0.8
<i>Flir SC7000</i>	Camera	3.0÷5.0
<i>Flir SC900VL</i>	Camera	8.0÷12.0
<i>FT-IR D&P Model 102</i>	Interferometro	2.0÷16.0



HYSPEX, VNIR, SWIR

Spectral Range
0.4÷1.0μm; 1.3÷2.5μm,

Across track pixel
1600; 320 Pixel

Spectral Resolution
160 ch; 240 ch

NEdR< 0.07 mW/(m2 nm sr)
NEdR< 0.3 mW/(m2 nm sr)



TASI 600 LWIR

Spectral Range
8÷11.5 μm,

Across track pixel
640 Pixel

Spectral Resolution
32 ch; FWHM
0.109μm

NEdT< 0.2 K @ 300° K

Introduzione

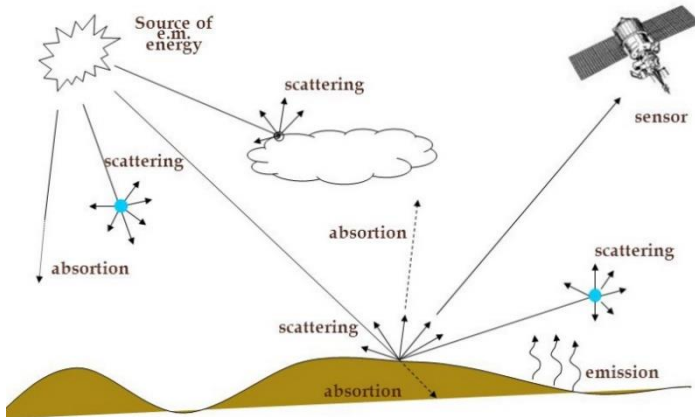
nell'ambito della *exploitation* dei dati iperspettrali si è recentemente concluso il progetto SAP4PRISMA con l'obiettivo di identificare quei prodotti tematici dove il dato iperspettrale rappresentava un forte valore aggiunto. L'attività di ricerca condotta nell'ambito di SAP4PRISMA e della elaborazione dei dati da aereo ha riguardato lo sviluppo di algoritmi per la:

- *Identificazione e monitoraggio di elementi otticamente attivi (potenziali inquinanti);*
- *Land Cover e Land Degradation*
- *Stima post-disastro della severità del danno*
- *Agricoltura di Precisione*

Settori principali: monitoraggio degli ecosistemi naturali, studio del suolo (caratteristiche pedologiche e contaminazioni), applicazioni in agricoltura

Modelli di correzione complessi

Advanced Model

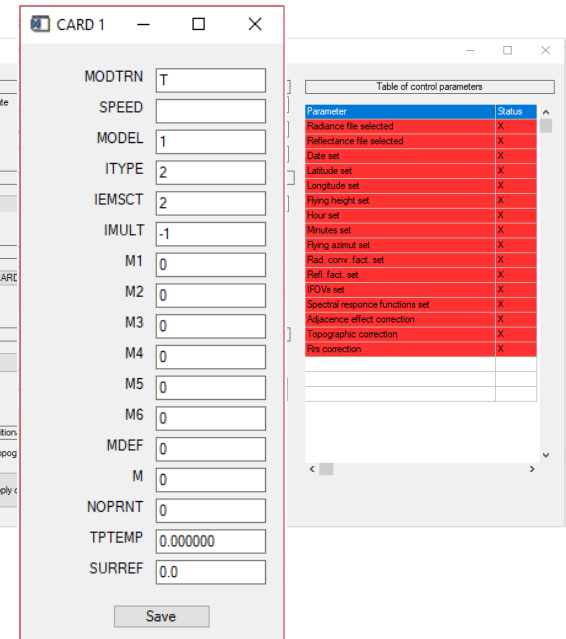
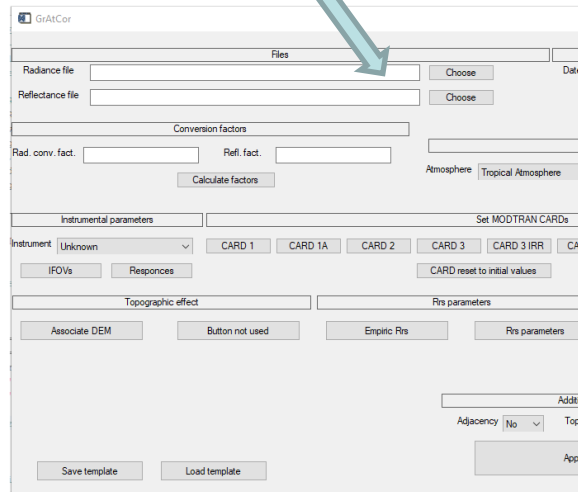
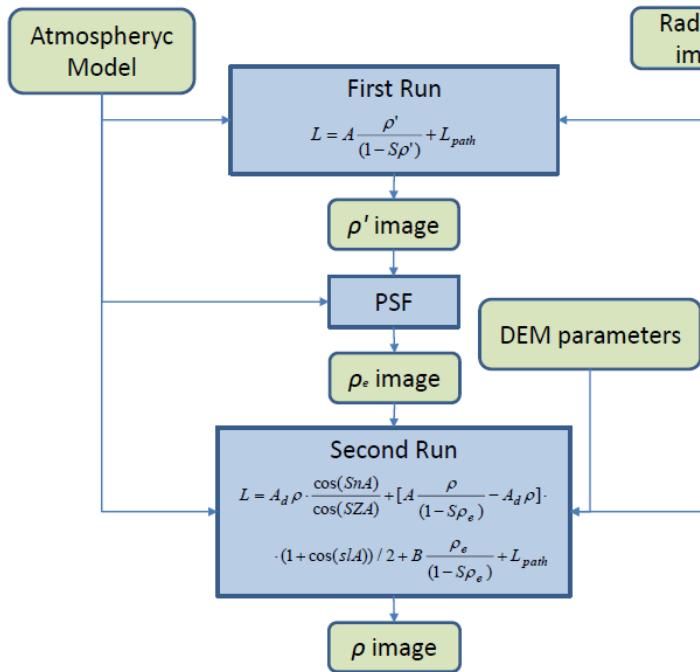


$$L = A_d \rho \cdot \frac{\cos(SnA)}{\cos(SZA)} + [A \frac{\rho}{(1-S\rho_e)} - A_d \rho] \cdot (1 + \cos(sIA)) / 2 + B \frac{\rho_e}{(1-S\rho_e)} + L_{path}$$

Includes adjacency effects, DEM, ...

Software interface

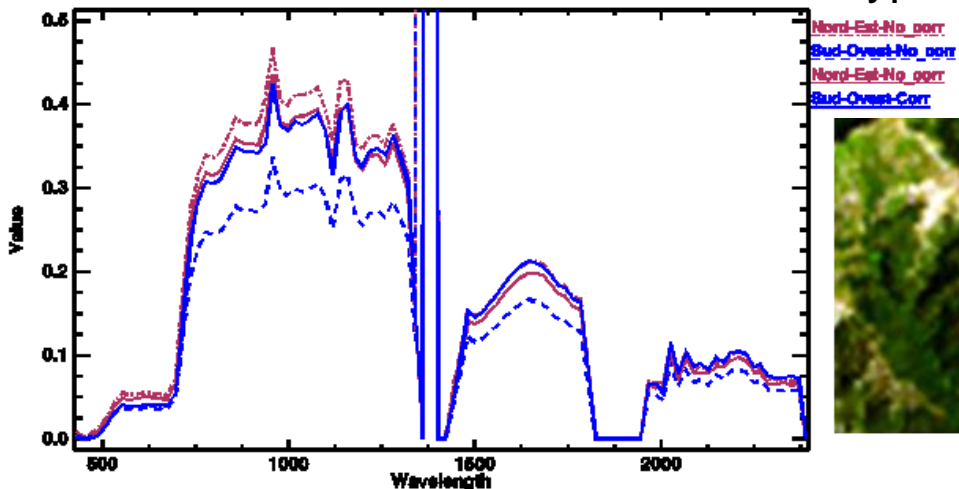
Scrittura card MODTRAN



Modelli di correzione complessi - Applicazioni

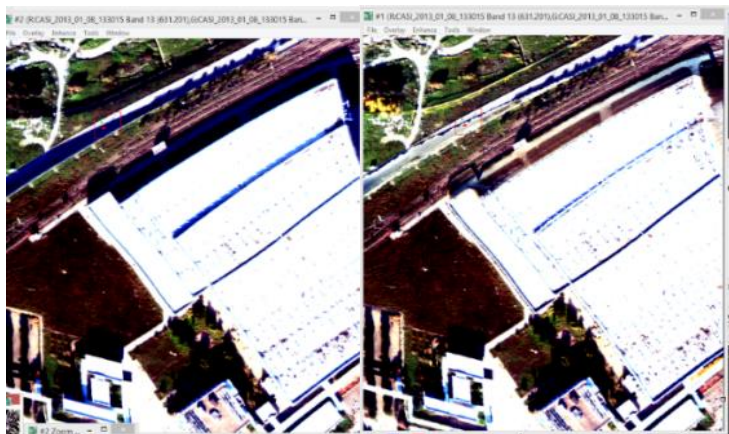
Hyperion

– Monti Nebrodi, Sicilia

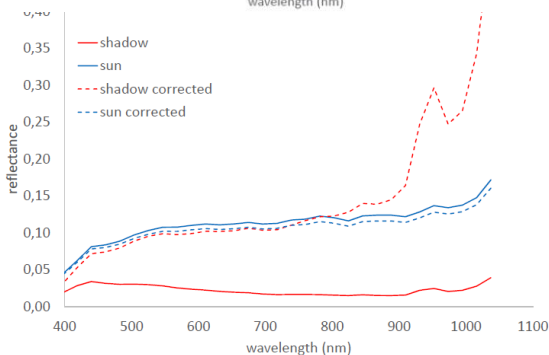
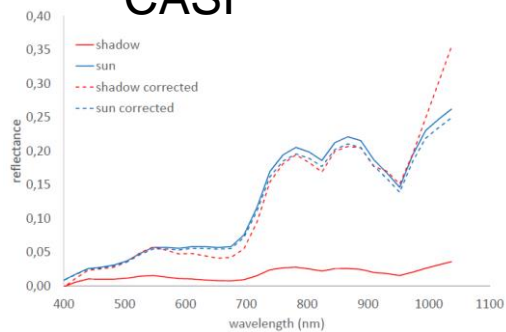


