

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

## **Parte II**

## Introduzione

- Immagine digitale
- Immagini multi-spettrali

## Pre-processing

- Correzione/Elaborazione geometrica
- Calibrazione radiometrica
- Image enhancing
- Indici di vegetazione

## Interpretazione

- Fotointerpretazione
- Classificazione automatica
- validazione

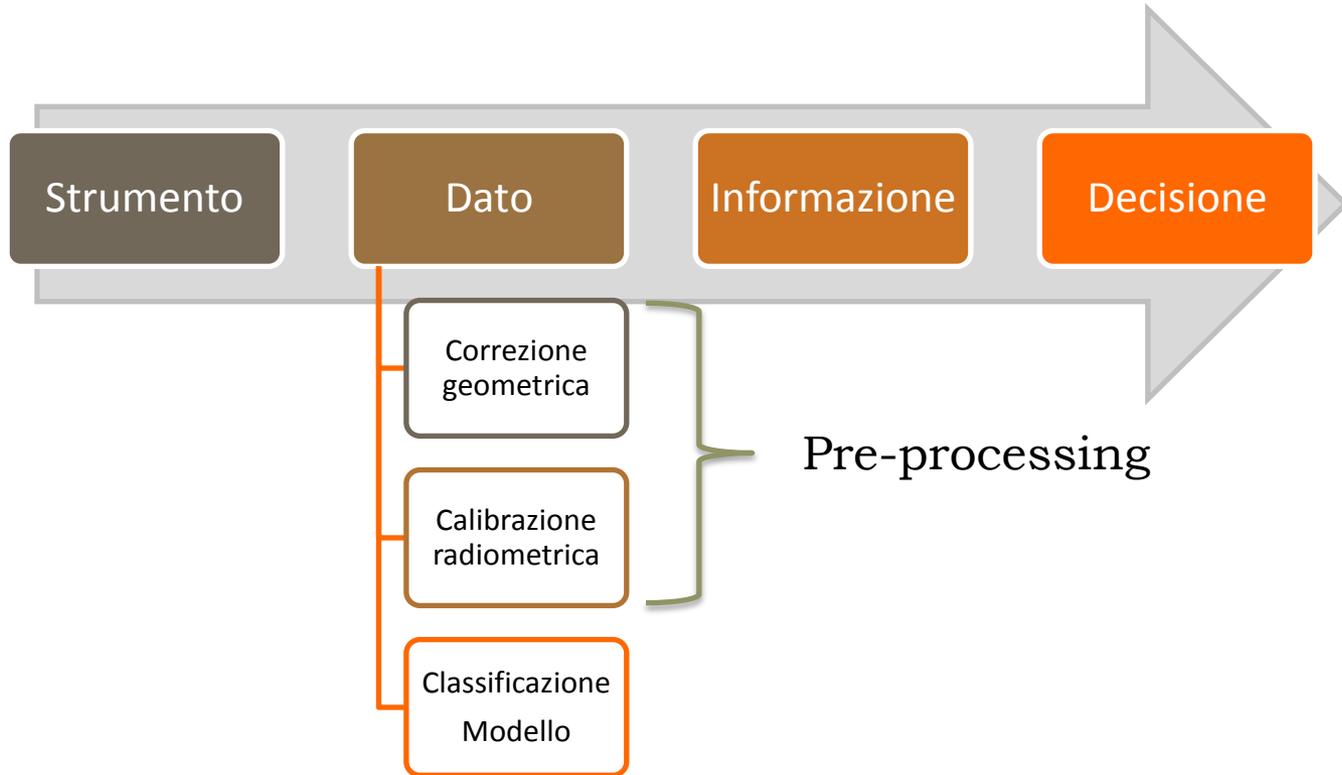


Immagine digitale in due dimensioni dove ad ogni pixel è associato un digital number – radianza media misurata su una piccola area normalizzato ad un valore dipendente dal numero di bit utilizzati per rappresentarlo.

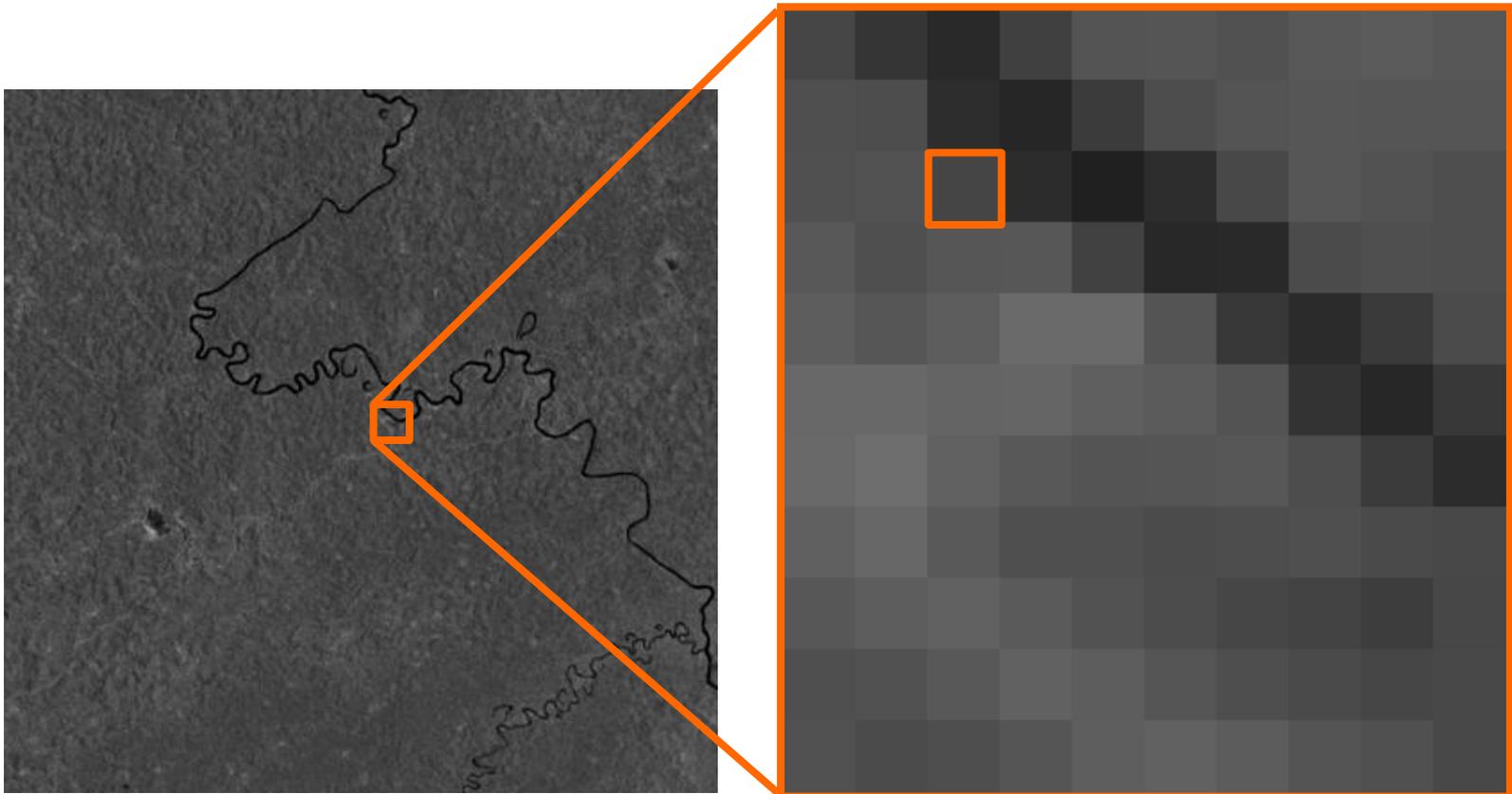
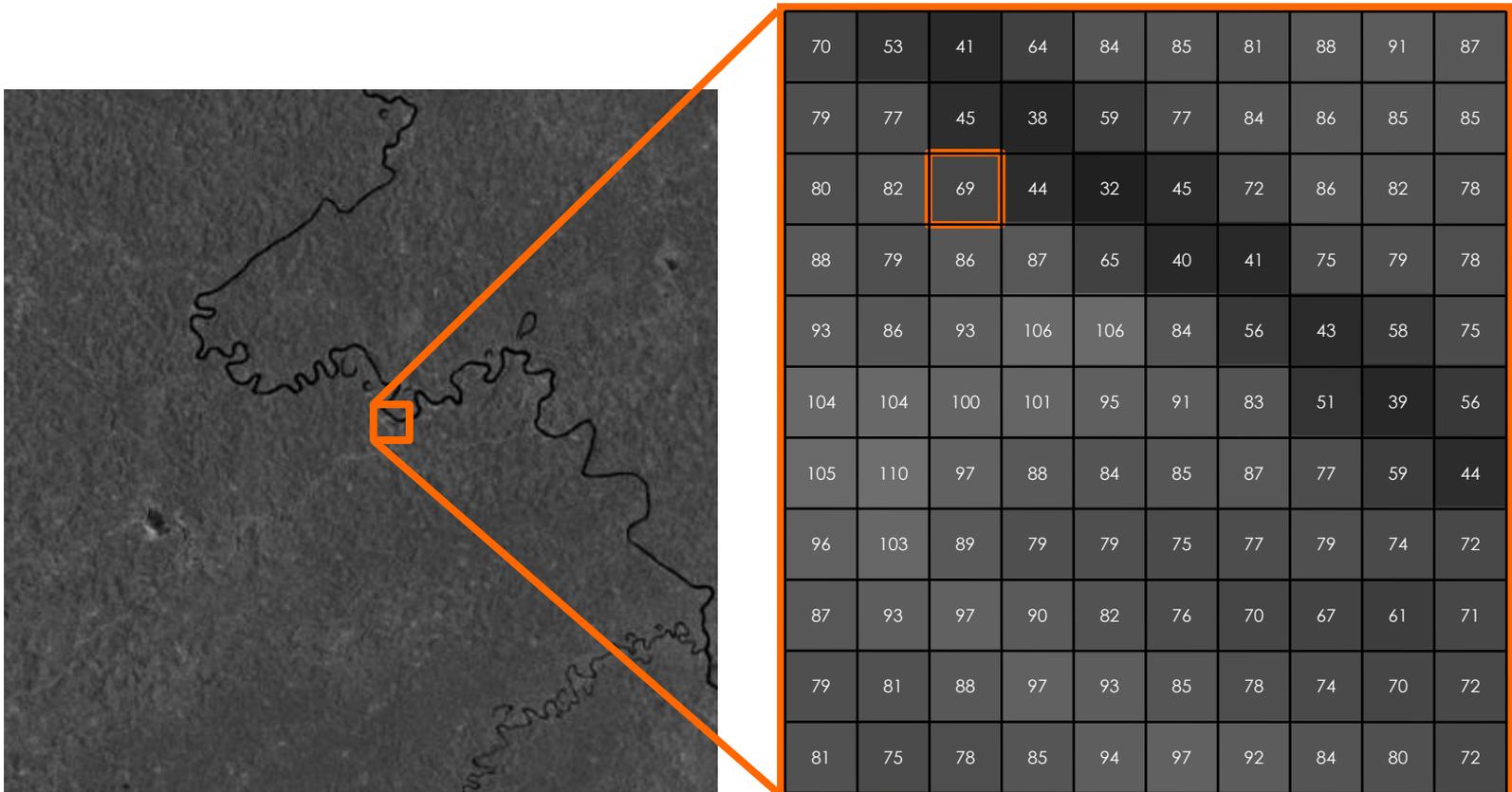
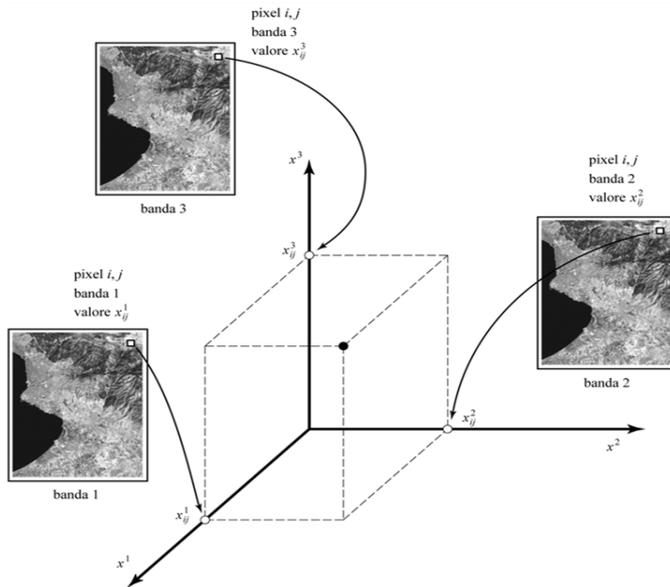


