



Il telerilevamento multi-spettrale:
principi base, correzione radiometrica e
interpretazione dei dati, metodi di
classificazione per applicazioni in ambito
agricolo
Parte I







Sommario





Introduzione

- Definizione telerilevamento
- Piattaforme e sensori
- Satellite / UAV

Concetti base

- Onda elettromagnetica
- Spettro elettromagnetico
- Firma spettrale

Acquisizione

- Immagine digitale
- Telerilevamento multispettrale
- Risoluzione spettrale/geometrica/radiometrica/temporale

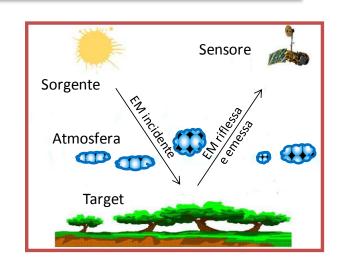


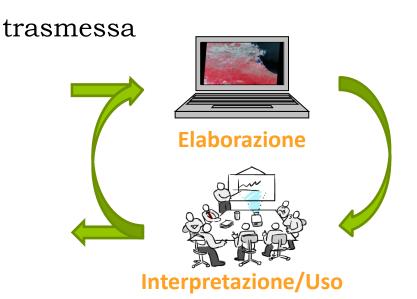


Introduzione



Il telerilevamento (Remote Sensing) è la disciplina che permette di ricavare informazioni su oggetti posti a distanza sulla base di misura di energia elettromagnetica emessa, riflessa o





Comprende tutto quell'insieme di tecniche, strumenti e metodi interpretativi per il rilievo a distanza delle caratteristiche chimiche e fisiche delle superfici





Storia





1840 – Prima piattaforma è la mongolfiera aerea con a bordo una macchina fotografica 1909 – Piccione, a cui venivano allacciate macchine fotografiche leggere (70 grammi) 1943 – I missili tedeschi V2

1957 – Come piattaforma la navicella spaziale Sputnik

1960 – I primi satelliti meteorologici per effettuare misure dei parametri atmosferici 1972 – Primo satellite per telerilevamento della terra, il Landsat 1980 – Nascita di diversi sensori specializzati: Coastal Zone Color Scanner (CZCS), Heat Capacity Mapping Mission (HCMM), e Advanced Very High Resolution Radiometers (AVHRR)

1999 – Lancio di Ikonos, il primo satellite commerciale ad alta risoluzione

• •

2014 – ESA Sentinel 1 A **2015** – ESA Sentinel 2







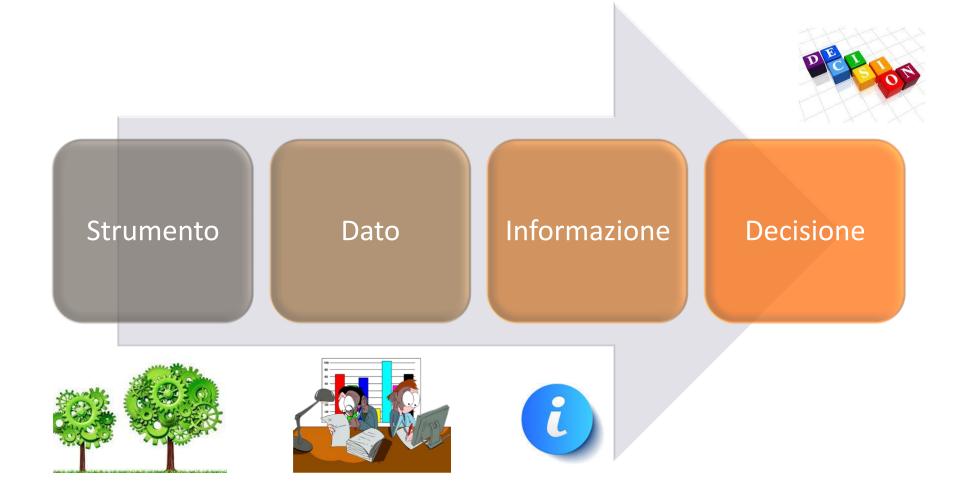








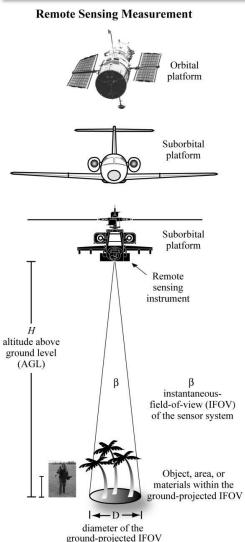






Space A. Agricol





Sensore: strumento per misurare la radiazione elettromagnetica riflessa, emessa o trasmessa dalla superficie osservata



You crazy?

Happy Wet Thursday!







Satellite & UAV





- La scelta dello strumento dipende dal tipo di applicazione/decisione e
 dal tipo di informazioni che si vogliono estrarre
- o I **principi di base del telerilevamento** si applicano sia ai dati acquisiti da satellite che UAV (piattaforma e distanza dall'oggetto osservato)
- Sensori satellitari alta risoluzione (0.5 m) UAV
- UAV nella classe "low altitude platforms" (i.e. amtosfera)
- o Micro sensori montati su UAV non hanno (ancora) lo sviluppo tecnologico dei sensori montati su satellite