Vegetation spectra of slopes with different expositions, with and without topographic correction

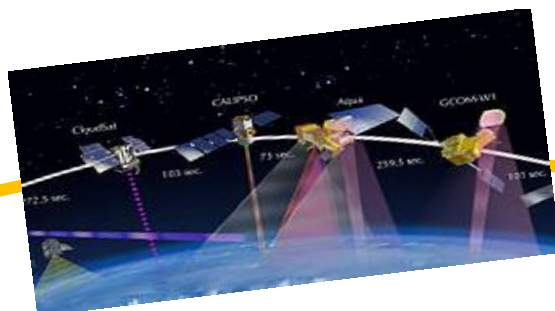
Shadows correction – Reggio Calabria



CASI



Stima del rischio, dato EO



Stima quantitativa di
variabili di stato;
piattaforma (*revisit
time*), *SNR*

Multi mission data
(*swath*); Long Term
data set

Risk
Analysis

In situ data, reti
monitoraggio, Land
Use change

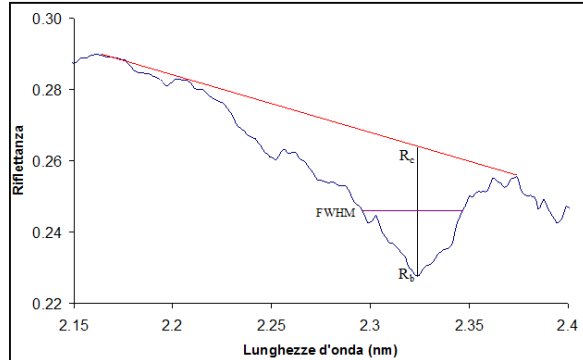
Tecniche di
assimilazione variabili
EO in modelli (variabili
proxi)

PRISMA: materiale asbestiforme (1)

Band Depth

$$BD_{SWIR} = 1 - \frac{R_b}{R_c} = 0.14$$

$R_c = 0.264$; $R_b = 0.228$; Spectrum FWHM $\sim 23\text{nm}$



Feature spettrale serpentiniti nello SWIR (ASD)

BDL Hyperion

- SNR @ 2.32 μm ~ 20
- Band width @ 2.32 μm $\sim 10\text{ nm}$

$$BDL(Hyperion) = \frac{CF}{SNR \sqrt{\frac{\text{spectrum FWHM}}{\text{BandWidth}}}} = 0.066$$

$$f_{\min(Hyperion)} = \frac{BDL}{BD} = 48\%$$

BDL PRISMA:

- SNR @ 2.32 μm ~ 200
- Band width @ 2.32 μm $\sim 7.6\text{ nm}$

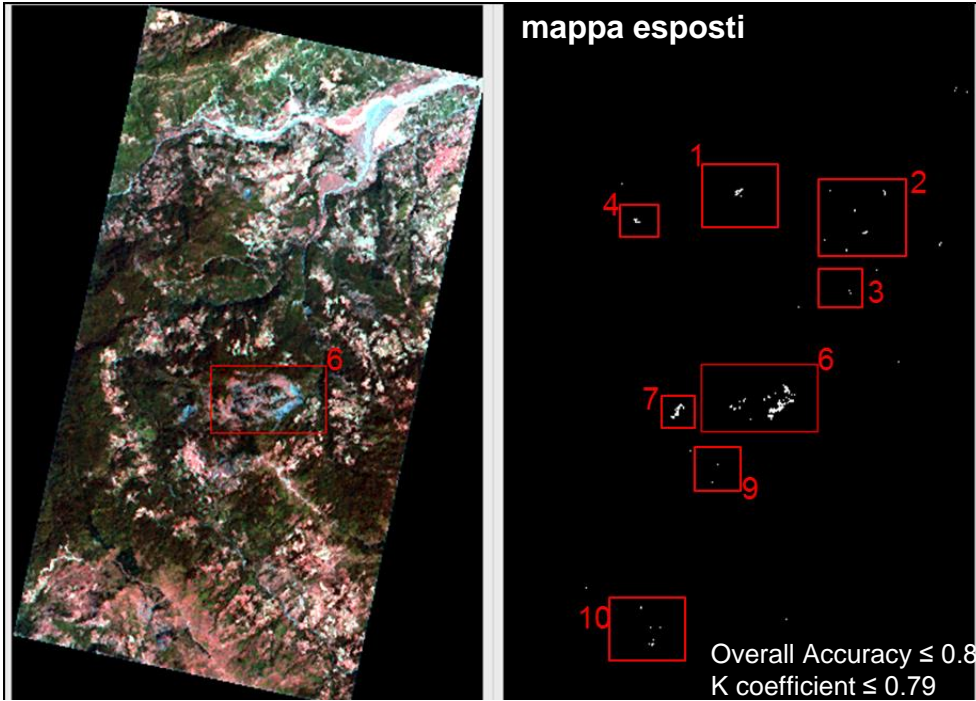
$$BDL_{(PRISMA)} = 0.006$$

$$f_{\min(PRISMA)} = 4.3\%$$

Il SNR di Hyperion nello SWIR consente la sua detection solo quando il rumore dell'immagine acquisita non maschera la features di assorbimento spettrale

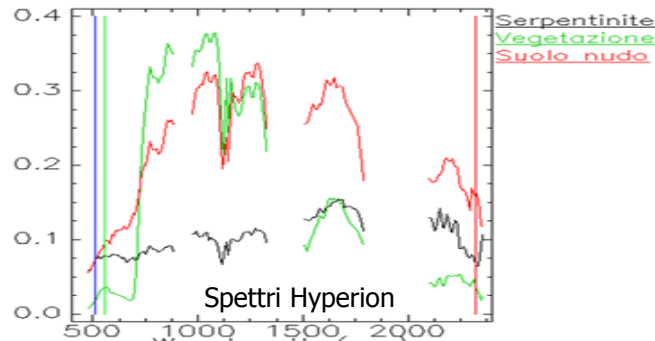
Rischio ambientale - affioramenti NOA (1)

potenziali rischi per la popolazione conseguenti all'esposizione ambientale a fibre minerali asbestiformi: il livello medio di concentrazione delle fibre in aria è generalmente basso, ma può aumentare significativamente quando i materiali contenenti le fibre sono sollecitati meccanicamente



Hyperion (30/8/2012) with
Topographic correction

R:2324 nm;
G:559 nm;
B:487 nm



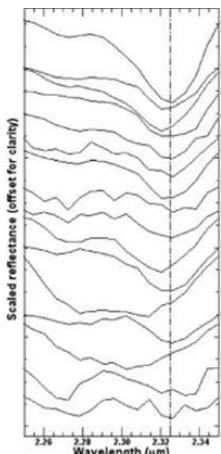
Affioramenti serpentiniti:



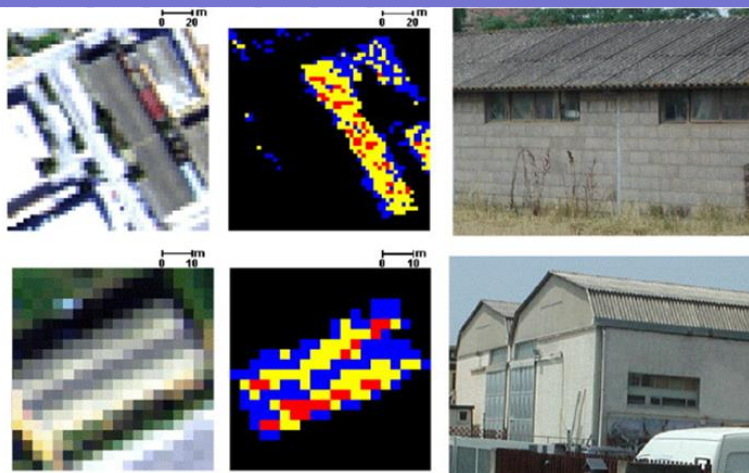
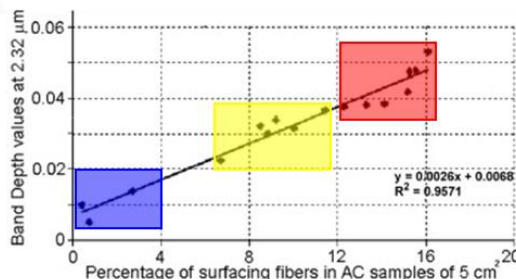
cartografia geologica 2010-2011 nell'area di studio per validazione del prodotto.

Rischio ambientale – stima % fibre esposte (1)

Samples (#)	2.32µm Band Depth (%)	Surfacing fibres (%)
1	0.98	0.4
2	0.50	0.7
3	1.59	2.7
4	2.23	6.7
5	3.22	8.5
6	3.01	8.8
7	3.38	9.2
8	3.14	10.0
9	3.66	11.4
10	3.76	12.3
11	3.81	13.2
12	3.83	14.1
13	4.16	15.2
14	4.72	15.3
15	4.76	15.5
16	5.39	16.1



set up algoritmo (per MIVIS)

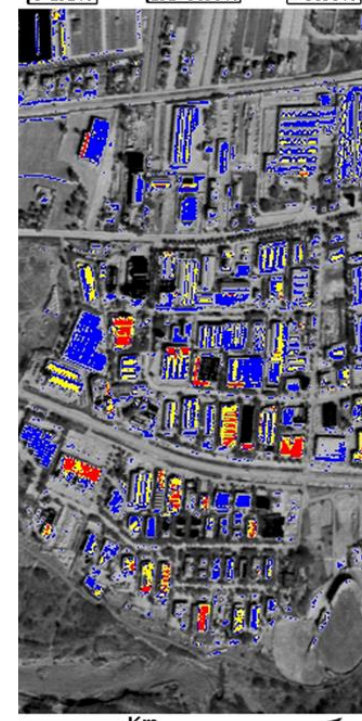


accuratezza

Stato deterioramento



AC deterioration status map in the Follonica industrial area using MIVIS airborne data

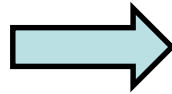


AC deterioration status map in the Rimini industrial area using MIVIS airborne data

Bassani, C., Cavalli, R.M., Cavalcante, F., Cuomo, V., Palombo, A., Pascucci, S., Pignatti, S. *Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data* (2007) *Remote Sensing of Environment*, 109 (3), pp. 361-378.