Immagine digitale in due dimensioni dove ad ogni pixel è associato un digital number – radianza media misurata su una piccola area normalizzato ad un valore dipendente dal numero di bit utilizzati per rappresentarlo.

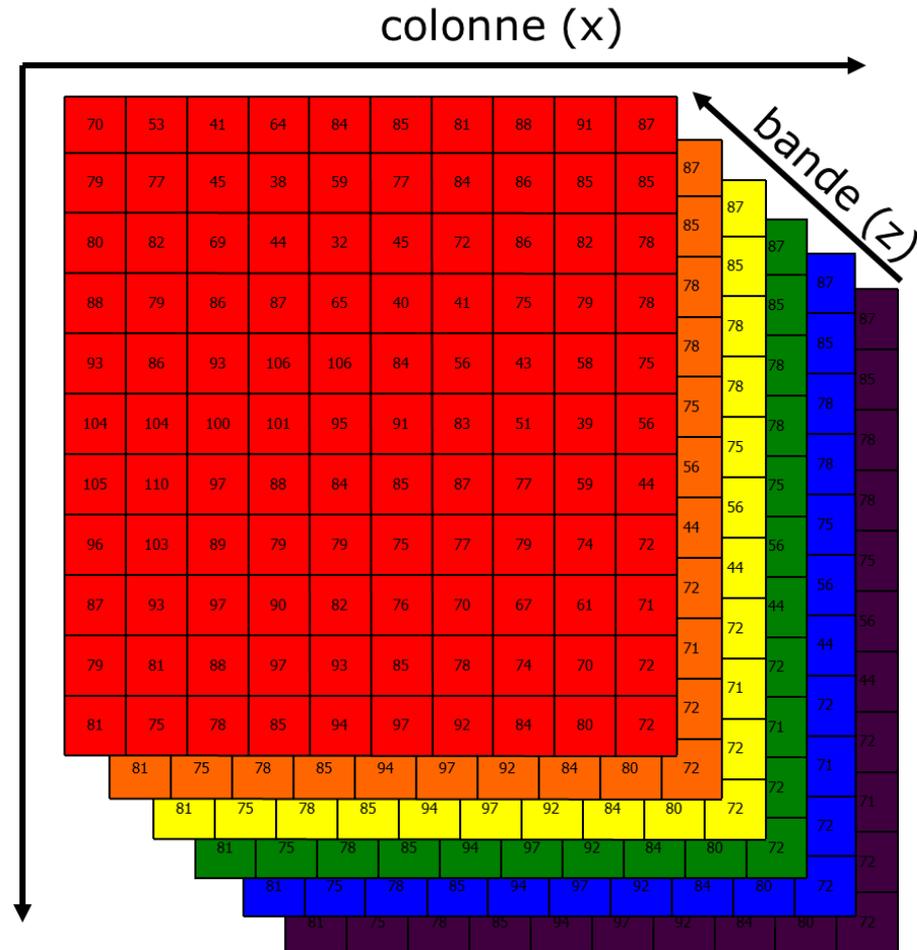


Nelle immagini multi-  
spettrali ogni pixel è  
caratterizzato da tanti DN  
quante bande spettrali  
(vettore di numeri)

$$x = [x^1, x^2, \dots, x^N]$$



Righe (y)



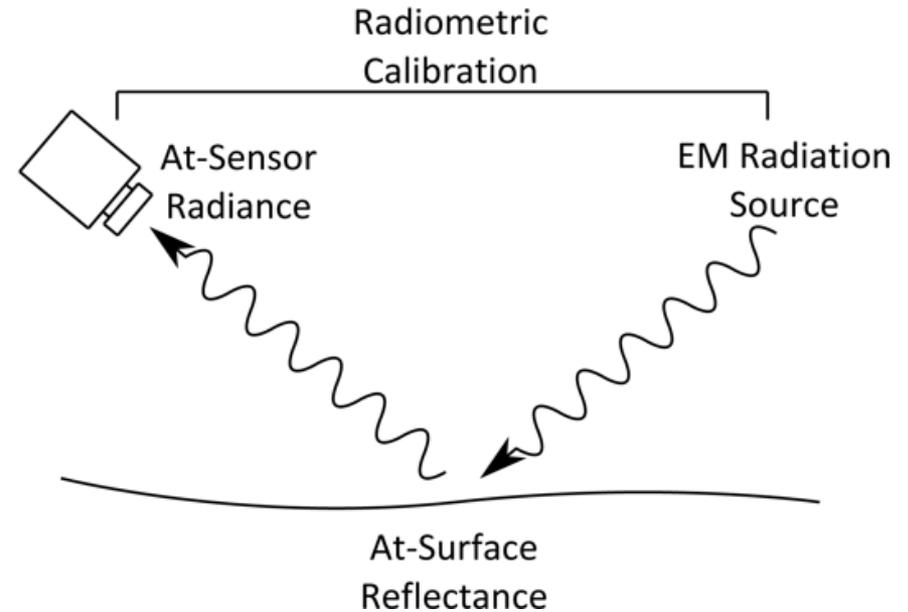
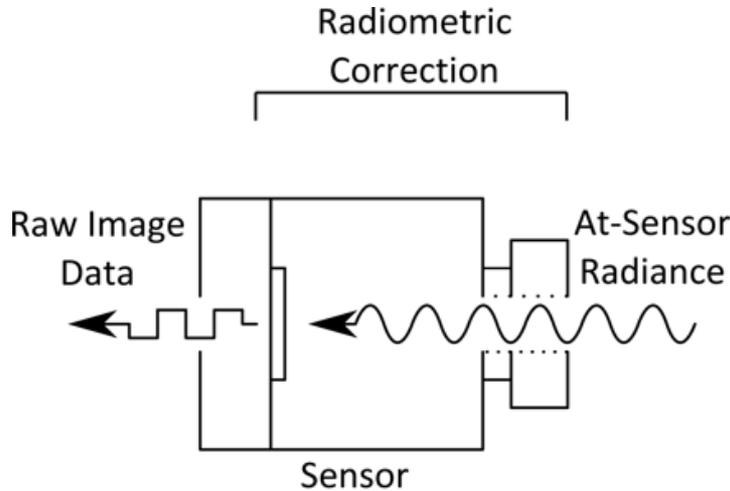
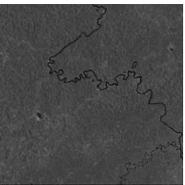
1. Eliminazione delle deformazioni spaziali
2. Co-registrazione bande multi-spettrali
3. Associazione dei pixel di un'immagine a coordinate cartografiche in un dato sistema di riferimento- georeferenziazione
4. Orto-mosaico (rappresentazione geometricamente corretta su un piano)



## Metodi di georeferenziazione

Identificano relazioni matematiche tra le coordinate dei pixel nell'immagine e le coordinate dei corrispondenti punti sulla superficie (Ground Control Point; GCP)





1. Radiometric/Sensor correction (reduction of sensor based data modification)
2. Radiometric calibration (surface reflectance from at sensor measurement)

**Accurate quantitative information (reflectance)**

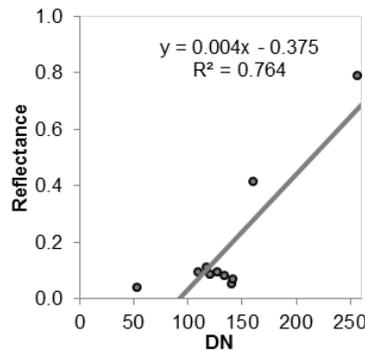
Conversione a riflettanza nella bande del sensore

**EMPIRICAL LINE** (regressione tra DN e firme spettrali  
acquisite in situ per target di riferimento)

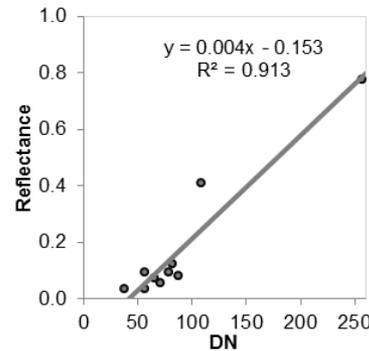


FieldSpec FR Pro, Analytical Spectral Device (ASD) (1nm, 4nm, 350-2500 nm)