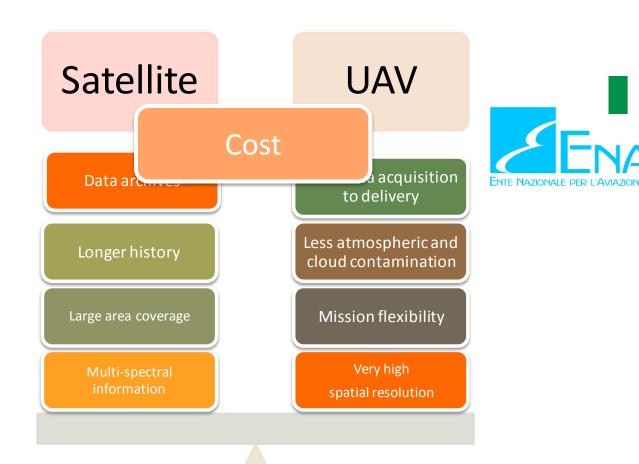




Satellite vs. UAV







Competizione su COSTI e RISOLUZIONE



UAV in Agriculture

Platform	Cost	Time	Spatial resolution	Spectral	Cloud	Coverage	On demand services
Satellite	high	low	2-30 m	4 or more bands	high	Square kilometers	No
UAV	low	low	3 -20 cm	4 bands	low	Up to 10 Km²	Yes
Field	low	high	Depending on the step	Hyperspectral ability	low	few hectares	Yes

Summer school of hydrology – Applied Course on UAVs for Environmental Monitoring, Matera, Italy, July 27-31, 2015



Non solo belle immagini





GeoEye-1, Roma



The GeoEye-1 satellite collects images at nadir with 0,41-meter panchromatic and 1,65-meter multispectral (blue, green, red and near infra-red) resolution.

WorldView-2, Dubai

WorldView-2 is the first commercially available 8-band multispectral satellite. WorldView-2 collects images at 50 cm panchromatic and 2 m 8 band multispectral.



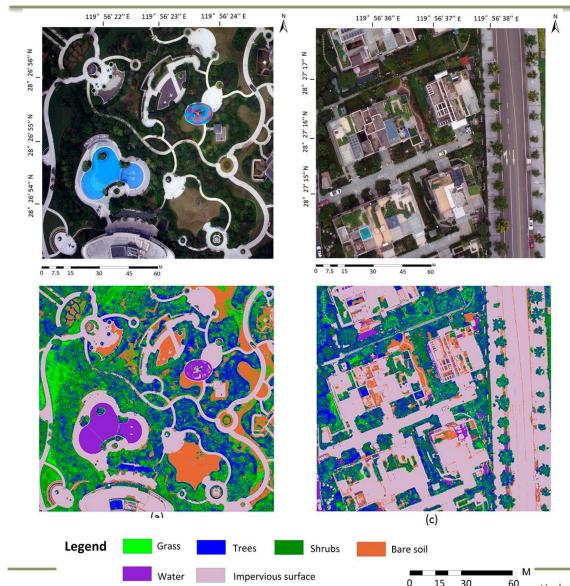




ma ... informazioni







Urban Vegetation Mapping (highly-vegetated recreational park and a complex residential area.

Feng, Q.; Liu, J.; Gong, J. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 1074-1094.

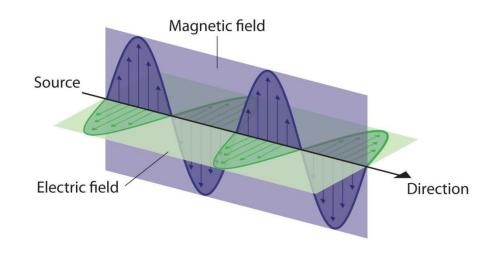




Telerilevamento: concetti base

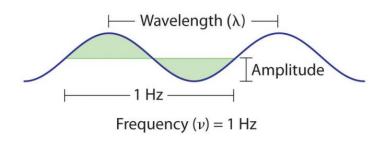
Energia elettromagnetica:

onda che si propaga nello spazio, composta da due campi di forza ortogonali tra loro: il campo elettrico E e il campo magnetico M



Proprietà dell'onda:

- \bigcirc Lunghezza d'onda λ [nm]
- \circ Frequenza \vee [Hz]
- O Ampiezza A [W m-2]



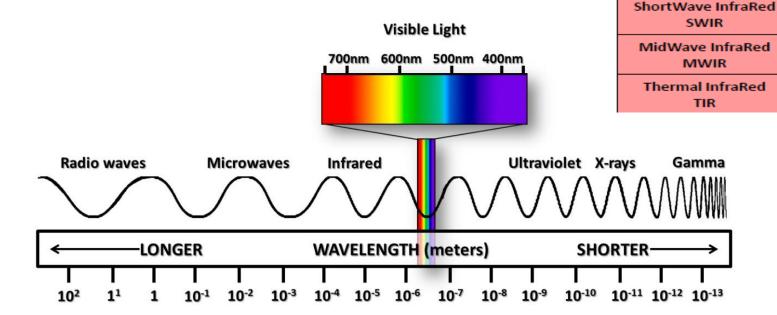


Telerilevamento: concetti baş

Spettro Elettromagnetico

 Distribuzione continua dell'energia elettromagnetica in funzione delle lunghezze d'onda

Regioni spettrali



0.75 - 0.9

0.9 - 1.3

1.5 - 2.5

3.5 - 5.2

7.0 - 201

Near InfraRed

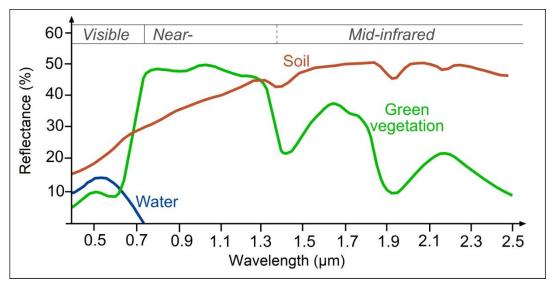
NIR



Telerilevamento: concetti base

Firma spettrale

- Interazione tra una superficie e la radiazione elettromagnetica
- La firma spettrale dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche del materiale/superficie osservata