Rischio industriale - scarti lavorazione alluminio e polveri (2)

identificazione caratteristiche del **RD** su dati ASD (situ e lab)



Calibrazione
indice ***RDI*_{PRISMA}**

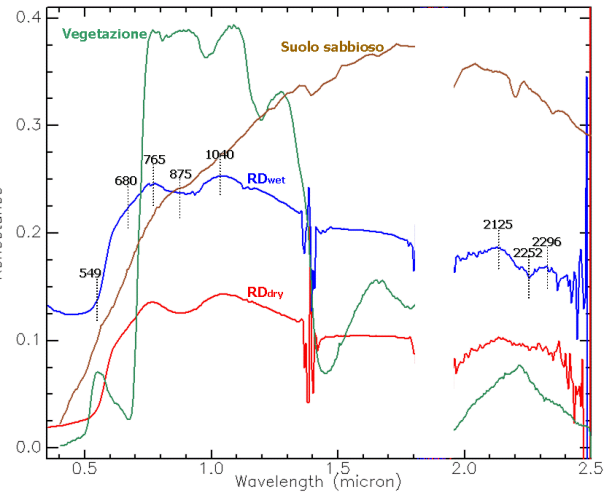
$$RDI_{PRISMA} = \frac{\lambda_{679} - \lambda_{554}}{\lambda_{2251} + \lambda_{679} + \lambda_{554}}$$



Valore di soglia ottimale da dati Hyperion dell'indice RDI_{PRISMA} per il caso reale dell'immagine Hyperion che consente di ottenere una corretta stima della distribuzione del materiale inquinante su suoli per l'incidente di Ajka (Ungheria) del 2010.

Valori dell'indice che variano tra -1 e 1 → range di variabilità ottimale 0.25 ÷ 0.35

Overall Accuracy > 0.88 ; K > 0.8 (cfr. con mappa da aereo)

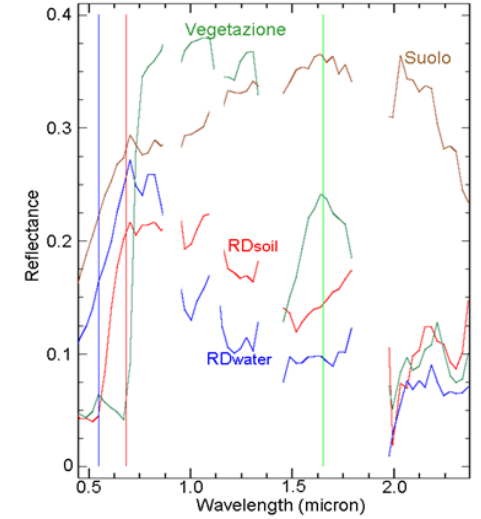
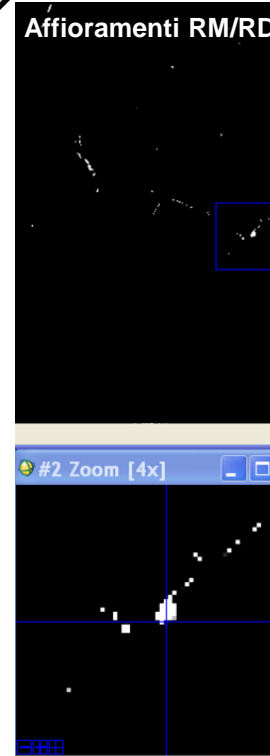


Ungheria ott. '10

CHRIS imagery

RM composition	
Fe ₂ O ₃	30–60 wt%
Al ₂ O ₃	10–20 wt%
SiO ₂	3–50 wt%
Na ₂ O	2–10 wt%
CaO	2–8 wt%
TiO ₂	Trace-25 wt%

Air photos

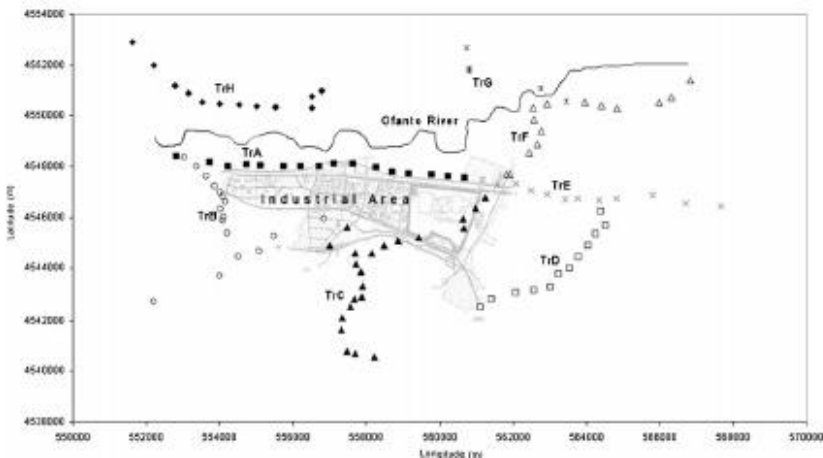
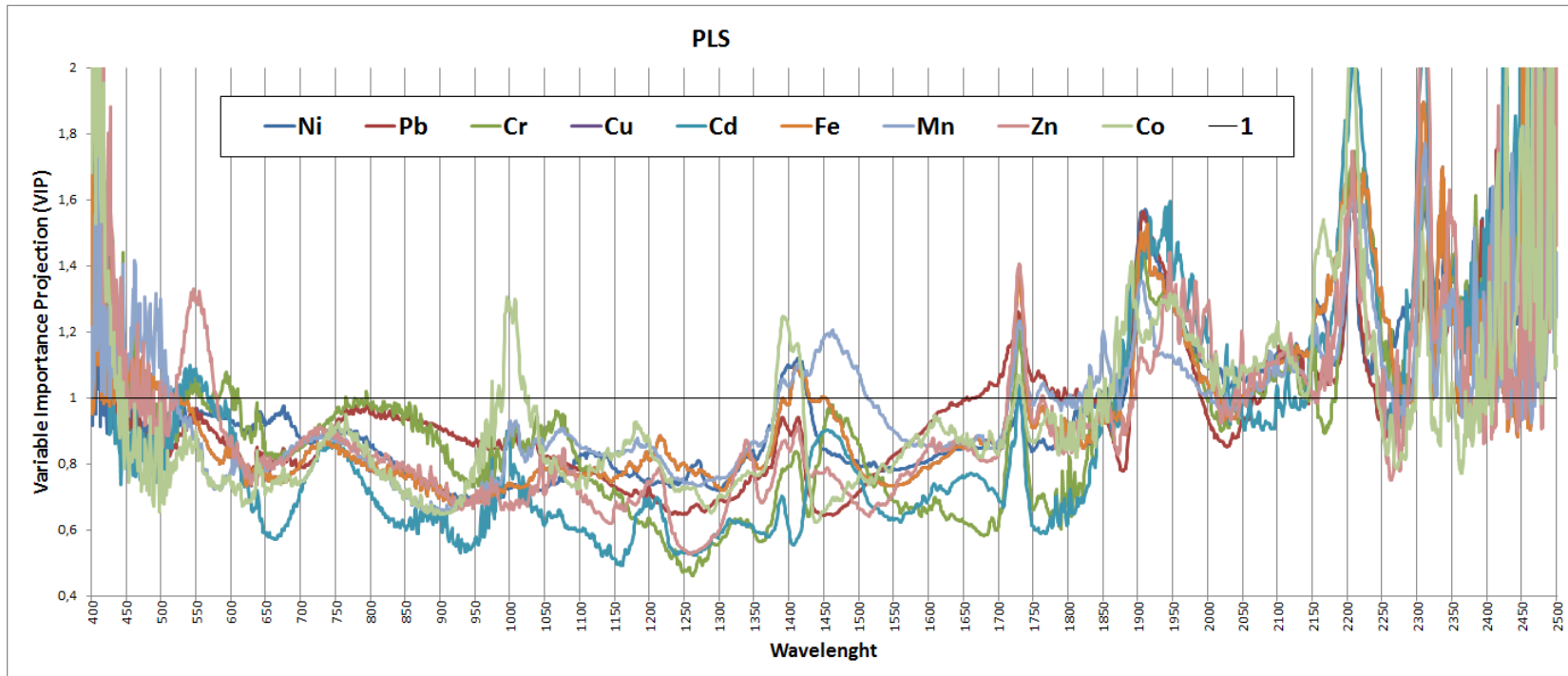


Spettri in riflettanza (effetto di adiacenza corretto) da Hyperion

Pascucci S., et al. Using imaging spectroscopy to map red mud dust waste: The Podgorica Aluminum Complex case study. Remote Sensing of Environment, 2012, 123, pp. 139-154

Ritaglio immagine Hyperion (9/10/2010) R:681;G:1649;B:559nm RD (valori RDI_{PRISMA} > di 0.25)

Rischio industriale: contaminazione suolo da metalli pesanti (3)