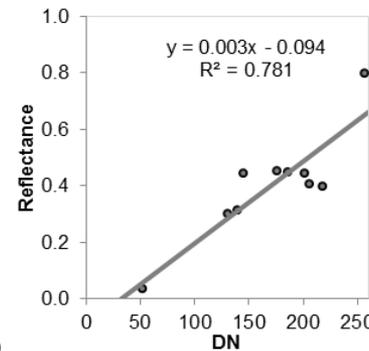
1. Spectral resampling
2. Regressione nelle bande della camera multi-spettrale



a)

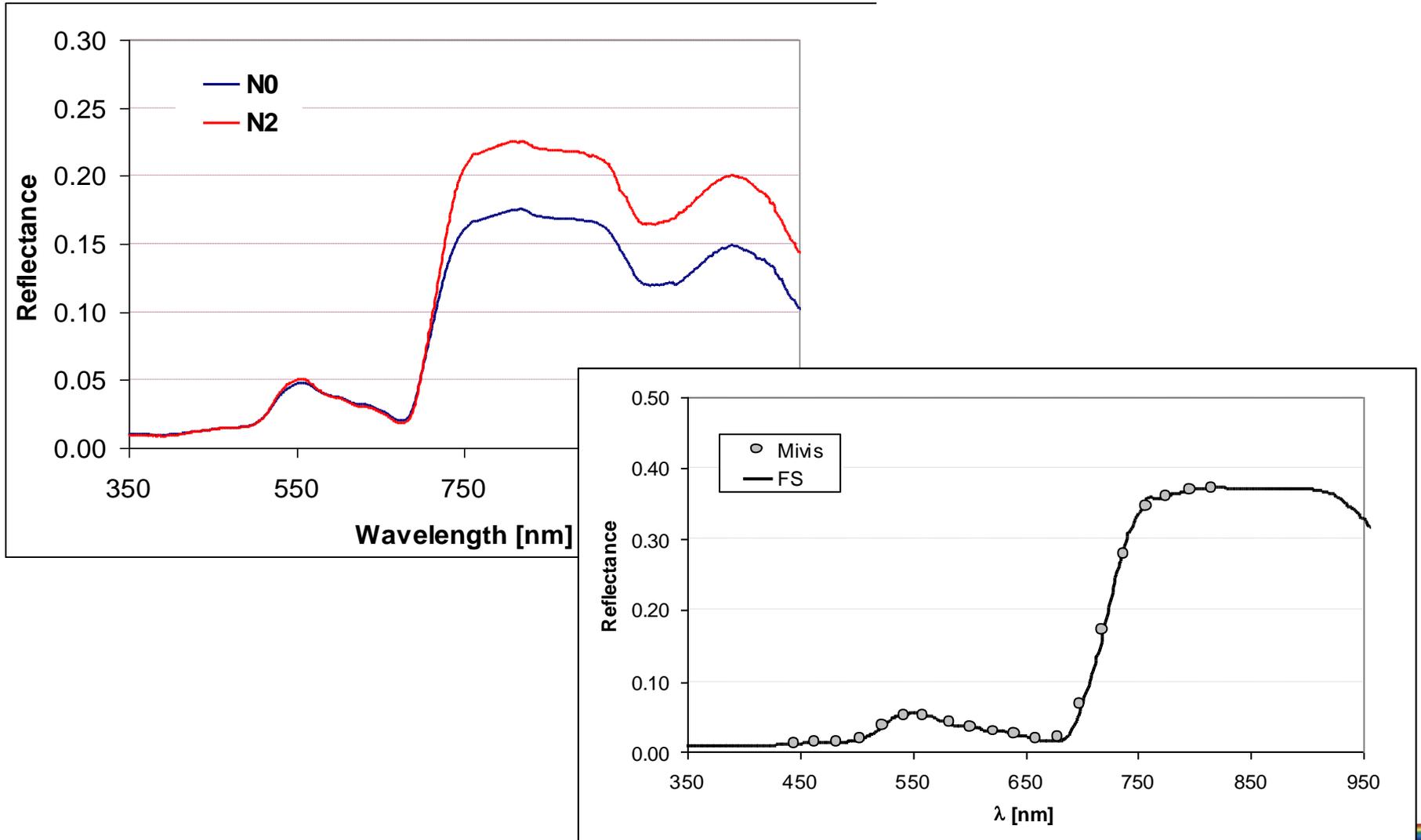


b)

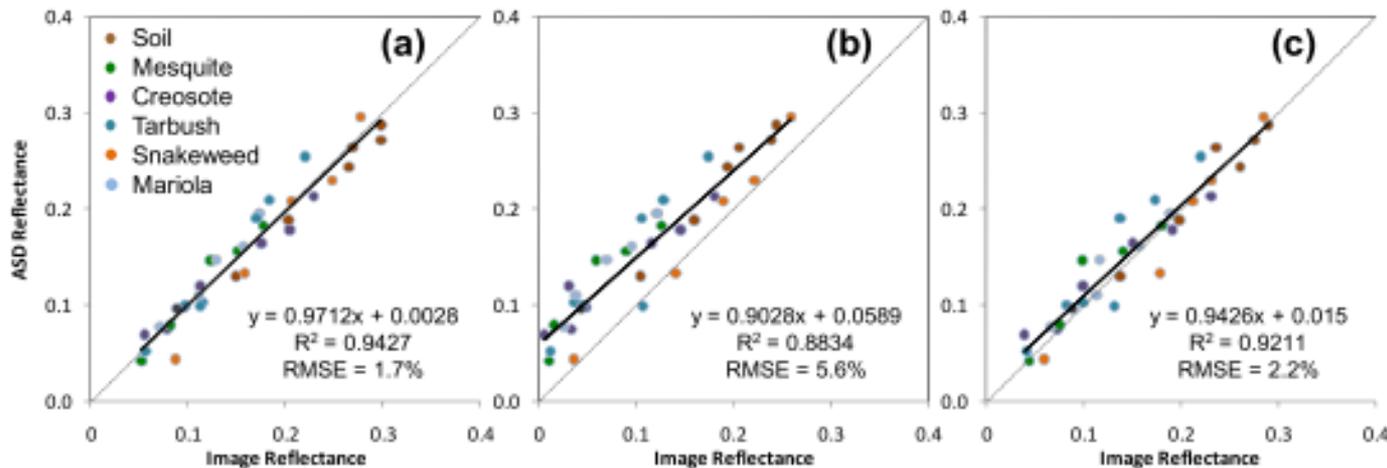


c)

***Radiometric calibration using in situ collected reflectance spectra resampled to match sensor spectral bands: a) Green channel, b) Red channel, c) NIR channel.***



## VALIDAZIONE



Laliberte, A.S.; Goforth, M.A.; Steele, C.M.; Rango, A. Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments. *Remote Sens.* **2011**, *3*, 2529-2551.

- Correzione radiometrica
- Calibrazione radiometrica necessaria per estrarre informazioni dal dato
- Estrarre informazioni di tipo quantitativo (parametri biofisici della vegetazione)
- Dati in situ (firme spettrali acquisiti su target di riferimento)
- Validazione

- Miglioramento spettrale delle immagini per evidenziare/aumentare contrasto, tessitura, forma, colore ed aiutare nell'identificazione/interpretazione
- Operazioni sull'istogramma
- Indirizzate alla foto-intepretazione delle immagini

## Vegetation index

## Equation

### Structural indices

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)	$MTVI2 = \frac{1.5 \times [1.2 \times (R_{800} - R_{550}) - 2.5 \times (R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \times R_{800} + 1)^2 - (6 \times R_{800} - 5 \times \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$
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 <sub>1</sub> )	$MCARI1 = 1.2 \times [2.5 \times (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \times (R_{800} - R_{550})]$
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI <sub>2</sub> )	$MCARI2 = \frac{1.5 \times [2.5 \times (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \times (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \times R_{800} + 1)^2 - (6 \times R_{800} - 5 \times \sqrt{R_{680}}) - 0.5}}$
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = (1 + L) \times (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L) [L \in (0,1)]$
Improved SAVI with self-adjustment factor <i>L</i> (MSAVI)	$MSAVI = \frac{1}{2} [2 \times R_{800} + 1 - \sqrt{(2 \times R_{800} + 1)^2 - 8 \times (R_{800} - R_{670})}]$
Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) \times (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$

### Chlorophyll indices

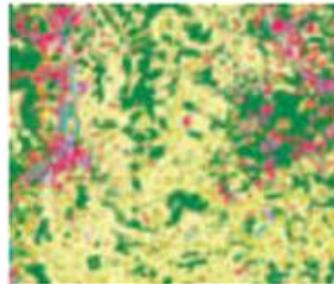
Greenness Index (G)	$G = R_{554} / R_{677}$
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)	$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550})] \times (R_{700} / R_{670})$
Transformed CARI (TCARI)	$TCARI = 3 \times [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550}) \times (R_{700} / R_{670})]$
Triangular Vegetation Index (TVI)	$TVI = 0.5 \times [120 \times (R_{750} - R_{550}) - 200 \times (R_{670} - R_{550})]$
Zarco-Tejada & Miller	$ZTM = R_{750} / R_{710}$

<u>Water indices</u>	
Normalized Difference Water Index (NDWI)	$NDWI = (R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$
Simple Ratio Water Index (SRWI)	$SRWI = R_{858} / R_{1240}$
Plant Water Index (PWI)	$PWI = R_{970} / R_{900}$
<u>Red edge spectral parameters</u>	
$\lambda_p$	$\lambda_{pr} = \lambda_{\max(680-750)}$ ; $\lambda_{p1g} = \lambda_{\max(500-600)}$ ; $\lambda_{p2g} = \lambda_{\min(500-600)}$
$R_o$	$R_o = R_{\min(650-700)}$
$R_s$	$R_s = R_{\max(700-770)}$
$\sigma$	$\sigma$ = shape parameter as defined by the inverted-Gaussian curve-fit model
<u>Other indices mentioned but not used in this study</u>	
Simple Ratio Pigment Index (SRPI)	$SRPI = R_{430} / R_{680}$
Normalized Phaeophytinization Index (NPQI)	$NPQI = (R_{415} - R_{435}) / (R_{415} + R_{435})$
Photochemical Reflectance Index (PRI)	$PRI_1 = (R_{528} - R_{567}) / (R_{528} + R_{567})$ ; $PRI_2 = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$
Normalized Pigment Chlorophyll Index (NPCI)	$NPCI = (R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$
Carter indices	$Ctr1 = R_{695} / R_{420}$ ; $Ctr2 = R_{695} / R_{760}$
Lichtenthaler indices	$Lic1 = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$ ; $Lic2 = R_{440} / R_{690}$ ; $Lic3 = R_{440} / R_{740}$ ; $Lic4 = \int_{450}^{680} R$
Structure Intensive Pigment Index (SIPI)	$SIPI = (R_{800} - R_{450}) / (R_{800} + R_{650})$
Vogelmann indices	$Vog1 = R_{740} / R_{720}$ ; $Vog2 = (R_{734} - R_{747}) / (R_{715} + R_{726})$ ; $Vog3 = (R_{734} - R_{747}) / (R_{715} + R_{720})$ ; $Vog4 = D_{715} / D_{705}$
Gitelson and Merzlyak	$G\_M1 = R_{750} / R_{550}$ ; $G\_M2 = R_{750} / R_{700}$
Curvature Index (Fluorescence)	$CUR = (R_{675} \cdot R_{690}) / (R_{683}^2)$
Double-Peak Ratio indices	$DPR1 = D_{\lambda p(680-750)} / D_{\lambda 0+12}$ ; $DPR2 = D_{\lambda p(680-750)} / D_{\lambda 0+22}$ ; $DP21 = D_{\lambda p(680-750)} / D_{703}$ ; $DP22 = D_{\lambda p(680-750)} / D_{720}$
Area Red Edge Peak (ADR)	$ADR = \int_{680}^{760} D$