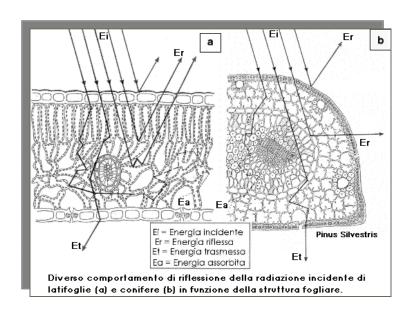
www.seos-project.eu

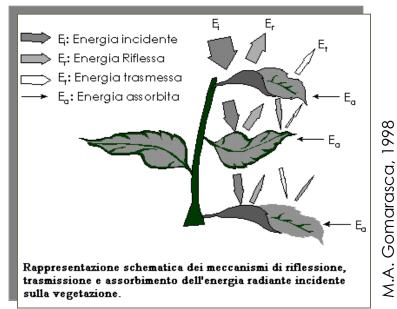




Il comportamento spettrale della vegetazione dipende principalmente da due fattori:

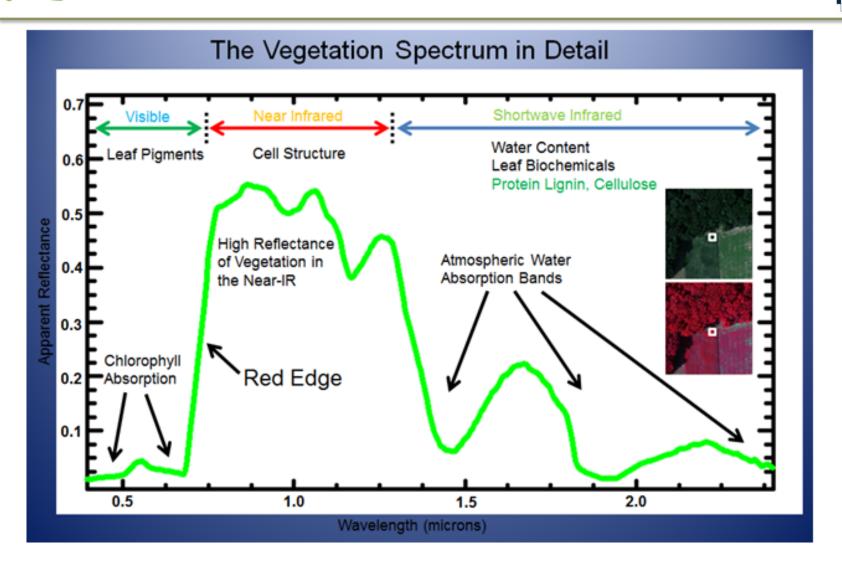
- le <u>caratteristiche chimico/fisiche delle foglie</u> e delle altre componenti della pianta
- o <u>l'aggregazione dei singoli elementi</u> (foglie, rami) e la struttura complessiva della pianta (*canop*y)





- I pigmenti fogliari <u>assorbono</u> nelle lunghezze d'onda del blu e del rosso e <u>riflettono</u> in quelle del verde ed è proprio per questo che i nostri occhi identificano la vegetazione di questo colore
- La struttura della vegetazione comporta invece che questa <u>rifletta</u> altamente nell'infrarosso vicino determinando un tipico *plateau* nella firma
- Il contenuto d'acqua influenza la risposta spettrale per lunghezze d'onda maggiori















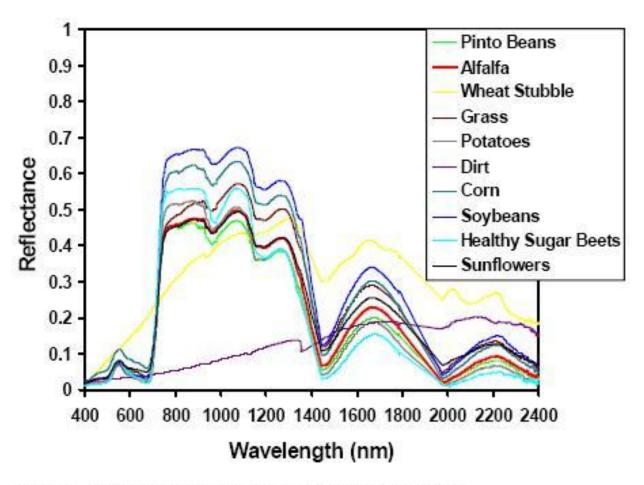
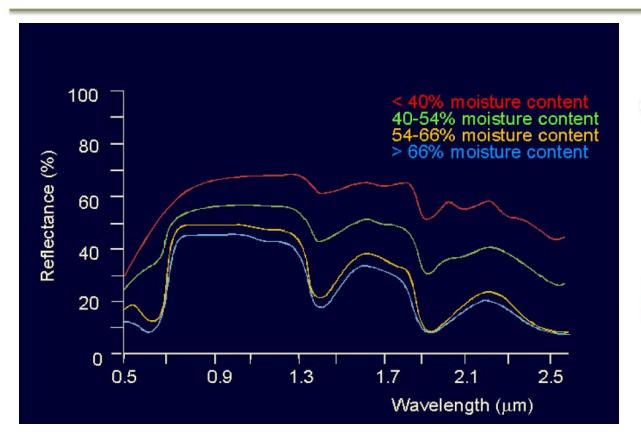
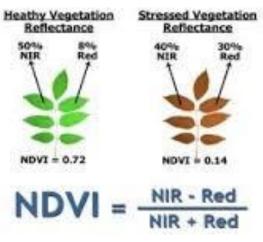


Figure 2. Spectral signatures of crops and soil (Kyllo, 2003).