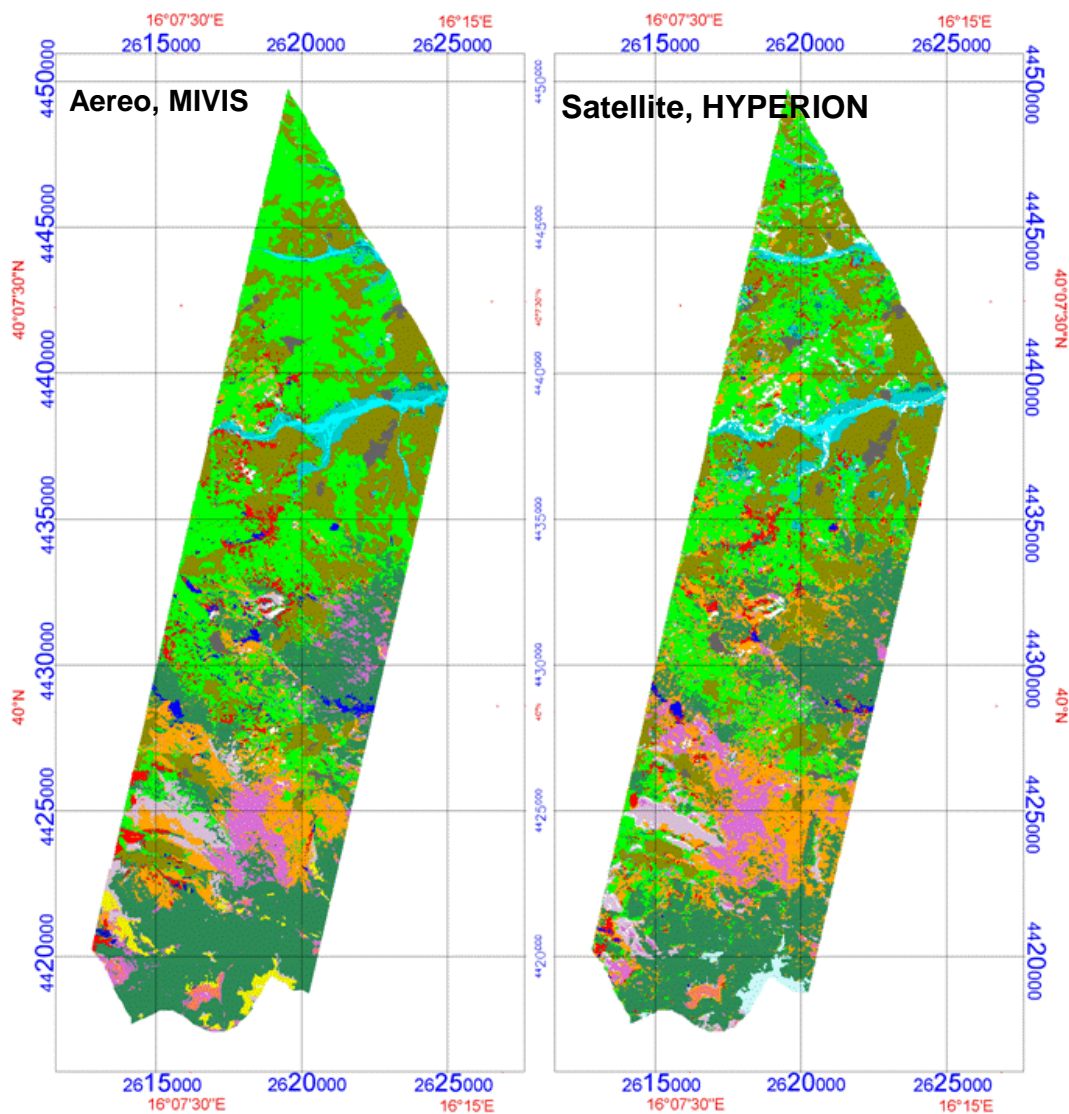


110 campioni di suolo dell'area industriale di Melfi (Regione Basilicata) tra il 1993 ed il 2004

Analisi in laboratorio con XRD e XRF per la stima dei metalli pesanti e ASD per le caratteristiche spettrali.

PLSR per evidenziare le potenzialità dei dati VSWIR nella riconoscimento di suoli contaminati

LAND COVER: conoscenza di base, mappa esposti (4)

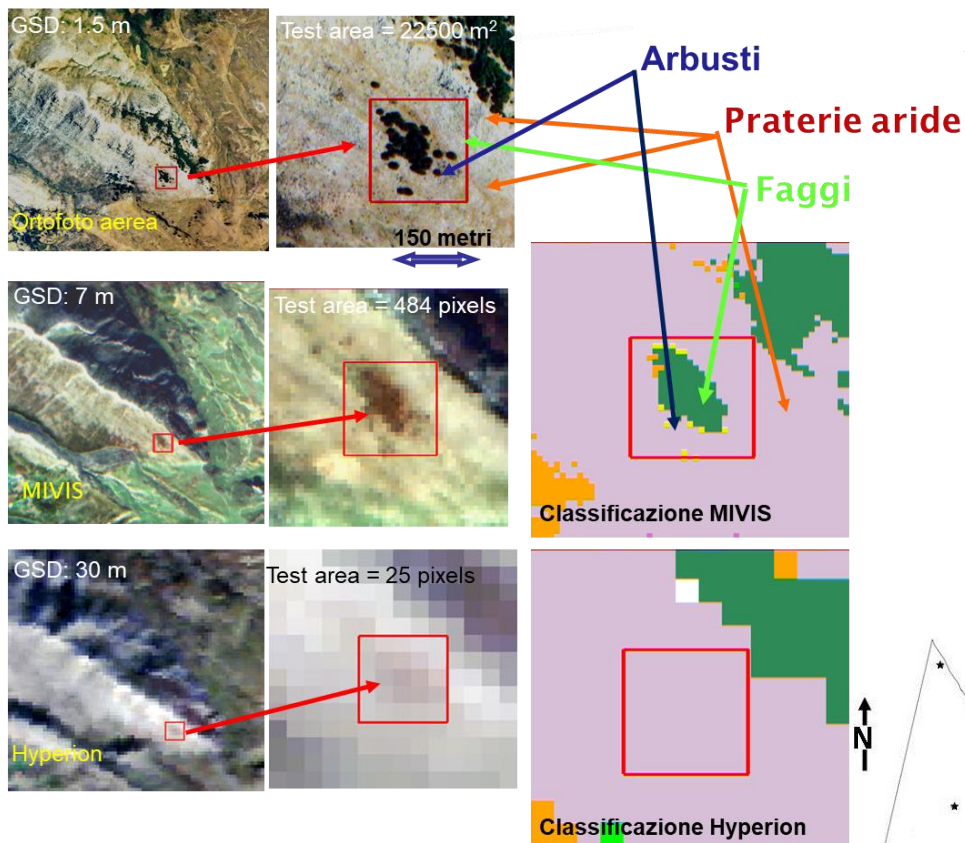


Land Cover ottenute selezionando un classificatore *hard* (MD) considerando 13 classi (4° livello) Corine Land Cover

Fino al 4° CLC, MIVIS e Hyperion hanno prestazioni simili



LAND COVER: extent distribution map (4)



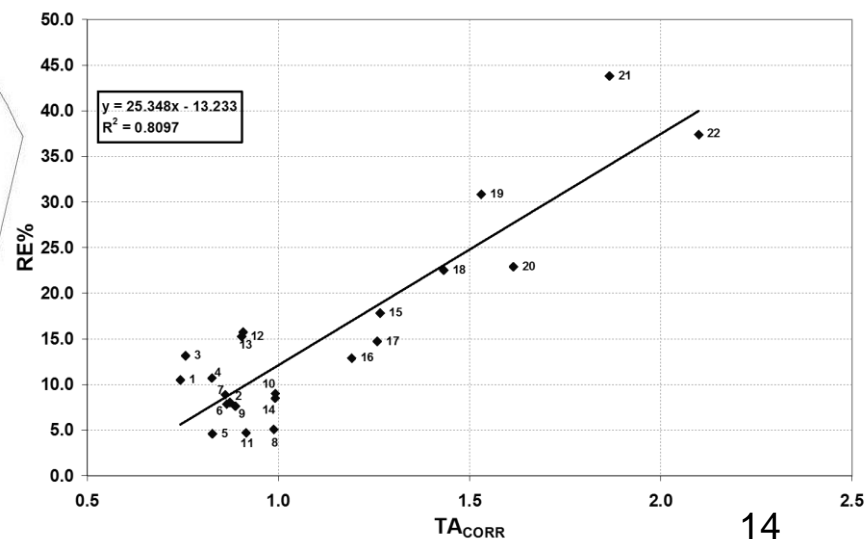
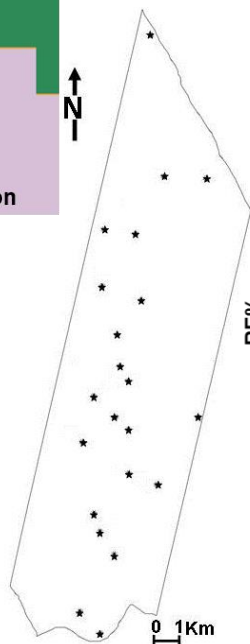
Analisi di un sistema naturale ad elevata frammentazione attraverso tecniche di unmixing spettrale

Il confronto dei risultati con le percentuali dei singoli endmembers a livello di subpixel ottenute dal MIVIS in termini di "Errore Residuale" (RE%)

Endmembers	% unmixing HYPERION	% MD MIVIS
arbusti	6.54	3.31
faggio	22.20	23.76
Praterie aride	71.26	72.93
RE% = 5.03		

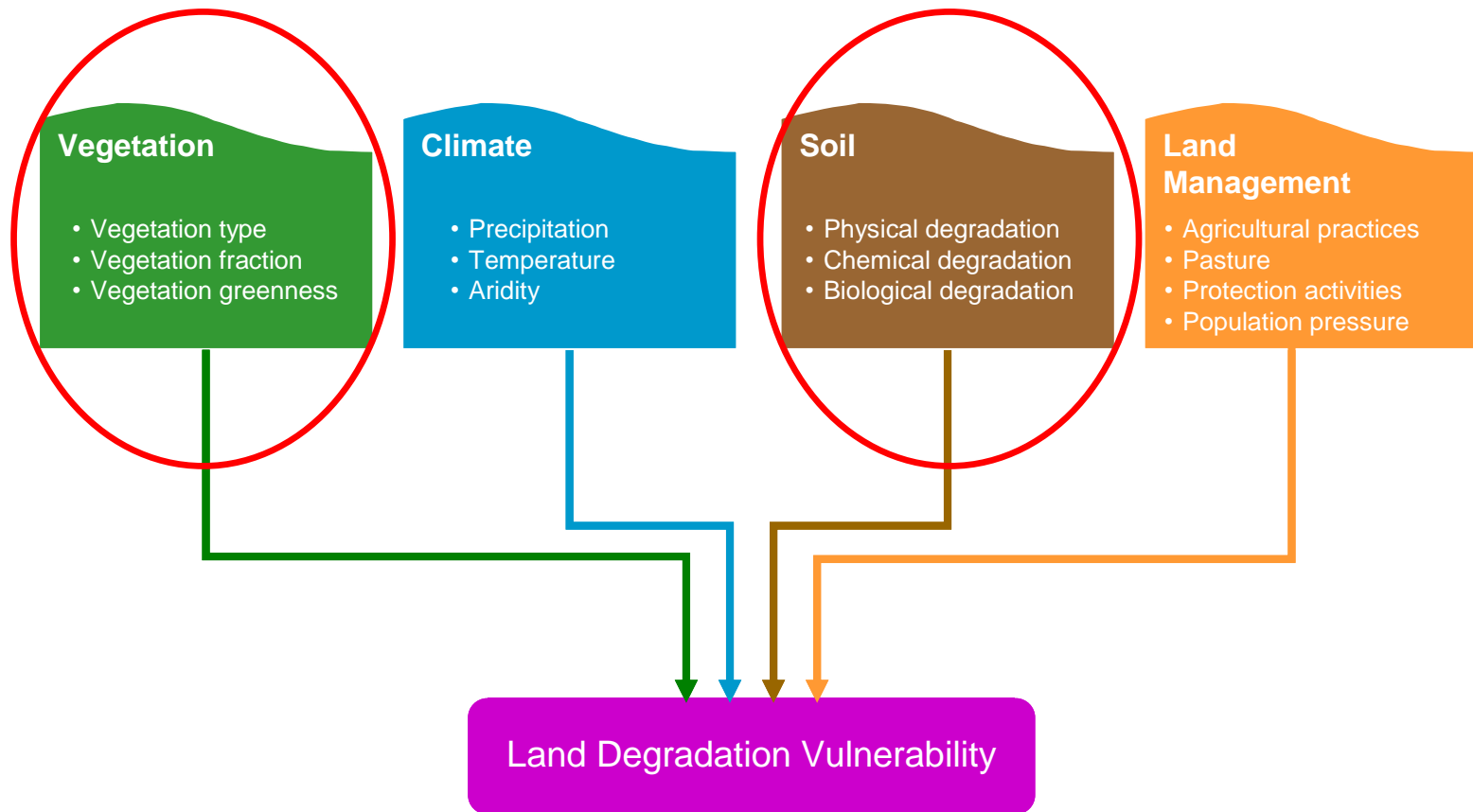
$$TA_{CORR} = \frac{1}{npixel} \times \sum_{k=1}^{npixel} \min(D_k)$$