Map of categorical variables

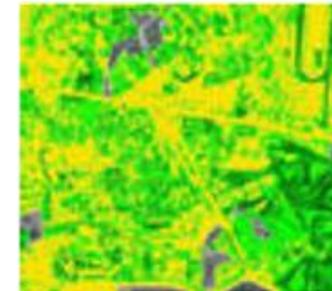
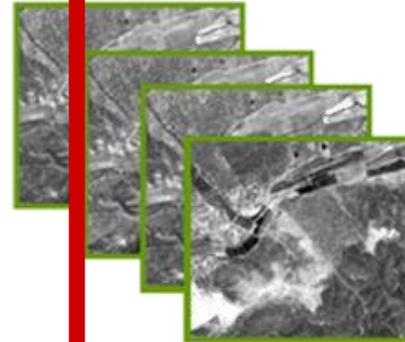


Map of thematic classes



Land cover maps  
Burned area maps  
Flooded maps  
Agriculture maps  
Forest maps

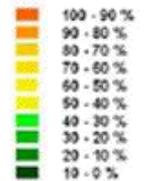
**Thematic remote sensing**  
Image classification



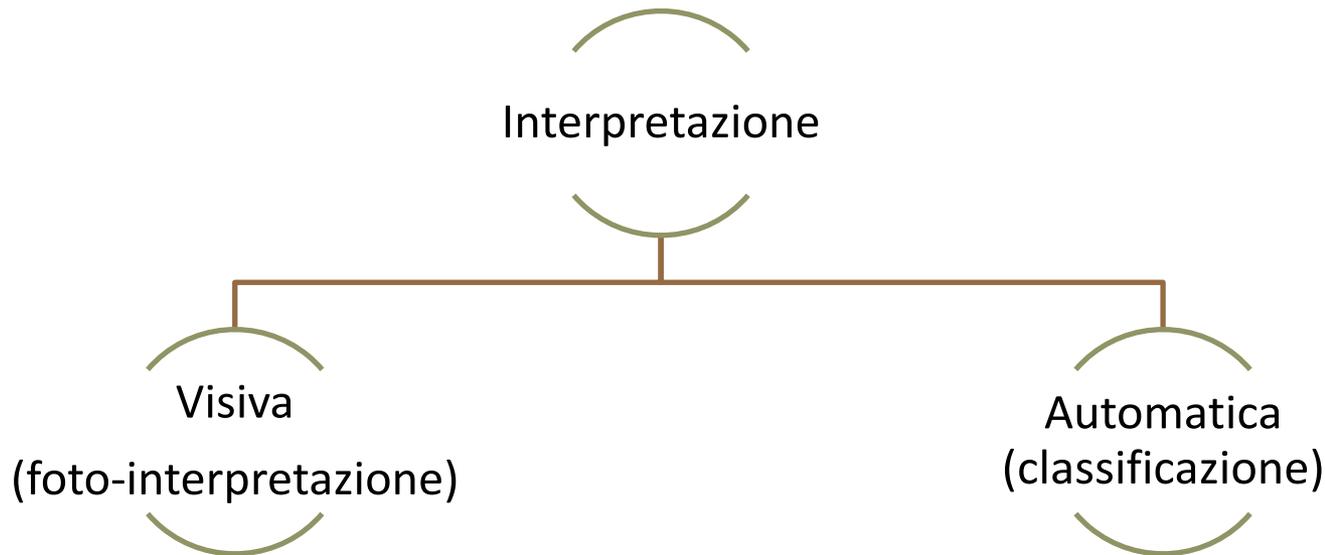
Leaf area index  
Biomass  
Tree volume

**Quantitative remote sensing**  
Modelling

Map of continuous variables



**Remote Sensing (RS) interpretation** is “the act of examining RS images for the purpose of identifying objects and judging their significance”  
(Colwell, 1997)

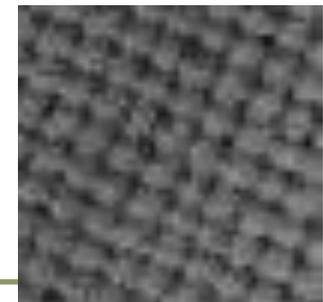


- Esperto
- Parzialmente multi-dimensionale
- Limitazione distinzione livelli colore
- Informazione spaziale
- Laborioso e non ripetibile
- Soggettivo

- Computer
- Multi-dimensionale
- Tutti livelli colore
- Difficile integrare informazione spaziale
- Oggettiva e ripetibile

**Visual Interpretation** of images is based on several **features**:

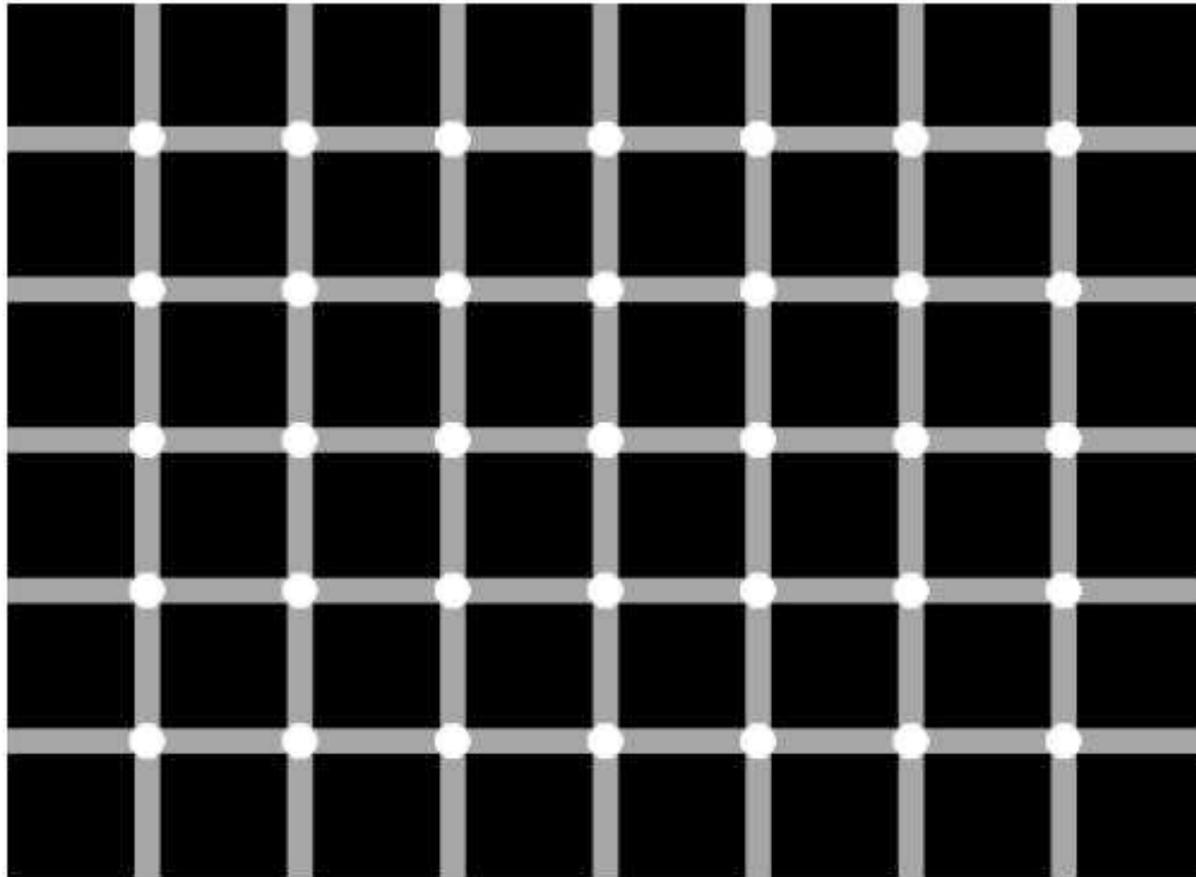
- Tones and Colors
- Shapes
- Sizes
- Textures and Patterns
- Shadows
- Geolocation/context