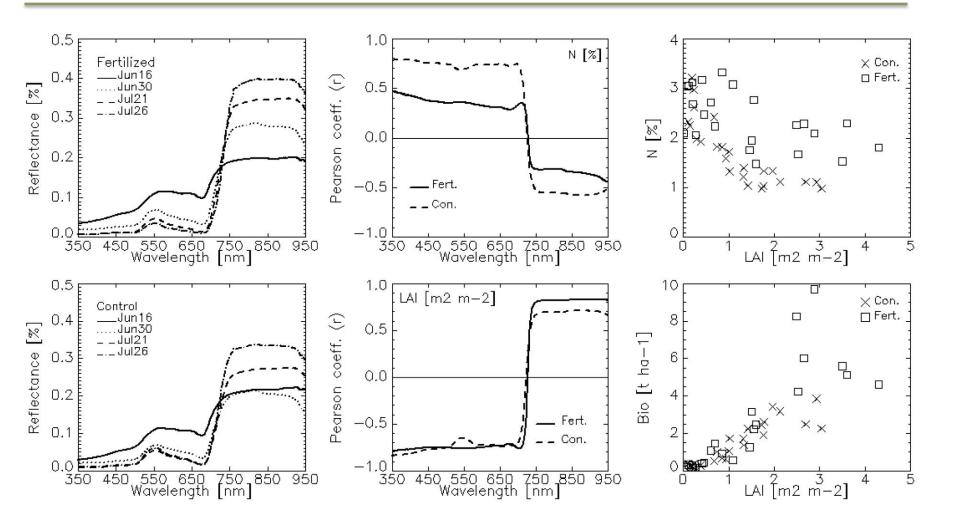




In stress idrico si ha un aumento della riflettanza soprattutto nelle bande di assorbimento dell'acqua











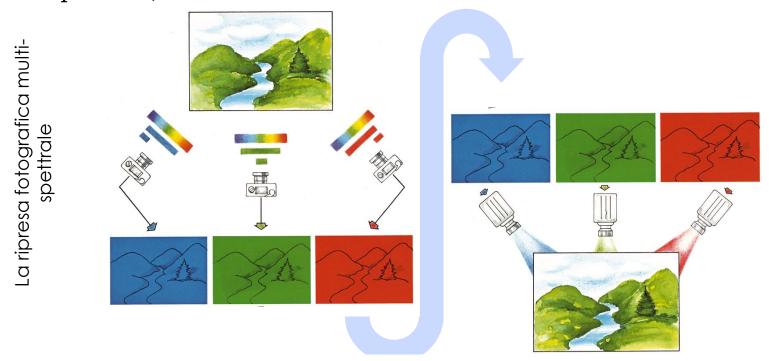
Immagini telerilevate





Le osservazioni possono essere relative a:

- •una sola banda spettrale (come B&W)
- •molte riprese simultanee e distinte che vanno a comporre un insieme multispettrale,



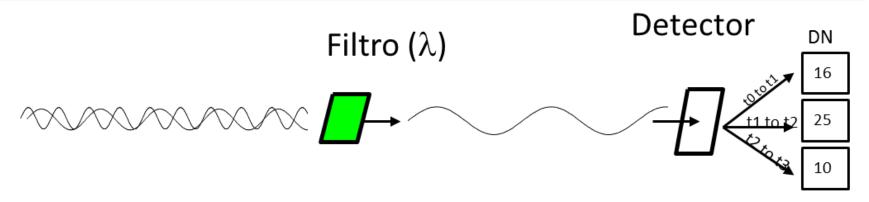
Una normale fotografia a colori contiene, in verità, <u>tre informazioni separate</u> e distinte della stessa scena nelle componenti spettrali rispettivamente nel blu, verde e rosso.

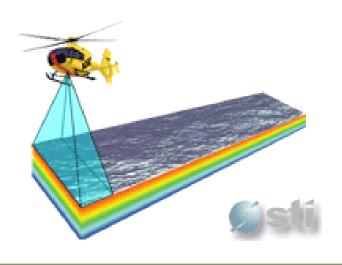


Immagini telerilevate









- 1. Energia elettromagnetica raggiunge il sensore (fotoni)
- 2. Un subset del fascio di lunghezze d'onda passa il filtro e raggiunge il detector
- 3. La radiazione che arriva al detector genera un segnale elettrico. Questo segnale viene campionato per un certo intervallo di tempo (dt) e poi quantizzato e registrato come numero digitale (DN)





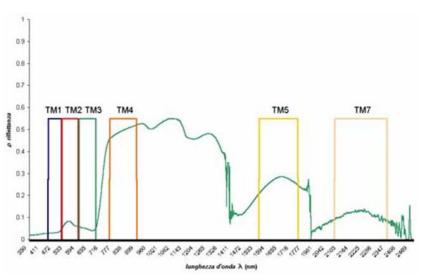
Sensori multi-spettrali



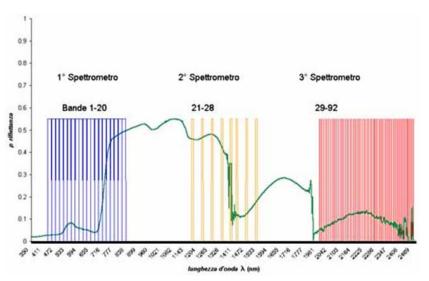


o I sensori multi-spettrali misurano la radiazione riflessa dalle superfici in porzioni diverse dello spettro elettromagnetico / lunghezze d'onda (bande spettrali)