TA_{corr} è una misura dell'accuratezza x area



Stima della vulnerabilità – Land Degradation (5)

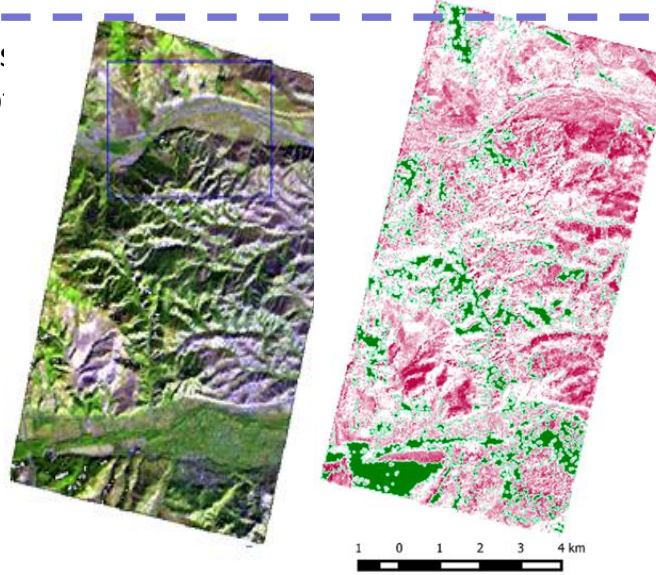
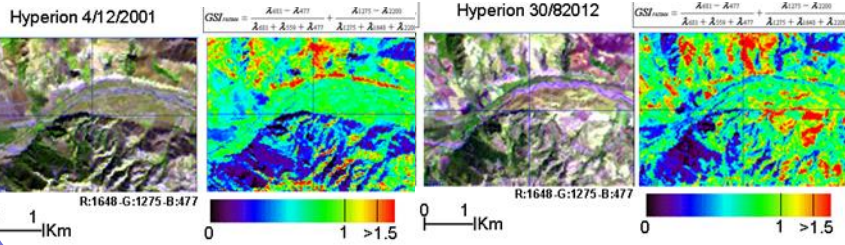
Schema generalmente utilizzato per la stima della Vulnerabilità/Sensibilità alla *land degradation* (degrado delle terre aride, semi-aride e sub-umide secche attribuibile a varie cause tra cui le variazioni climatiche e le attività umane)



Rischi naturali- Land degradation (5)

Modified Grain Size Index (GSI_{PRISMA}) to identify areas prone to erosion and highlight different levels of vulnerability

$$GSI_{PRISMA} = \frac{\lambda_{681} - \lambda_{477}}{\lambda_{681} + \lambda_{559} + \lambda_{477}} + \frac{\lambda_{1275} - \lambda_{2200}}{\lambda_{1275} + \lambda_{1648} + \lambda_{2200}}$$



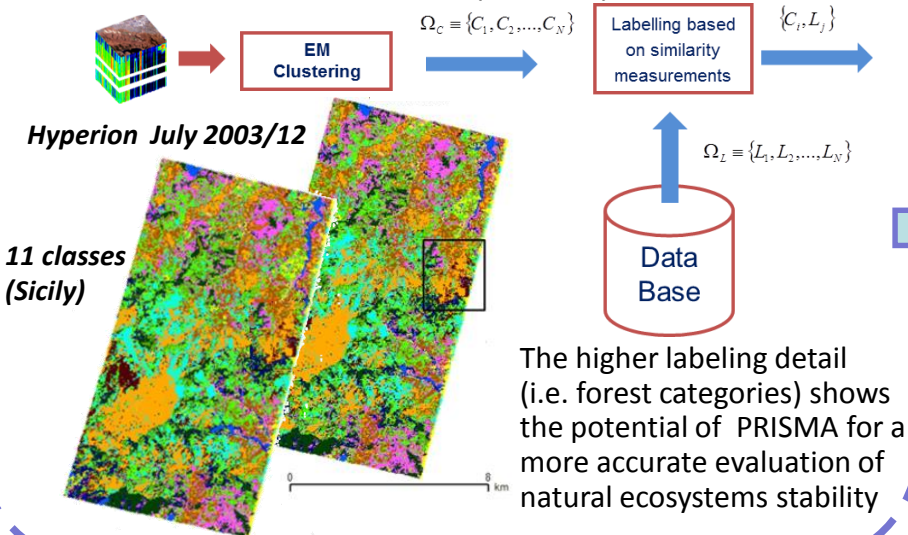
ΔGSI_{PRISMA} (2001-2012)

Areas with increases in the sandy component of soil are linked to current erosion processes (Aliano, Southern Italy)

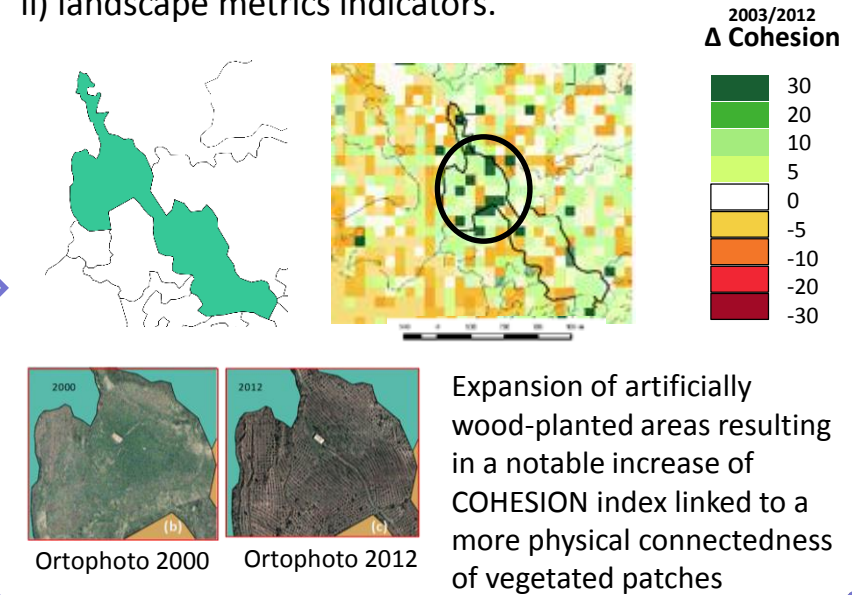
- High erosion
- Stable / Accumulation
- Vegetated areas

Evaluation of ecological stability of natural ecosystems

i) hybrid clustering procedure for recognizing the relevant land cover classes (clusters);



ii) landscape metrics indicators.