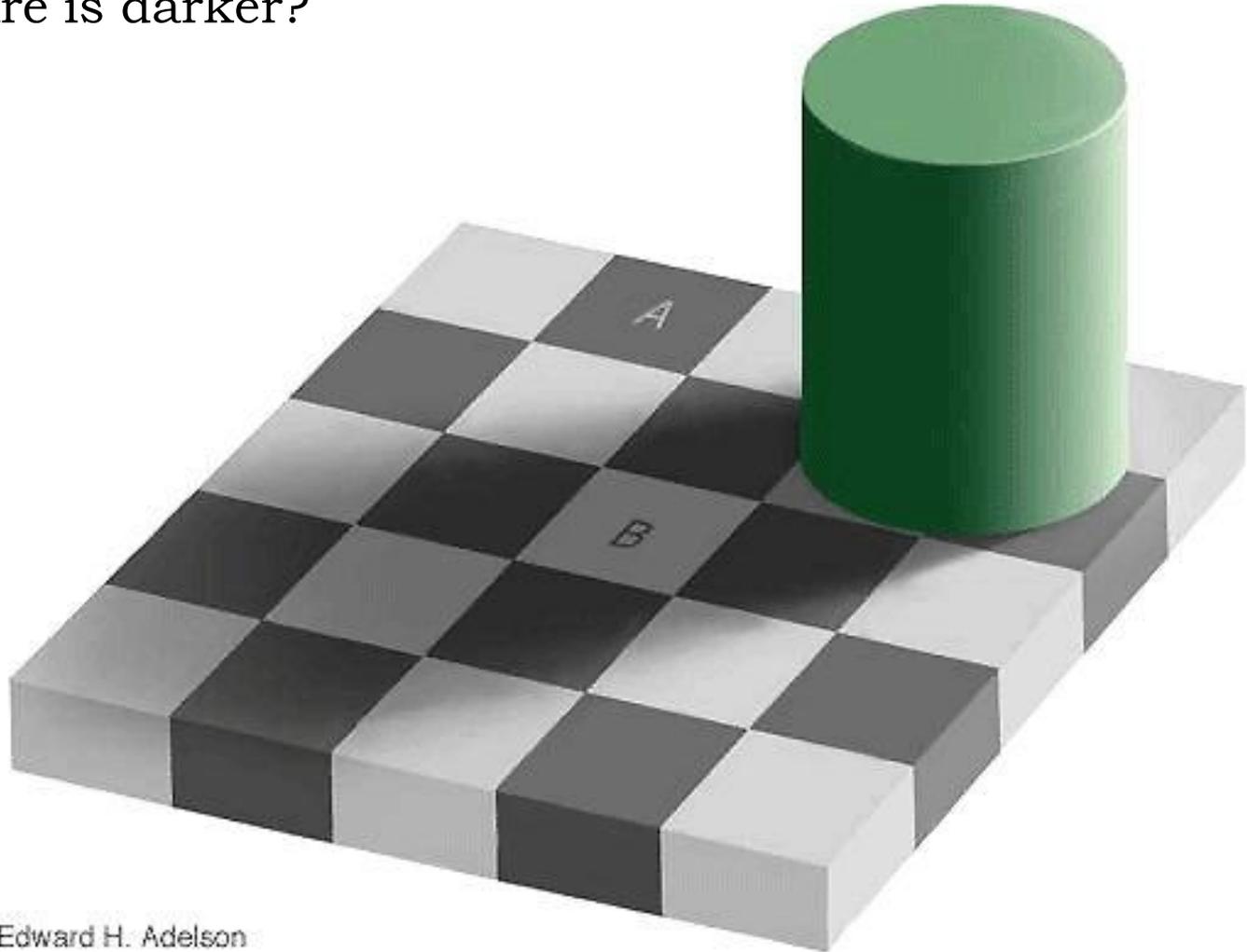
Name the color, not the word

**RED BLUE WHITE**  
**YELLOW BLUE GREEN**  
**RED PURPLE BLACK**  
**BLUE ORANGE RED**  
**PURPLE RED BROWN**  
**BLUE YELLOW GREEN**

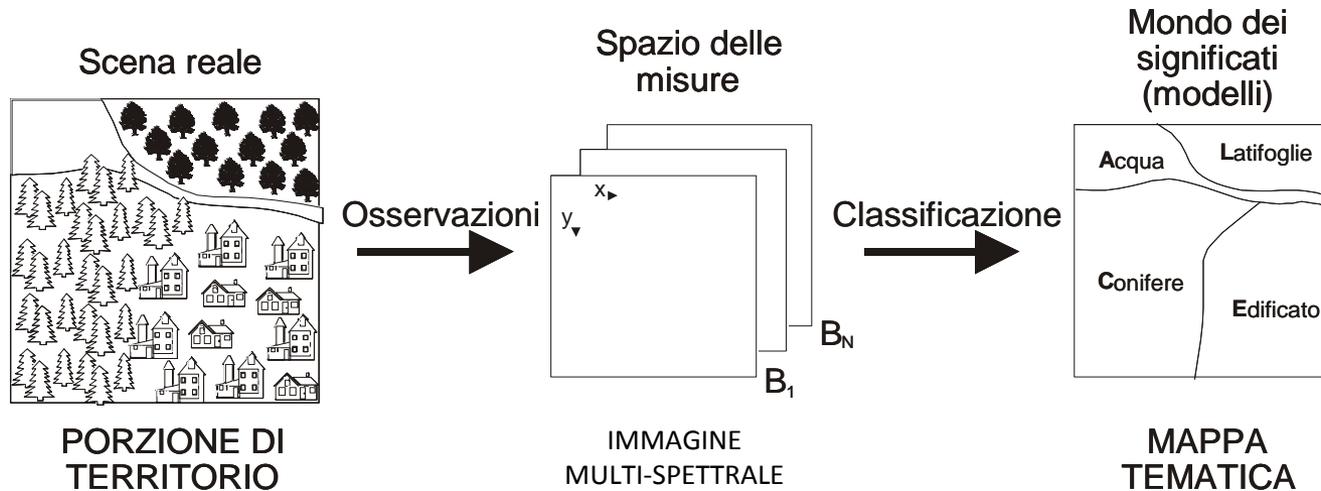
Try to count the black spots



Which square is darker?  
A or B?



Edward H. Adelson



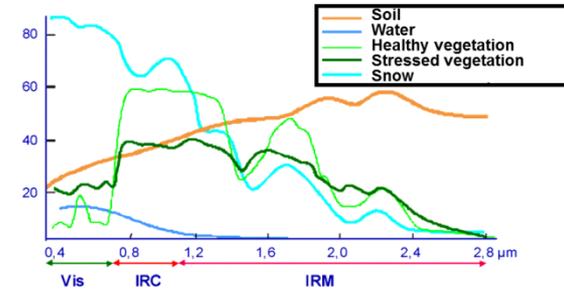
Scopo: sostituire la foto-interpretazione con un processo automatico per produrre una **mappa tematica** (assegnare ad ogni pixel/oggetto una semantica (attributo))

Le diverse superfici hanno diverse firme spettrali in funzione delle loro proprietà chimiche e fisiche

Ogni pixel dell'immagine ha assegnato un vettore di numeri che lo caratterizza

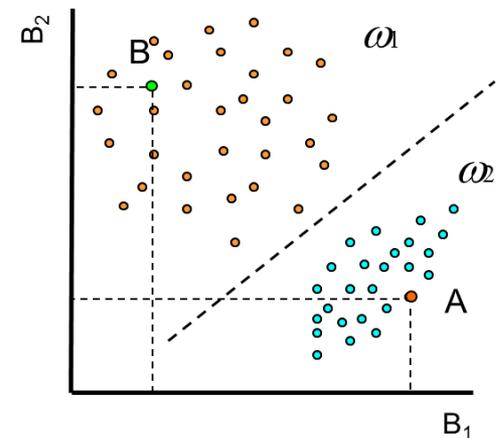
Quando rappresento i pixel nello spazio multi-spettrale, i pixel tendono a raggrupparsi (clusters) in funzione del tipo di superficie e delle sue caratteristiche

Questi cluster rappresentano le classi/categorie della mappa tematica



$$x = [x^1, x^2, \dots, x^N]$$

Multispectral feature space

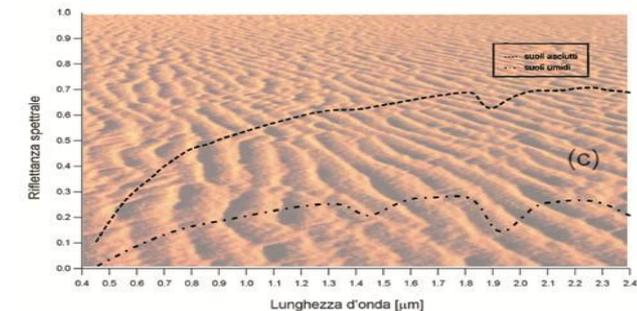
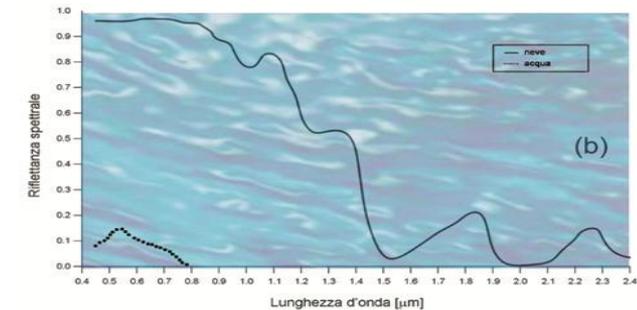
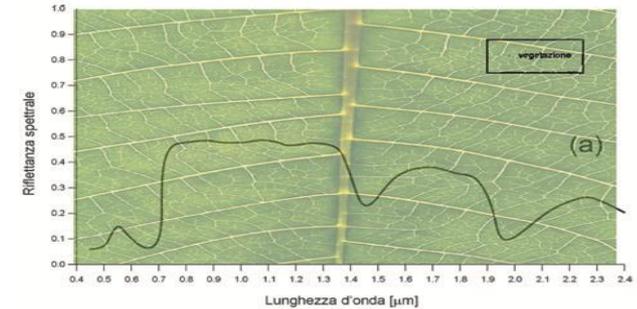


Le diverse superfici hanno diverse firme spettrali in funzione delle loro proprietà chimiche e fisiche

Ogni pixel dell'immagine ha assegnato un vettore di numeri che lo caratterizza

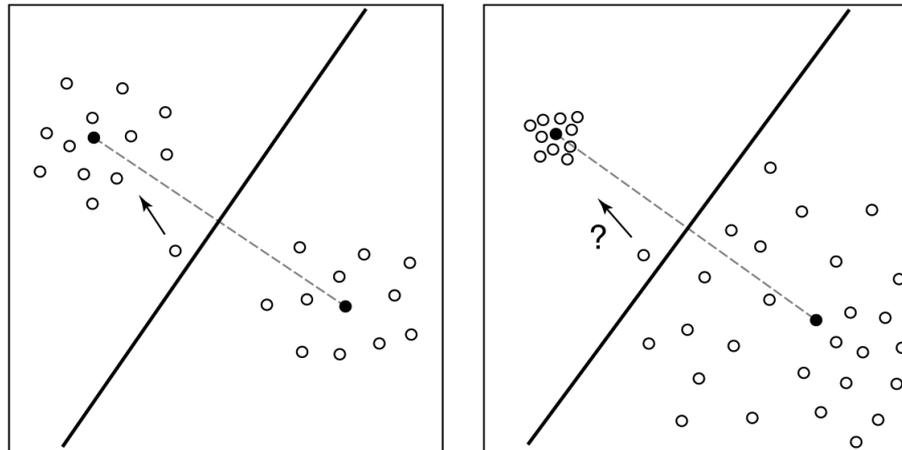
Quando rappresento i pixel nello spazio multi-spettrale, i pixel tendono a raggrupparsi (clusters) in funzione del tipo di superficie e delle sue caratteristiche