Sensori Multispettrali



Sensori Iperspettrali



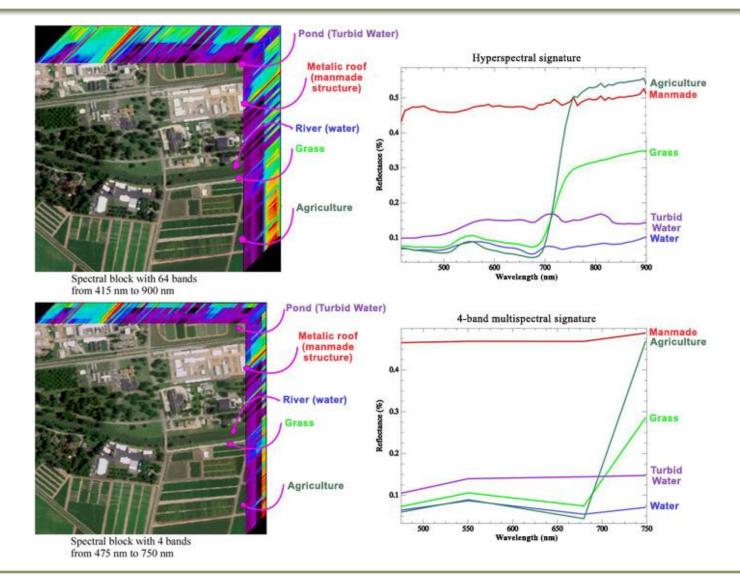




Sensori multi-spettrali





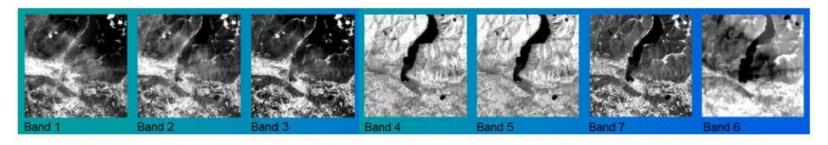






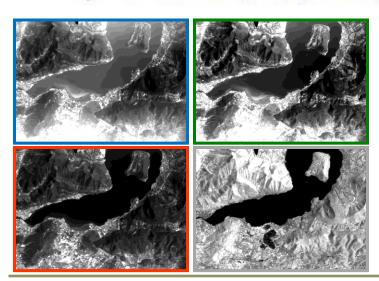






+-Visible [0.45-0.69]-+--NIR--+----SWIR----+THERM+ Landsat Thematic Mapper (TM):

7 spectral bands [3 VIS, 1 NIR, 2 SWIR, 1 Thermal) 30 m spatial res.











Indici di vegetazione





Metodi di trasformazione/combinazione spettrale allo scopo di:

- Sintetizzare in una sola «dimensione» informazioni provenienti da diverse porzioni dello spettro elettromagnetico (spazio multi dimensionale)
- Enfatizzare le differenze tra le superfici
- Generare indicatore sensibile ad una specifica proprietà
- Ridurre effetto atmosferico (satellite)





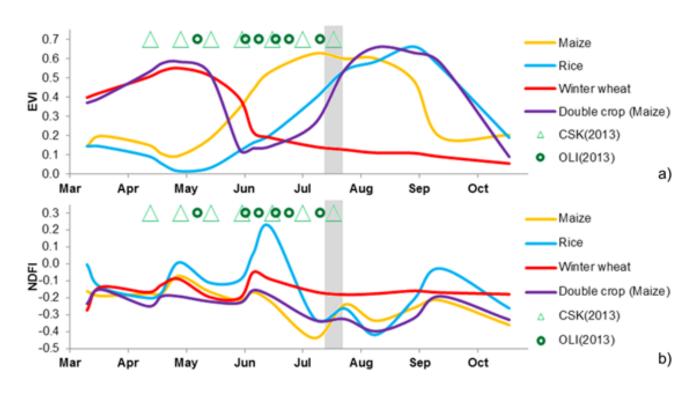
Indici di vegetazione





$$EVI = 2 \frac{\rho_{NIR(b5OLI)} - \rho_{RED(b4OLI)}}{\rho_{NIR(b5OLI)} + 6\rho_{RED(b4OLI)} - 7.5\rho_{BLUE(b2OLI)} + 1}$$

$$NDFI = \frac{\rho_{RED(b4OLI)} - \rho_{SWIR(b7OLI)}}{\rho_{RED(b4OLI)} + \rho_{SWIR(b7OLI)}}$$