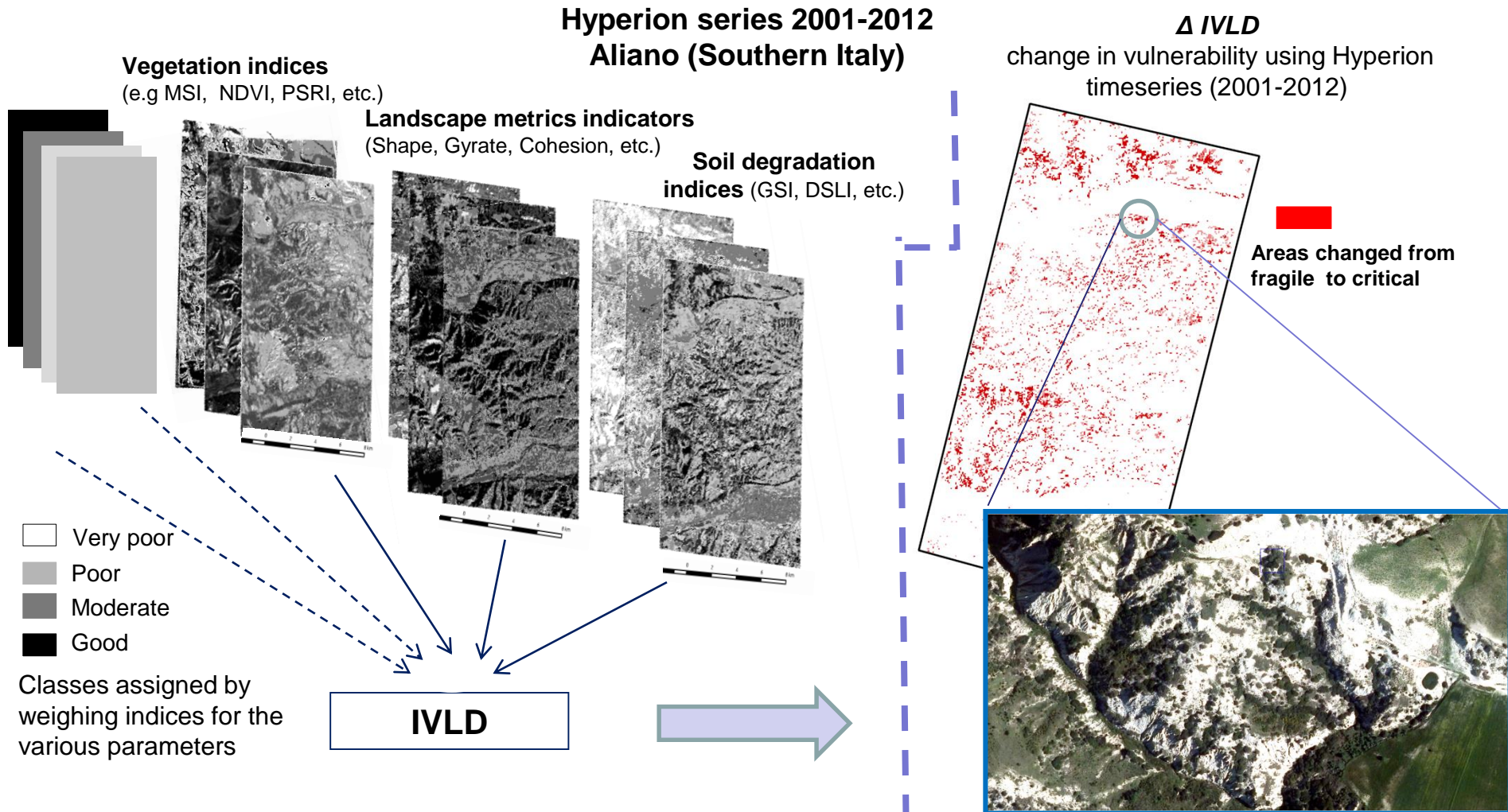


Natural hazards - Land degradation (5)

IVLD Index of Vulnerability to Land Degradation (based on the ESAs approach, Kosmas et al., 1999)

$$IVLD = (I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n)^{1/n}$$

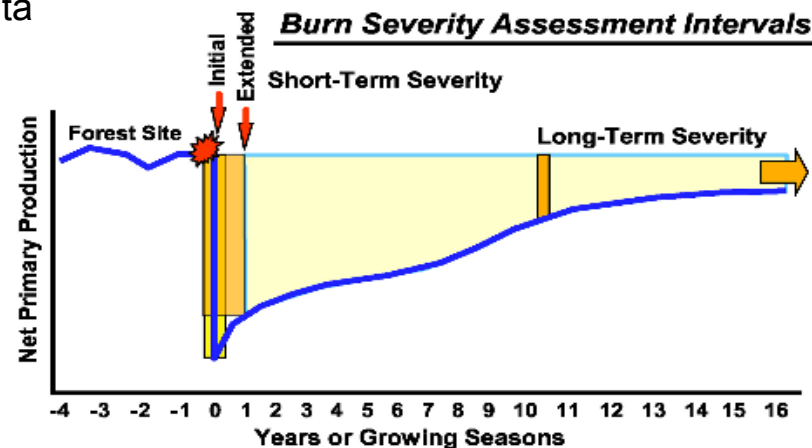
$I_1 \dots I_n$ are the individual PRISMA retrieved indicators pertaining to the sub_soil and vegetation components



Rischio incendio: post evento severità del danno da incendio (6)

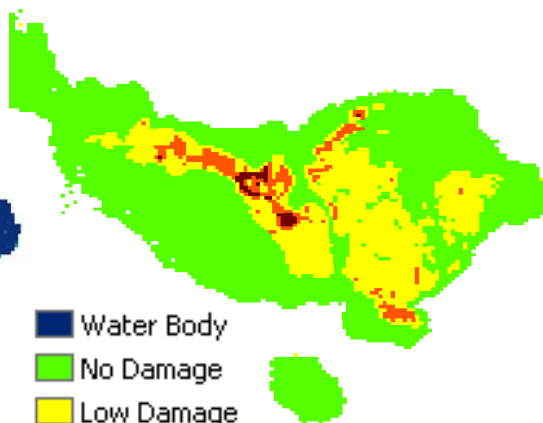
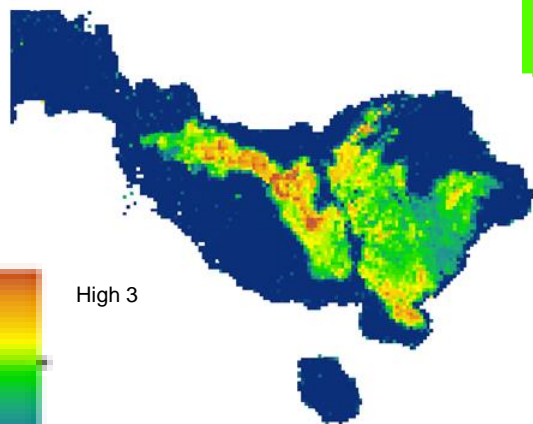
La **severità del danno da incendio** è definito come l'entità del cambiamento indotto da un incendio sulla vegetazione

Burn Severity Scale/CBI						
unburned	low		medium		high	
0	0.5	1	1.5	2.0	2.5	3.0



$DSI_{hyperion}$

$$\Delta NBR_{Landsat} = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}$$



Sardegna, golfo Aranci

È possibile introdurre un indice di livello di danno che si basi sulla stima di quantità biofisiche che possano essere misurate a terra e stimate utilizzando immagini iperspettrali.

Indici spettrali vengono combinati con una immagine classificata dello stato pre-evento per estrarre il livello di danno unite attraverso un albero di regressione.

Integrazione di dati aerei TASI-600 e satellitari WorldView 3 per la mappatura dell'umidità dei suoli agricoli

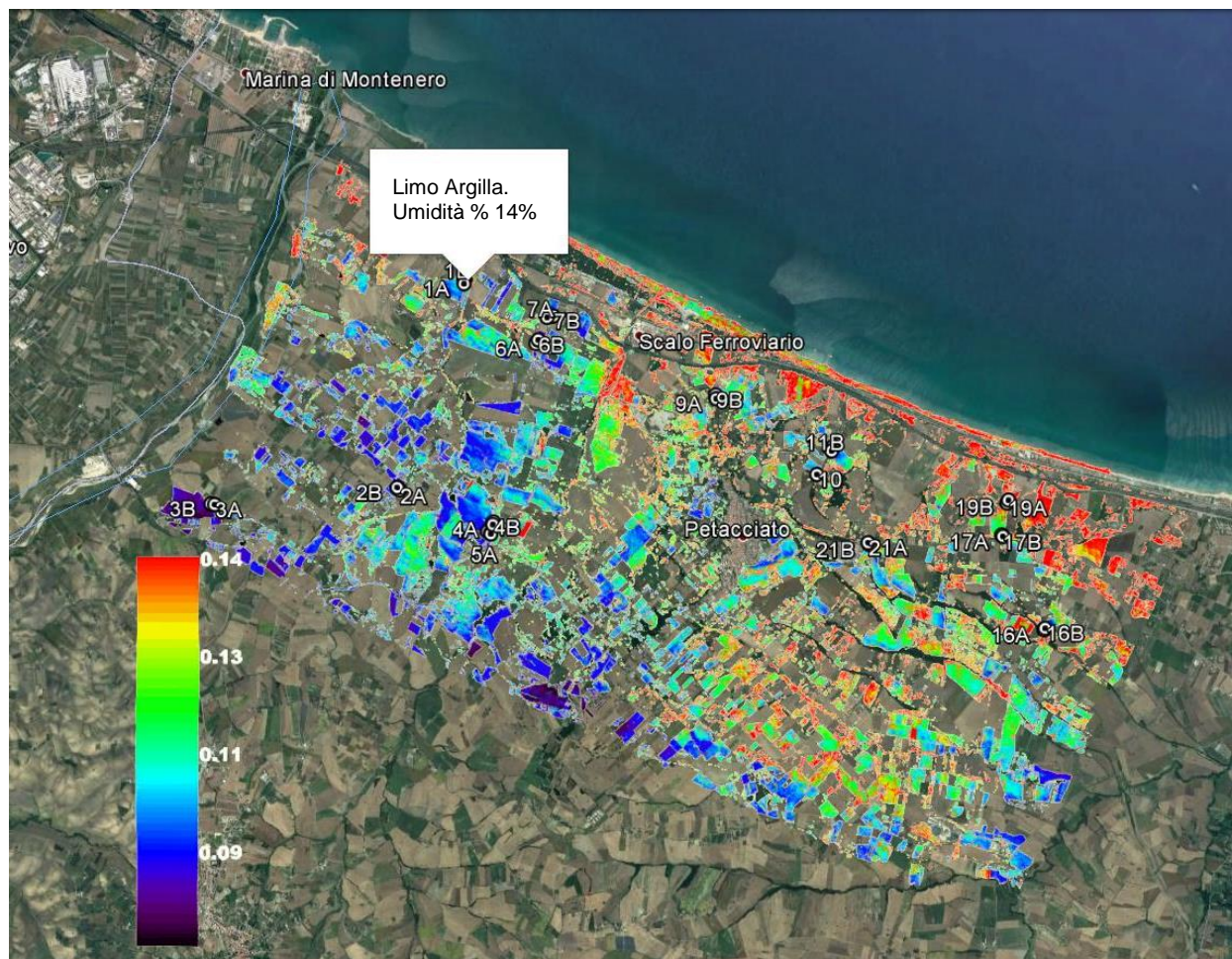
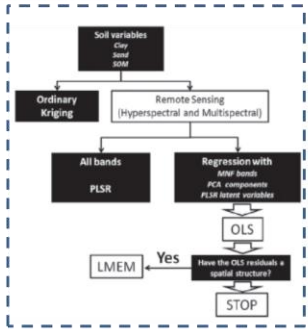


Immagine da Google Earth su cui viene riportata la mappa di umidità ottenuta dal processamento dei **dati multispettrali termici TASI** e da **dati satellitari ottici (VNIR) WorldView 3** entrambi ad alta risoluzione spaziale (1 m)

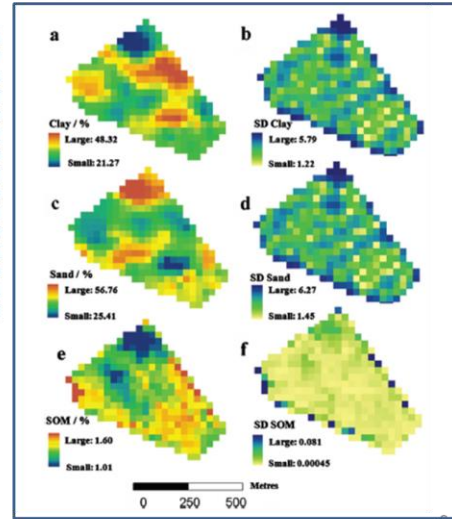
Sulla mappa sono indicati i punti di campionamento dei campioni di suolo prelevati in situ contestualmente al volo TASI