Questi cluster rappresentano le classi/categorie della mappa tematica



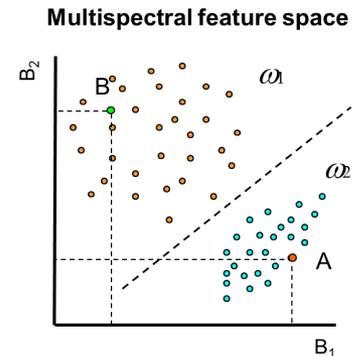
- La classificazione si basa sull'analisi della posizione del pixel nello spazio multi-spettrale (multi-dimensionale)
- Alla base c'è il calcolo della distanza (p.e. euclidea) o criteri statistici di attribuzione dei punti alle classi

$$d_E(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \|\mathbf{x} - \mathbf{x}'\| = \sqrt{(x^1 - x'^1)^2 + (x^2 - x'^2)^2 + \dots + (x^B - x'^B)^2}$$



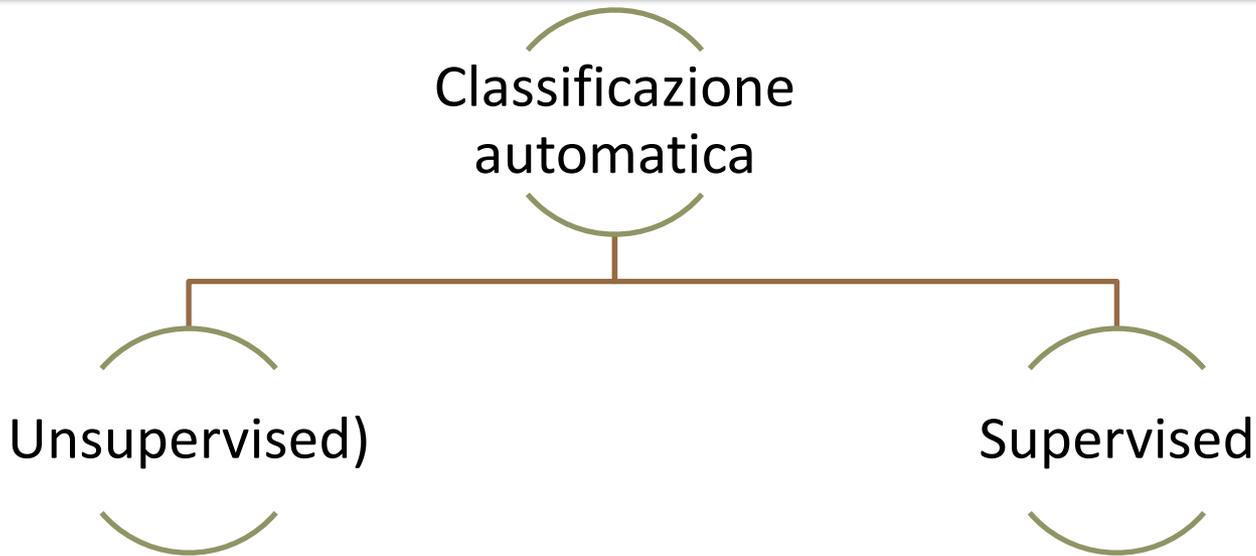
- **Unsupervised classification:** un algoritmo di clusterizzazione individua i centri delle classi nello spazio multi-dimensionale (multi-spettrale) sulla base delle statistiche dell'immagine

Cluster  
Labelling



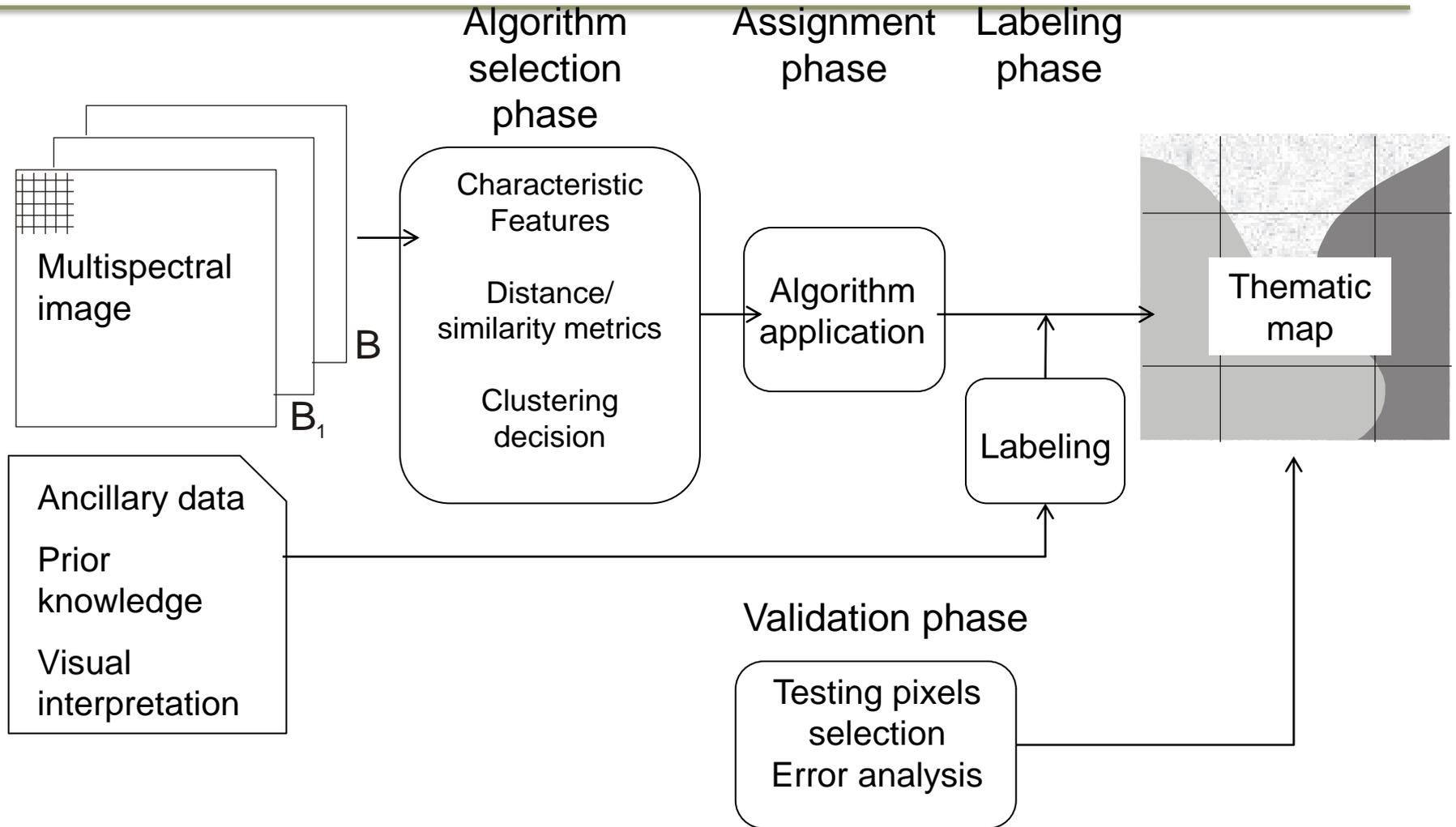
- **Supervised classification:** il centro delle classi è individuato sulla base di un training fornito dall'esperto (da dati esterni o dall'immagine per foto-intepretazione)

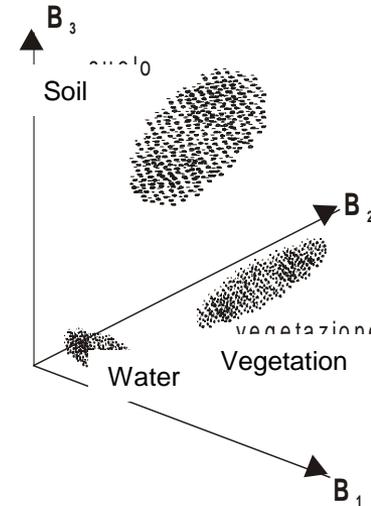
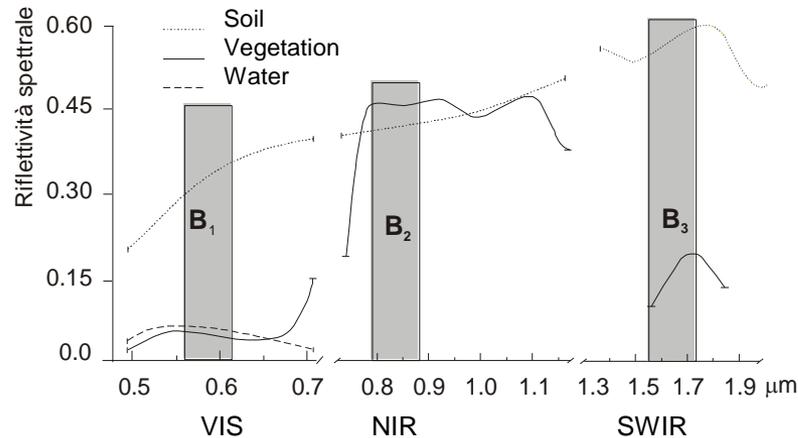
Training



- No conoscenza a-priori
- Post-clustering labelling
- Utile in fase di analisi per individuare le classi spettrali
- Primo passo in aree sconosciute per caratterizzare il territorio

- Conoscenza a-priori delle classi tematiche
- Training
- I risultati sono influenzati dalla scelta del training
- Migliori risultati (accuratezza)



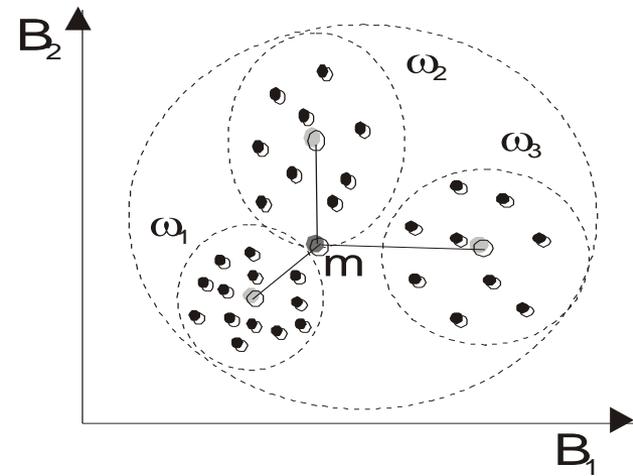


- I cluster nello spazio multi-dimensionale sono creati in modo automatico senza conoscenza a priori
- I cluster sono separati da confini che rappresentano le funzioni di decisione/regole
- L'esperto deve assegnare un nome/classe al cluster (classe tematica) -  
> LABELLING