	Vegetation index	Equation			
П		Structural mulecs			
	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = (R_{NIR} - R_{red})/(R_{NIR} + R_{red})$			
	Modified Triangular Vegetation Index (MTVI1)	MTVI1 = $1.2 \times [1.2 \times (R_{800} - R_{550}) - 2.5 \times (R_{670} - R_{550})]$			
	Modified Triangular Vegetation Index (MTVI2)	$MTV12 = \frac{1.5 \times [1.2 \times (R_{500} - R_{550}) - 2.5 \times (R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \times R_{500} + 1)^2 - (6 \times R_{500} - 5 \times \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$			
	Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = (R_{800} - R_{670}) / \sqrt{(R_{800} + R_{670})}$			
	Simple Ratio Index (SR)	$SR = R_{NIR}/R_{red}$			
	Modified Simple Ratio (MSR)	$MSR = \frac{R_{NIR}/R_{red} - 1}{(R_{NIR}/R_{red})^{0.5} + 1}$			
	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₁)	$MCARI1 = 1.2 \times [2.5 \times (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \times (R_{800} - R_{550})]$			
	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₂)	$MCARI2 = \frac{1.5 \times [2.5 \times (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \times (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \times R_{800} + 1)^2 - (6 \times R_{800} - 5 \times \sqrt{R_{680}}) - 0.5}}$			
	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	SAVI = $(1 + L) \times (R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670} + L) [L \epsilon (0,1)]$			
	Improved SAVI with self-adjustment factor L (MSAVI)	$MSAVI = \frac{1}{2}[2 \times R_{800} + 1 -$			
	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$ \begin{array}{l} \sqrt{(2\times R_{800}+1)^2-8\times (R_{800}-R_{670})]} \\ OSAVI = (1+0.16)\times (R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16) \end{array} $			
Г		Cinorophyii indices			
	Greenness Index (G) Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)	$\begin{array}{l} G = R_{55}/R_{677} \\ MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550})] \times (R_{700}/R_{670}) \end{array}$			
	Transformed CARI (TCARI) Triangular Vegetation Index (TVI) Zarco-Tejada & Miller	$\begin{array}{l} TCARI = 3 \times [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550}) \times (R_{700}/R_{670})] \\ TVI = 0.5 \times [120 \times (R_{750} - R_{550}) - 200 \times (R_{670} - R_{550})] \\ ZTM = R_{750}/R_{710} \end{array}$			
H	zareo rejada er miner	Water indices			
	Normalized Difference Water Index	NDWI = $(R_{860} - R_{1240})/(R_{860} + R_{1240})$			
	(NDWI) Simple Ratio Water Index (SRWI) Plant Water Index (PWI)	$SRWI = R_{858}/R_{1240}$ $PWI = R_{970}/R_{900}$			
Г		Red edge spectral parameters			
	$\lambda_{ m p}$	$\lambda_{ m pr} = \lambda_{ m max(680-750)}; \overline{\lambda_{ m p1g} = \lambda_{ m max(500-600)}; \lambda_{ m p2g} = \lambda_{ m min(500-600)}}$			
	$\stackrel{\scriptstyle R_0}{R_s}$	$egin{align*} R_{ m o} &= R_{ m min(650-700)} \ R_{ m s} &= R_{ m max(700-770)} \ \end{array}$			
	σ	N _s - N _{max(90-790)} σ = shape parameter as defined by the inverted-Gaussian curve-fit model			
Г		Other indices mentioned but not used in this study			
	Simple Ratio Pigment Index (SRPI) Normalized Phaeophytinization Index (NPOI)	$\begin{array}{l} SRPI = R_{430}/R_{680} \\ NPQI = (R_{415} - R_{435})/(R_{415} + R_{435}) \end{array}$			
	Photochemical Reflectance Index (PRI) Normalized Pigment Chlorophyll Index (NPCI)	$\begin{array}{l} PRI_{1} = (R_{528} - R_{567})/(R_{528} + R_{567}) PRI_{2} = (R_{531} - R_{570})/(R_{531} + R_{570}) \\ NPCI = (R_{680} - R_{430})/(R_{680} + R_{430}) \end{array}$			
	Carter indices Lichtenthaler indices	$\begin{array}{lll} Ctr1 &=& R_{695}/R_{420} \ Ctr2 &=& R_{695}/R_{760} \\ Lic1 &=& (R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680}); \ Lic2 &=& R_{440}/R_{690}; \ Lic3 &=& \end{array}$			
		$\mathbf{R}_{440}/\mathbf{R}_{740}$; Lic4 = $\int_{0}^{680} \mathbf{R}$			
	Structure Intensive Pigment Index (SIPI) Vogelmann indices	$\begin{array}{l} SIPI = (R_{500} - R_{450})/(R_{500} + R_{650}) \\ Vog1 = R_{740}/R_{750}, Vog2 = (R_{734} - R_{747})/(R_{715} + R_{726}); Vog3 = \end{array}$			
	Gitelson and Merzlyak	$(R_{734} - R_{747})/(R_{715} + R_{720}) \text{ ; } Vog4 = D_{715}/D_{705}$ $G_M1 = R_{789}/R_{520}$ $G_M2 = R_{789}/R_{520}$			
	Curvature Index (Fluorescence) Double-Peak Ratio indices	$\begin{array}{l} G_M2 = R_{750}/R_{700} \\ CUR = (R_{675}^{-7}R_{690})/(R_{683}^{-2}) \\ DPR1 = D_{\lambda p(680-750)}/D_{\lambda h+1}; \ DPR2 = D_{\lambda p(680-750)}/D_{\lambda 0+22}; \ DP21 = \\ D_{\lambda p(680-750)}/D_{703}; \ DP22 = D_{\lambda p(680-750)}/D_{720} \end{array}$			
	Area Red Edge Peak (ADR)	$\mathbf{ADR} = \int_{0}^{760} \mathbf{D}$			