Food security: agricoltura di precisione

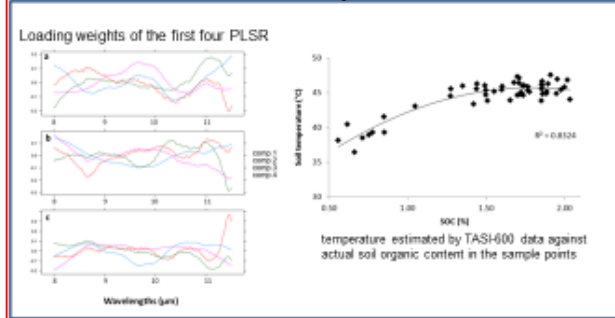
	n°	Min %	Max %	Mean %	sd	skewness
clay	72	18.37	49.61	37.91	6.78	-0.37
sand	72	23.10	60.43	36.55	7.48	0.95
SOM	72	1.07	2.67	1.69	0.44	0.64



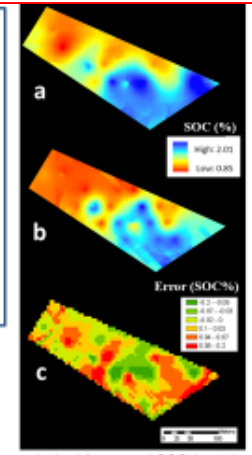
		Clay	Sand	SOM
OK	RMSE	4.46	5.18	0.33
Ordinary K	RIPQ	2.29	1.69	1.76
PLSR	RMSE	5.95	6.69	0.41
	RIPQ	1.64	1.31	1.41
LMEM	RMSE	4.07	4.90	0.15
	RIPQ	2.40	1.79	3.87



Stima delle proprietà del suolo a Maccarese (Roma) da dati aerei multispettrali TASI-600



Soil Variable	Datum	No. of PLSR factors	R²	RMSE	RPD	RPKL
Clay	Emissivity	4	0.27	5.85	1.18	0.99
	MNF		0.42	5.15	1.34	1.15
Sand	Emissivity	2	0.10	4.77	1.10	1.50
	MNF		0.15	4.61	1.14	1.35
SOC	Emissivity	2	0.24	0.81	1.18	1.51
	MNF		0.53	0.26	1.46	1.96



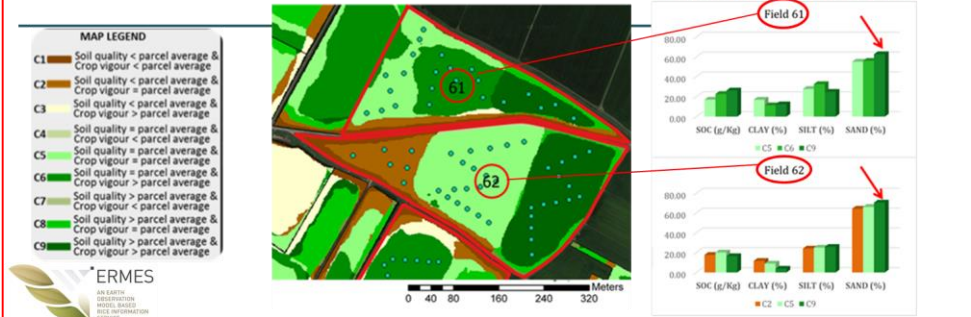
Ordinary kriging map obtained from actual SOC data (a) compared with (b) the ordinary kriging map from predicted values obtained by cubist calibration model using TASI-600 MNF data. The error map (c), expressed as difference between kriged predicted SOC (%) and kriged measured SOC (%).

F. Castaldi, R. Casa, A. Castrignanò, S. Pascucci, A. Palombo and S. Pignatti «Estimation of soil properties at the field scale from satellite data: a comparison between spatial and non-spatial techniques» ESJ, Volume 65, Issue 6, pages 842-851, November 2014

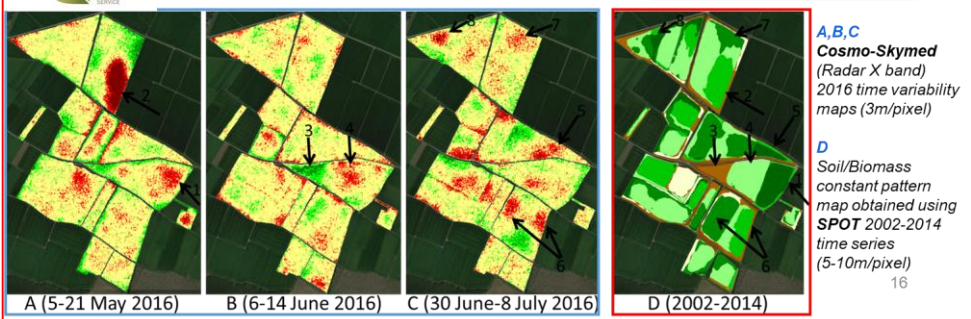
Stima delle proprietà del suolo a Maccarese (Roma) da dati satellitari iperspettrali Hyperion «Progetto SAP4PRISMA-ASI»

Castaldi, F., Palombo, A., Santini, F., Pascucci, S., Pignatti, S., Casa, R. Evaluation of the potential of the current and forthcoming multispectral and hyperspectral imagers to estimate soil texture and organic carbon (2016) Remote Sensing of Environment, 179, pp. 54-65

Rice Farm in the Lomellina rice district (IT): Optical (SPOT 5m) and Radar (COSMO-SkyMed 3m) time series for ERMES

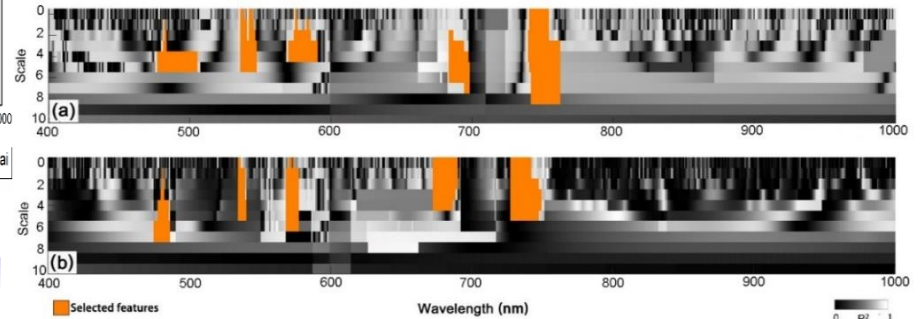
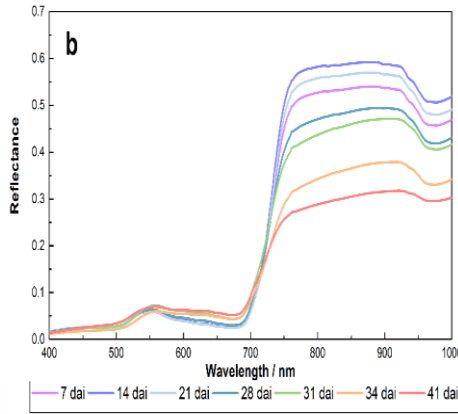
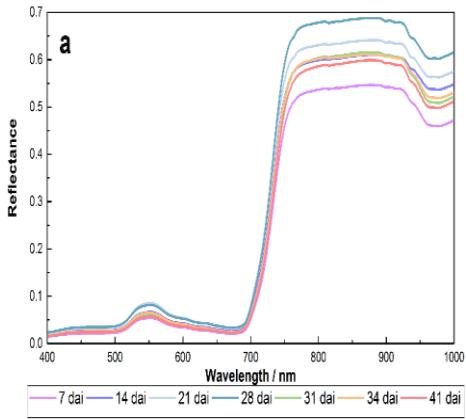


Stima dei pattern costanti dei campi di riso nel distretto della Lomellina (PV) ottenuti utilizzando serie storiche di dati SPOT (5m) e Cosmo-SkyMed (3m) «Progetto ERMES»

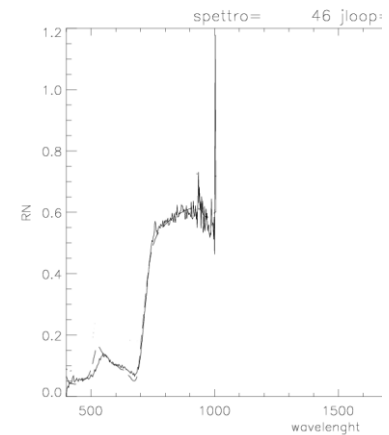
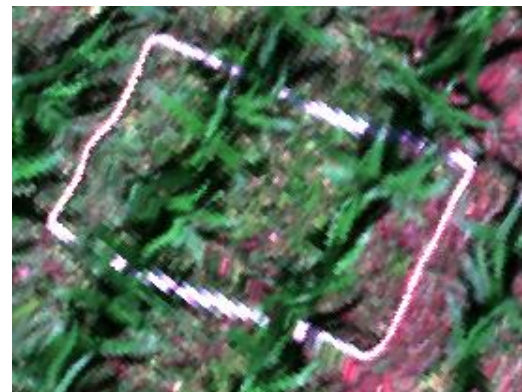
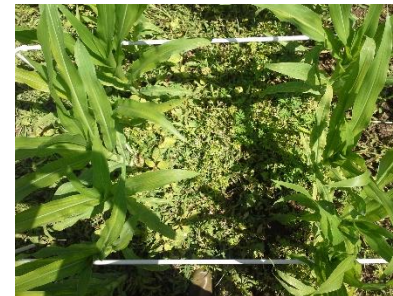
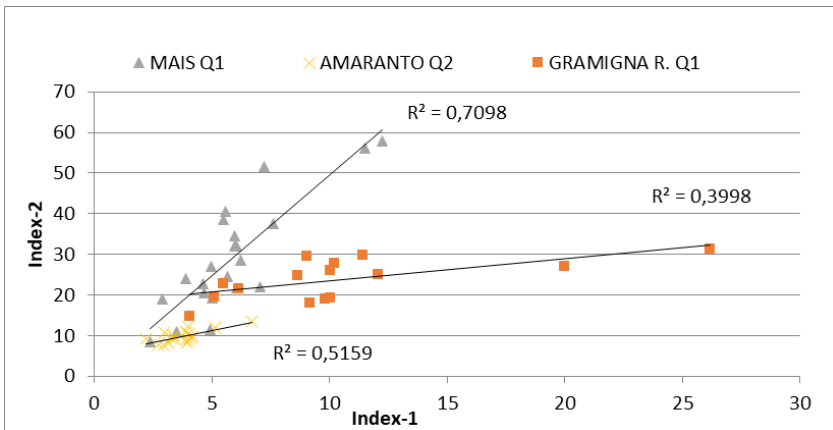


Food security: pest and disease & weeds

Differenze nello spettro tra un grano sano ed infettato in funzione dei *day after infestation* (dai). Wavelength Analysis per identificare bande spettrali sensibili al patogeno.