Il CLUSTERING è un metodo di segmentazione dell'immagine in classi tematiche non note a-priori che si basa sul raggruppamento di pixel «simili» nello spazio multi-dimensionale

**Algoritmo automatico** che individua tra tutti i possibili cluster quelli per cui:

- $S_{int}$  è minimo (Clusters compatti)
- $S_{ext}$  è massimo (Clusters sono ben separati l'uno dall'altro)



$$S_{int} = \sum_{\mathbf{x} \in \omega_i} (\mathbf{x} - \mu_i)^T (\mathbf{x} - \mu_i)$$

$$S_{ext} = \sum_i n_i (\mu_i - \mu)^T (\mu_i - \mu)$$

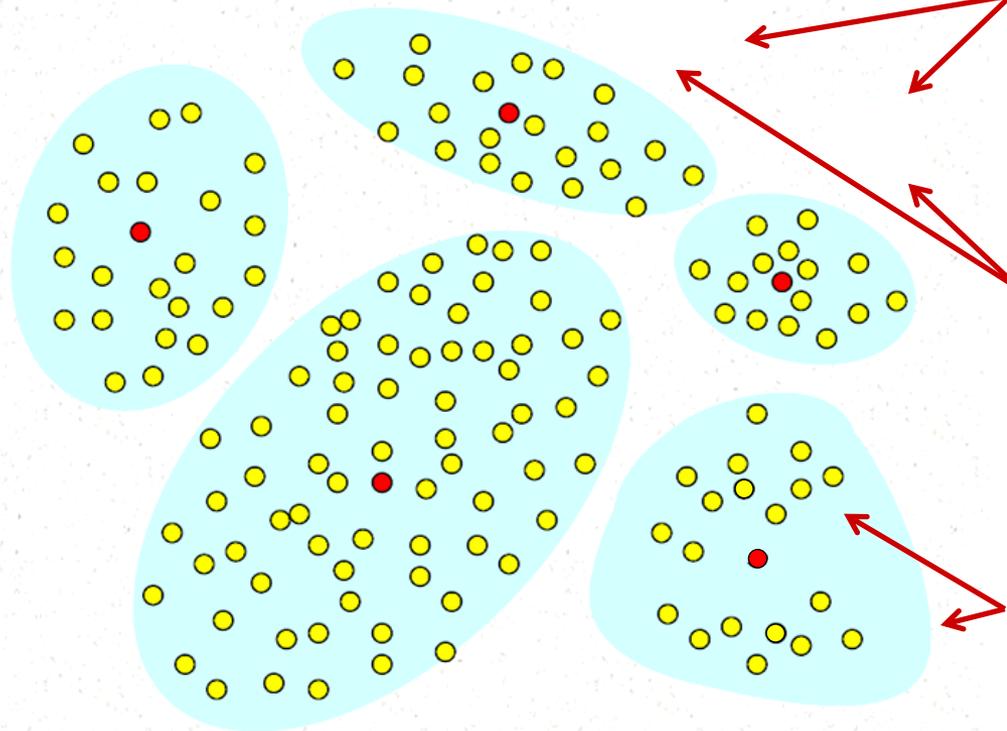
- $x$  = cluster element
- $n_i$  =  $i$ -th class cardinality
- $m_i$  =  $i$ -th class mean
- $m$  = total mean

## Iterative Self-Organising Data Analysis Technique (ISODATA)

L'algoritmo è un miglioramento della classificazione unsupervised k-means

**Clusters are merged or deleted** if i) the number of pixels in a cluster is less than a certain threshold **and/or** ii) if the centers of two clusters are closer than a certain threshold.

• **Clusters are split** into two different clusters if the i) cluster standard deviation exceeds a predefined value **and/or** ii) the number of pixels is greater than a certain threshold



## 1. SPLITTING

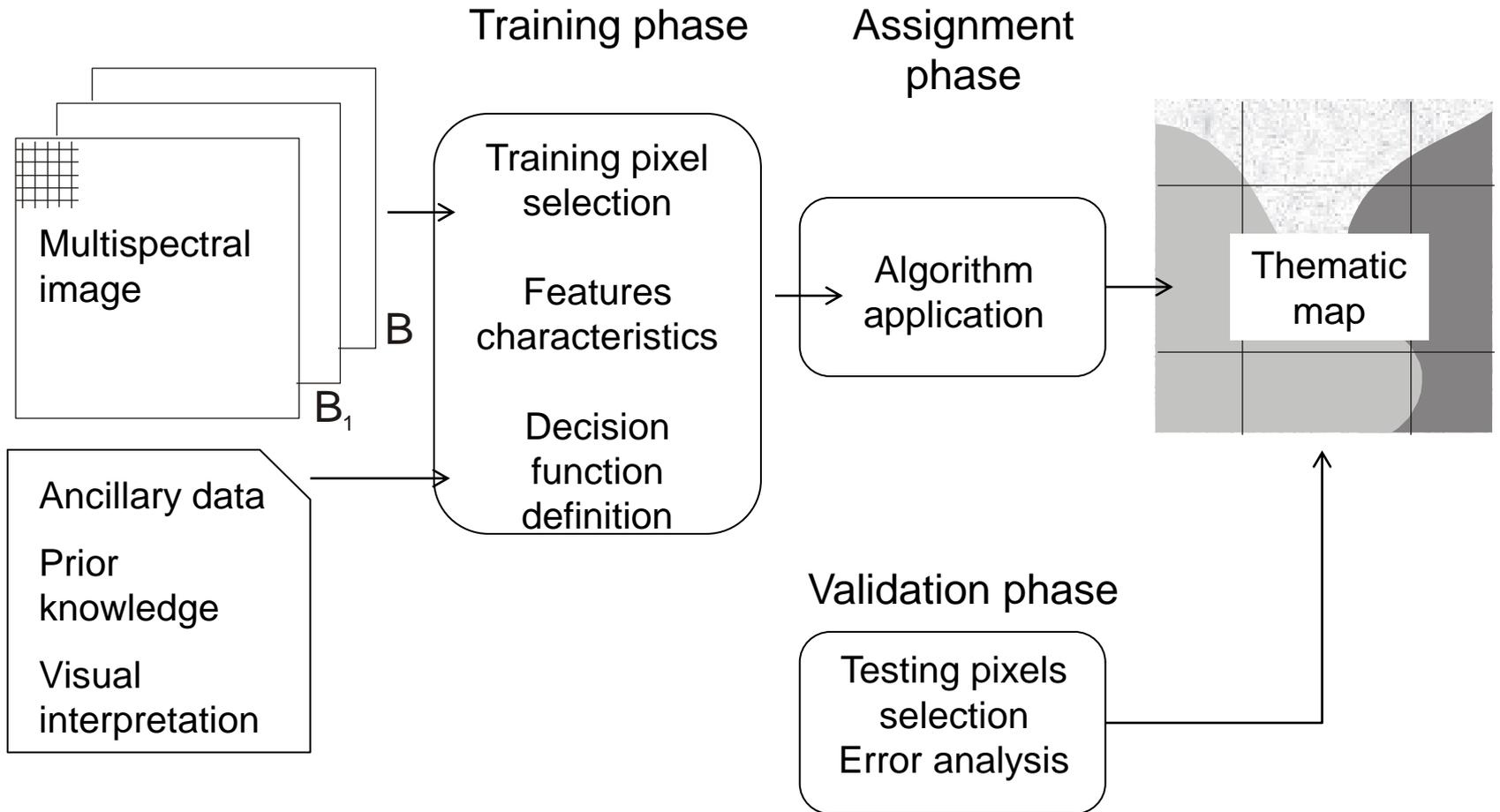
Divide large clusters (which are elongated) into two clusters

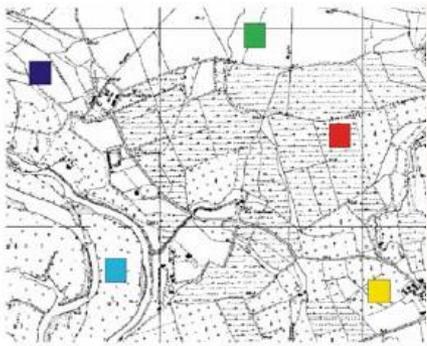
## 2. ELIMINATION

Eliminate clusters with very few pixels

## 3. MERGING

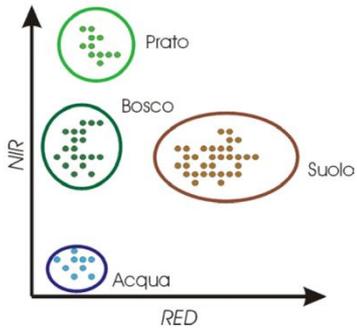
Unify pairs of clusters very close to each other





Training set

Esempio di mappatura di uso/copertura del suolo da classificazione con tecniche di classificazione guidata (MIVIS, pixel 4 m, Parco del Ticino)