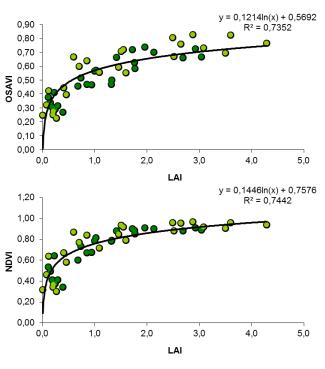


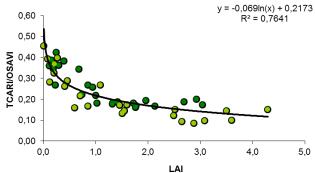


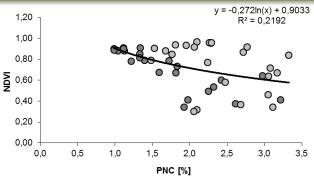
Indici di vegetazione

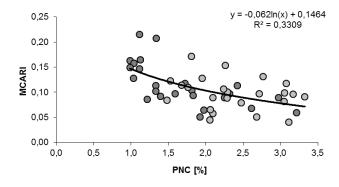


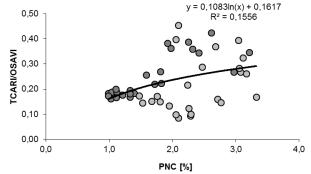




























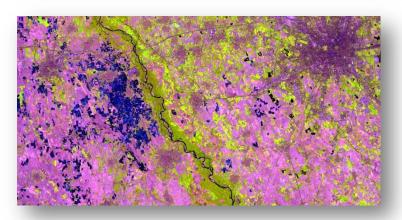
Sensori multi-spettrali



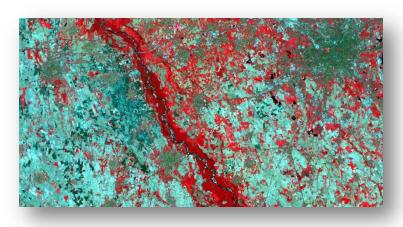




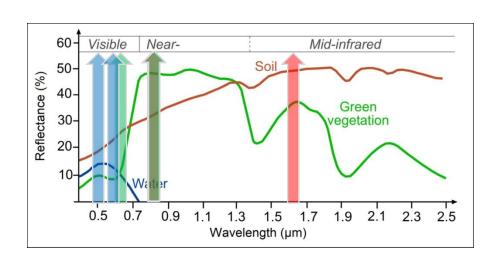
RED-GREEN-BLUE



SWIR-NIR-RED



NIR-RED-GREEN

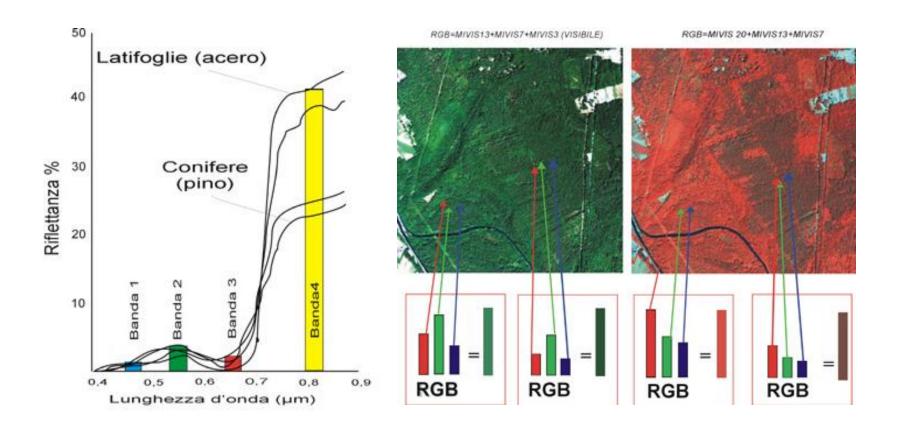
















World-View 2 14/07/2014 Rosasco (PV)

Rice field

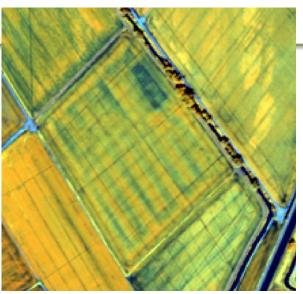


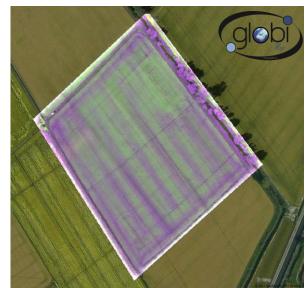




NIR-RED-GREEN

RED-GREEN-BLUE







Spice Telerilevamento: concetti base Conspiration del Recention del Rece

- Risoluzione spettrale è l'ampiezza / larghezza ed il numero delle bande spettrali in cui l'immagine è registrata;
- Risoluzione geometrica ovvero a quale dimensione corrisponde un pixel nell'immagine telerilevata, unità minima areale su cui viene misurata la radiazione elettromagnetica;
- Risoluzione radiometrica il numero di diverse intensità della radiazione che il sensore è in grado di distinguere;
- o **Risoluzione temporale** il tempo che un satellite o un aereo impiega per sorvolare nuovamente un determinato punto.





Risoluzione geometrica

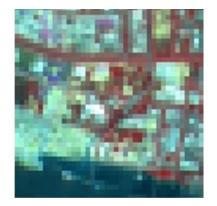


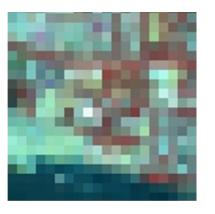


Unità minima areale su cui viene misurata la radiazione elettromagnetica (pixel)







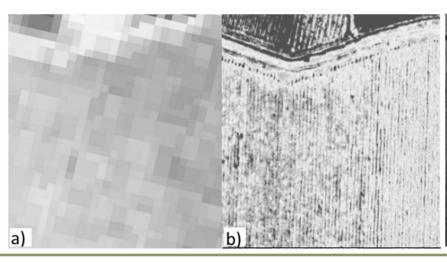


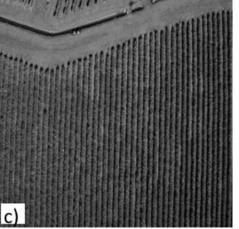
10 m

20 m

40 m

80 m





Remote Sens. 2015, 7(3), 2971-2990; doi:10.3390/rs70302971 Article Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture Alessandro Matese

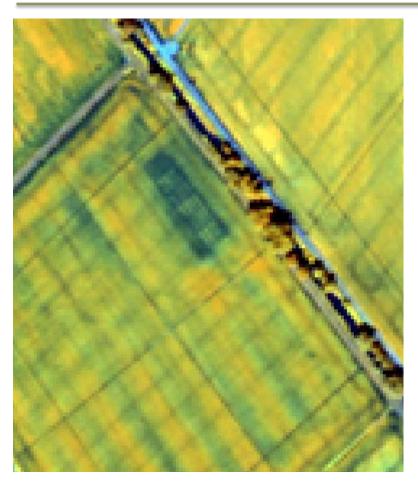




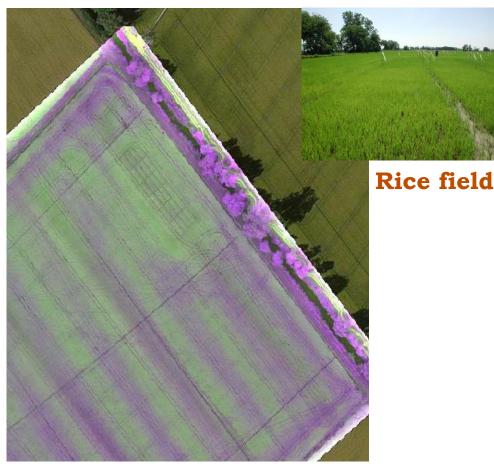
Risoluzione geometrica







World-View 2, 14/07/2014 2 metri



UAV, Globi srl, TetraCAM, 24/09/2014 50 cm





Risoluzione radiometrica





Numero di livelli in cui viene discretizzato il segnale misurato

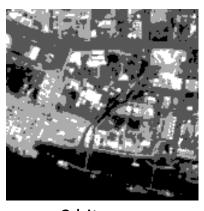
8 bit \rightarrow 2⁸=256 12 bit \rightarrow 2¹²=4096 14 bit \rightarrow 2¹⁴=16384



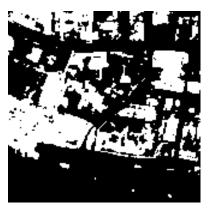
8 bit (256 livelli)



3 bit (8 livelli)