In corso identificazione infestanti:
 Analisi spettrale sulle infestanti con sensore iperspettrale (VNIR) su drone.



Conclusioni

- **Gli studi evidenziano come le future missioni iperspettrali consentiranno il retrieving di variabili di stato ambientali con un livello di incertezza (breakthrough) che non è possibile ottenere con i sensori attualmente disponibili**
- **I sensori iperspettrali rendono possibile la stima quantitativa (nuovi parametri o miglioramento degli esistenti) di variabili di stato a supporto del rischio.**
- **Esperienze già consolidate su aree di test hanno riguardato sia il rischio urbano/industriale che ambientale:**
 - **stima su base spettrale di materiali potenzialmente dannosi per la salute (es. asbesto, residui tossico-nocivi etc);**
 - **stima di parametri funzionali alla stima di rischi ambientali (es. land degradation, caratteristiche del suolo, severità danno incendi boschivi etc)**

Conclusioni

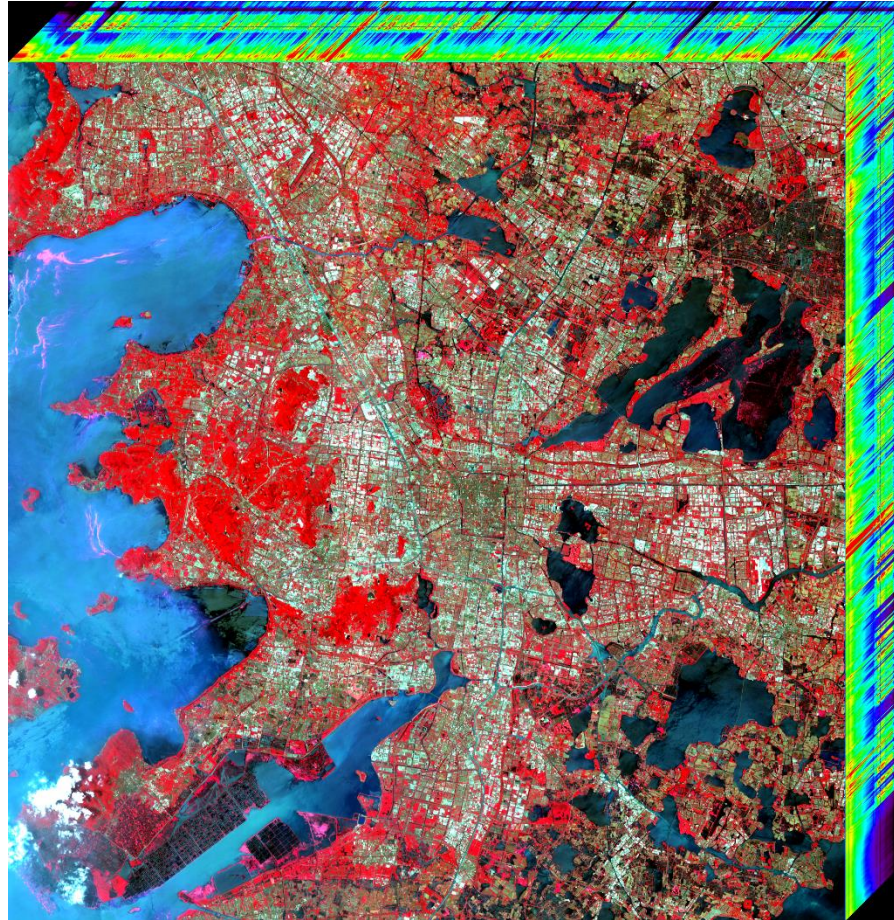
- E' evidente la sinergia tra le missioni iperspettrali (es. GF5, PRISMA, EnMap, Shalom, ECOSTRESS, Venus,) e Sentinel-1 & 2 sia per la validazione sia per la spazializzazione dei prodotti;
- Da valutare attentamente oltre la risoluzione spettrale (detector) l'impatto di :
 - una risoluzione spaziale (e.g. Shalom 10m GSD)
 - un elevato *revisit time* (e.g. Sentinel)
- Ad oggi gli “*Observational Requirements*” per il retrieving di “*key parameters*” per “*natural & man made hazards*” (da: ITT ESA mission concepts, 2018) sono:

	Score %	Revisit Time Th / Goal (day)	GSD Th / Goal (m)	Spectral Res. Th / Goal (nm)	Spectral range VSWIR / TIR
Ecosystem Structure & Composition (Biodiversity)	67	180/90	20/10	10/5	😊
Natural and Man-Made Hazards	67	16/7	30/20	10/5	😊
Agriculture & Food Security	83	16/8	30/10	10/10	

Bibliografia di riferimento CNR IMAA

1. Pascucci S.; Carfora, M.F.; Palombo, A.; Pignatti, S.; Casa, R.; Pepe, M.; Castaldi, F. A Comparison between Standard and Functional Clustering Methodologies: Application to Agricultural Fields for Yield Pattern Assessment. *Remote Sens.* 2018, 10, 585.
2. Xie Q., J., Dash, W. Huang, D. Peng, Q. Qin, H. Mortimer, R. Casa, S. Pignatti, G. Laneve, S. Pascucci, Y. Dong, H. Ye. Vegetation indices combining the red and red-edge spectral information for leaf area index retrieval. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, May 2018, vol. 11, no.5, pp. 1482-1493.
3. Silvestro P.C., Pignatti S, Yang H, Yang G, Pascucci S, Castaldi F, et al. Sensitivity analysis of the Aquacrop and SAFYE crop models for the assessment of water limited winter wheat yield in regional scale applications. *PLoS ONE* 2017, 12(11): e0187485. Castaldi, F., F. Pelosi, S. Pascucci, R. Casa. Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture* 2017, 18 (1), 76-94.
4. Busetto L., Pascucci S., Pignatti, S.... et al., Downstream Services for Rice Crop Monitoring in Europe: From Regional to Local Scale. *IEEE JSTARS*, April 2017, 10 (12), pp. 5423-5441.
5. Castaldi, F., Palombo, A., Santini, F., Pascucci, S., Pignatti, S., Casa, R. Evaluation of the potential of the current and forthcoming multispectral and hyperspectral imagers to estimate soil texture and organic carbon (2016) *Remote Sensing of Environment*, 179, pp. 54-65. DOI: 10.1016/j.rse.2016.03.025
6. Castaldi, F., Palombo, A., Pascucci, S., Pignatti, S., Santini, F., Casa, R. Reducing the influence of soil moisture on the estimation of clay from hyperspectral data: A case study using simulated PRISMA data (2015) *Remote Sensing*, 7 (11), pp. 15561-15582. DOI: 10.3390/rs71115561.
7. Pascucci, S., Casa, R., Belviso, C., Palombo, A., Pignatti, S., Castaldi, F. Estimation of soil organic carbon from airborne hyperspectral thermal infrared data: A case study (2014) *European Journal of Soil Science*, 65 (6), pp. 865-875. DOI: 10.1111/ejss.12203
8. Castaldi, F., Casa, R., Castrignanò, A., Pascucci, S., Palombo, A., Pignatti, S. Estimation of soil properties at the field scale from satellite data: A comparison between spatial and non-spatial techniques (2014) *European Journal of Soil Science*, 65 (6), pp. 842-851. DOI: 10.1111/ejss.12202
9. Santini, F., Palombo, A., Dekker, R.J., Pignatti, S., Pascucci, S., Schwering, P.B.W. Advanced anomalous pixel correction algorithms for hyperspectral thermal infrared data: The TASI-600 case study (2014) *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7 (6), art. no. 6837439, pp. 2393-2404. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2324654
10. Casa, R., Castaldi, F., Pascucci, S., Basso, B., Pignatti, S. Geophysical and hyperspectral data fusion techniques for in-field estimation of soil properties (2013) *Vadose Zone Journal*, 12 (4), DOI: 10.2136/vzj2012.0201
11. Simoniello, T., Pascucci, S., Pignatti, S., Coluzzi, R., Palombo, A., Imbrenda, V., Santini, F., Acito, N., Battazza, F. New opportunities offered by the PRISMA hyperspectral mission: land degradation activities within the SAP4PRISMA project. 5th Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Land Use and Land Cover, "Frontiers in Earth Observation for Land System Science". A joint workshop of the EARSeL SIG LULC and the NASA LCLUC Science Team at Humboldt-Universität, Berlin, Germany, 17-18 March, 2014.
12. Pascucci S., C. Belviso, R. M. Cavalli, A. Palombo, S. Pignatti, F. Santini. Using imaging spectroscopy to map red mud dust waste: The Podgorica Aluminum Complex case study. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 123, pp. 139-154.
13. Pignatti, S., R.M. Cavalli, V. Cuomo, L. Fusilli, S. Pascucci, M. Poscolieri, F. Santini. Evaluation of Hyperion capability for land covers mapping in a fragmented ecosystem: Pollino National Park (Italy) case study. *Remote Sensing of Environment* 2009, 113 (3), pp.622-634
14. Pascucci S., C. Bassani, A. Palombo, M. Poscolieri, R.M. Cavalli. Road Asphalt Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway. *Sensors* 2008, 8, 1278-1296.
15. Bassani C., R.M. Cavalli, F. Cavalcante, V. Cuomo, A. Palombo, S. Pascucci, S. Pignatti. Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment* 2007, 109, pp. 361-378.

Il telerilevamento iperspettrale per applicazioni civili e scientifiche



GF-5 - AHSI in orbita dal 9 Maggio 2018;
VNIR/SWIR, 4.5-8.5nm, ~30m, ~60km
“still in commissioning”