2 bit (4 livelli)



1 bit (2 livelli)



Risoluzione temporale



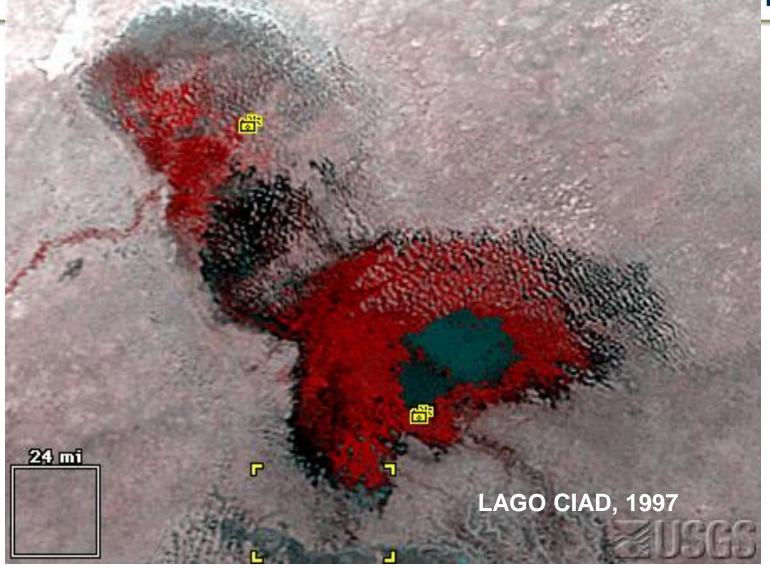
- Intervallo di tempo tra due acquisizioni successive sulla stessa area con la stessa configurazione geometrica
- Concetto legato principalmente ai sensori satellitari con orbita fissa

OSSERVAZIONE MULTI-TEMPORALE

- Osservare fenomeno dinamico su un orizzonte temporale (deforestazione, sviluppo delle colture)
- Osservare i cambiamenti di stato della superficie
- Ottimizzazione identificazione diverse superfici in base alle loro caratteristiche dinamiche



Osservazione multi-temporale

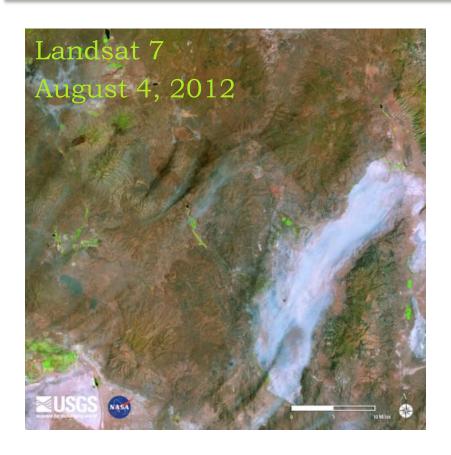


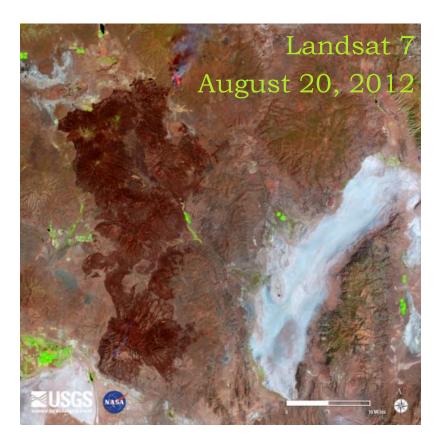




Osservazione multi-temporale







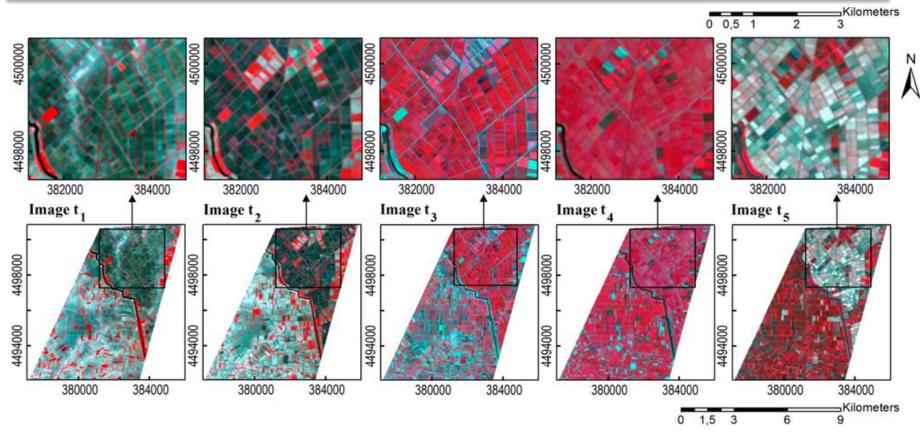
Started by lightning on the evening of August 12, the Rush Fire, in the Northern California District, has burned more than 317,000 acres. It is now burning in both California and Nevada. The Landsat 7 images above show the growth of the fire as of August 20.





Osservazione multi-temporale





Four Landsat ETM+ images (t₁, t₂, t₄, t₅) (R: NIR, G:Red, B:Green) Rapideye image (t₃) in false-color composite (R: NIR, G:Red, B:Green)

Siachalou et al. (2015) (A Hidden Markov Models Approach for Crop Classification: Linking Crop Phenology to Time Series of Multi-Sensor Remote Sensing Data. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 3633-3650)



Concetti





- Telerilevamento (remote sensing)
- Immagine digitale
- Immagine multispettrale
- Risoluzione spettrale/geometrica/radiometrica/temporale

Introduzione

- Definizione telerilevamento
- Piattaforme e sensori
- Satellite / UAV

Concetti base

- Onda elettromagnetica
- Spettro elettromagnetico
- Firma spettrale

Acquisizione

- Immagine digitale
- Telerilevamento multispettrale
- Risoluzione spettrale/geometrica/radiometrica/temporale