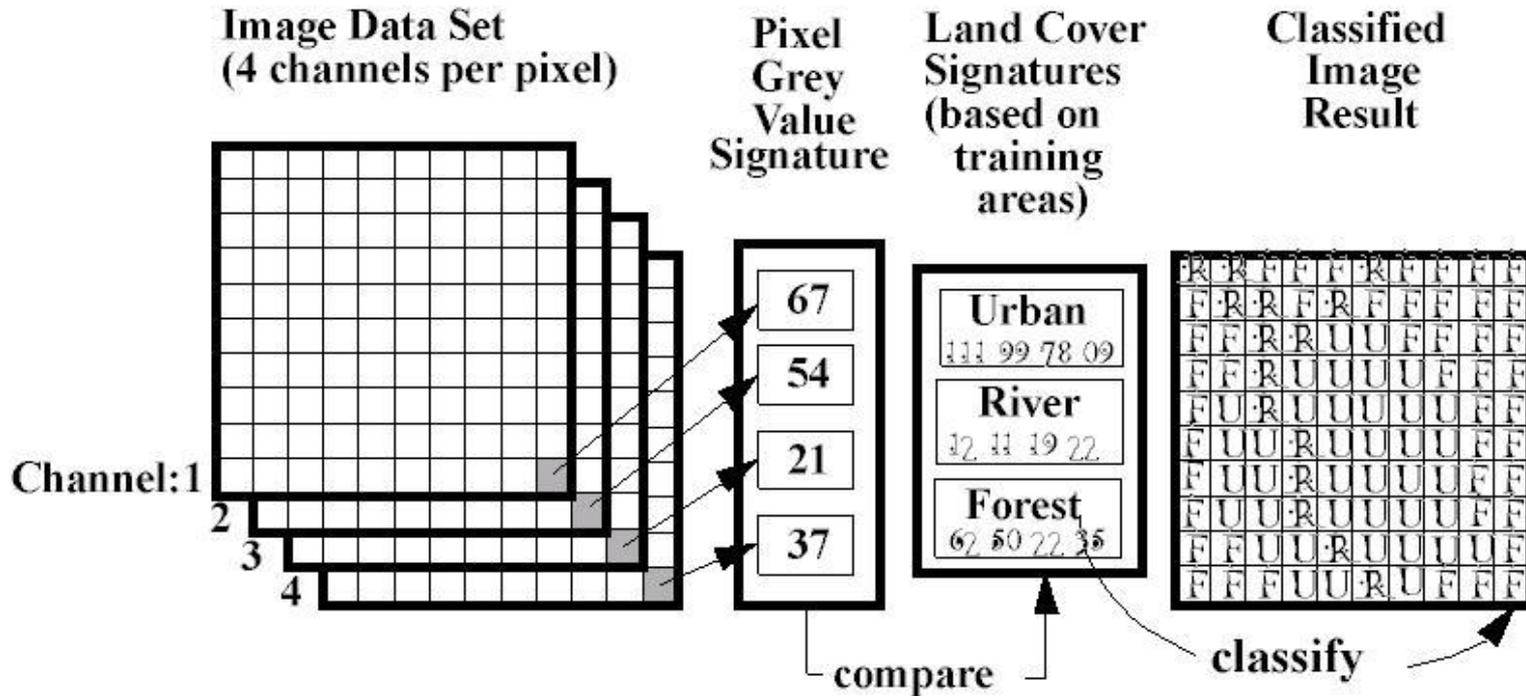


Regole assegnamento (analisi nello spazio delle bande spettrali)



- MAIS
- Suolo nudo
- Riso
- Bosco
- Pioppeti

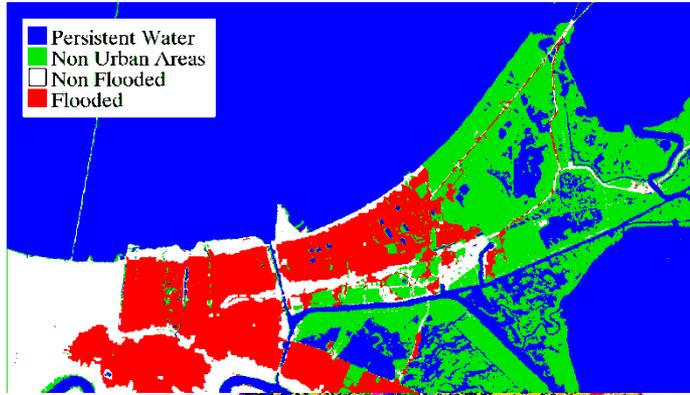
Classificazione (assegnazione del codice della classe a tutti i pixel)



- A. Definizione di un set di **classi tematiche** (legenda)
- B. Definizione di un **training samples** per costruire il modello o il prototipo di ciascuna classe; opera nel dominio spaziale (regioni di interesse)
- C. Definizione dei **parametri** e delle **feature** rappresentative delle classi nel dominio multi-spettrale (multi-dimensionale)
- D. Definizione delle **funzioni di decisione** o regole (algoritmo)

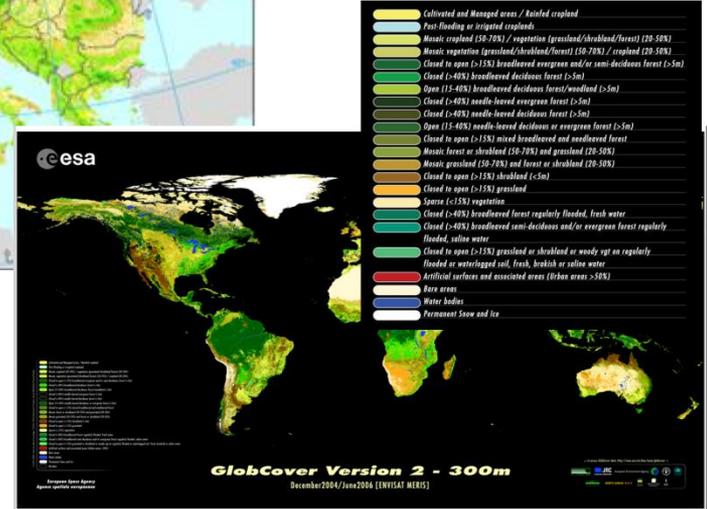
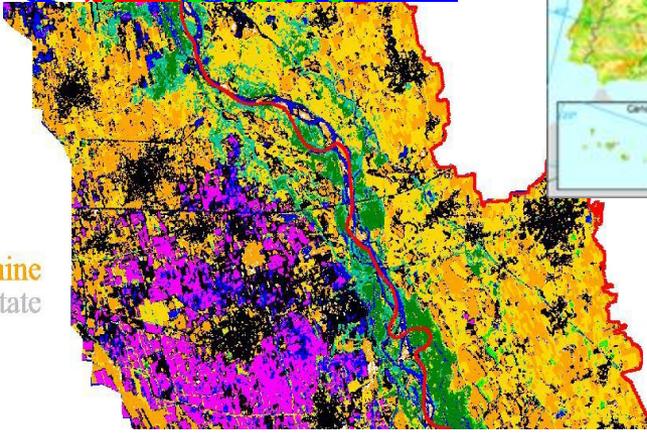
# A. Definizione classi tematiche

Rappresentazione corretta ed esaustiva della realtà (i.e. tutte le classi di copertura devono essere identificate anche a diversi livelli di dettaglio)



## Legenda

- Urbano
- Colture primaverili
- Risaie
- Corpi idrici
- Prati a marcite
- Colture autunno-vernine
- Aree sterili non vegetate
- Boschi naturali
- Pioppi
- Vegetazione riparia



Per ogni classe tematica identificata  $W_j$  un set  $S_i$  composto da  $n_i$  pixel  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , dove  $n$ =numero input feature/bande

## Come

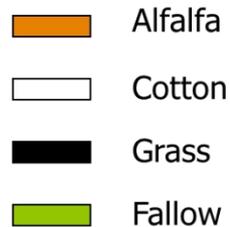
- Dati *In-situ* data
- Immagini altissima risoluzione (i.e. aerial photos)
- Foto-interpretazione

## Numerosità $S_i$ (empirico)

Min  $10 \cdot N$  pixels for each class  
Optimum  $100 \cdot N$  pixels for each class  
( $N$ =numero di feature)

## Caratteristiche

- Aree omogenee (no bordi, no pixel misti)
- Da diverse aree dell'immagine per tenere in considerazione la variability intra-classe



- Identificazione delle bande, indici di vegetazione o altri “layer” in input alla classificazione
- Le feature possono essere multi-temporali
- Formano uno spazio multi-dimensionale di N dimensioni

$$x = [x^1, x^2, \dots, x^N]$$

Lo spazio multi-spettrale (multi-dimensionale) viene diviso in regioni sulla base di funzioni di decisione che seorano lo spazio n-dimensionale .

Ogni classe ha la sua regione.

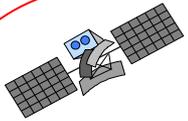
$$D_i(x) = D_j(x)$$

$x \in \mathbf{w}_i$  if  $D_i(x) > D_j(x)$  for all  $j \neq i$

Then:

where  $D_i(x) > D_j(x)$ , class  $\mathbf{w}_i$  is chosen  
where  $D_j(x) > D_i(x)$ , class  $\mathbf{w}_j$  is chosen

- **Minimum Distance from the mean** (K-Nearest Neighbor)
- **Spectral Angle Mapper** (SAM)
- **Parallelepiped algorithm** (K-Box)
- **Maximum Likelihood algorithm** (ML)



SPOT-XS - 20 m

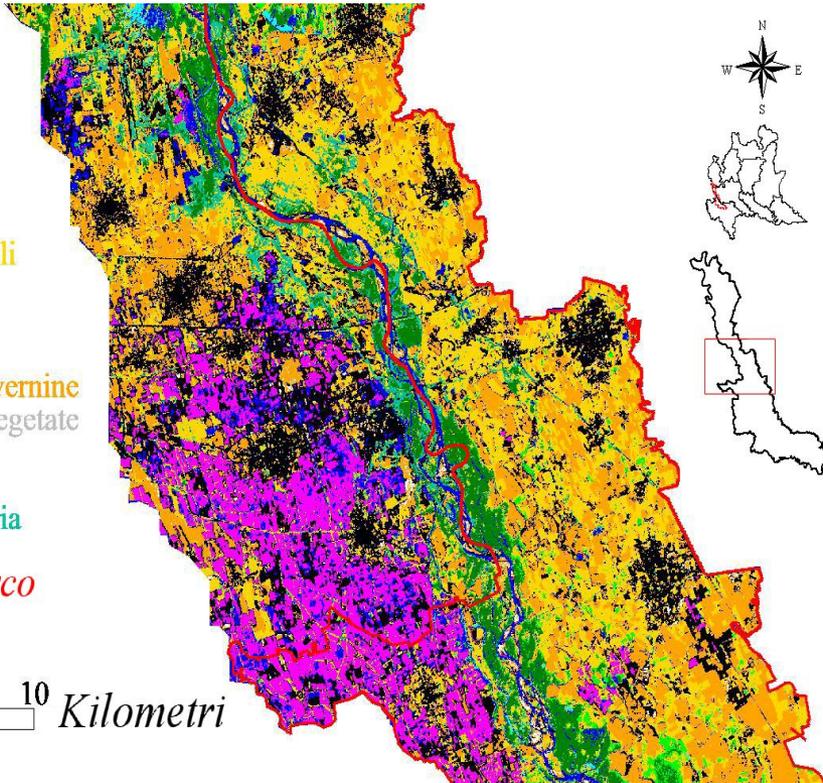
1:30.000

Legenda

- Urbano
- Colture primaverili
- Risaie
- Corpi idrici
- Prati a marcite
- Colture autunno-vernine
- Aree sterili non vegetate
- Boschi naturali
- Pioppi
- Vegetazione riparia

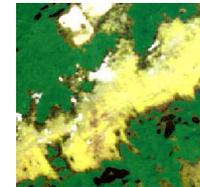
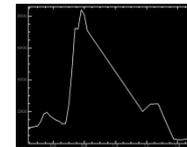
— Confini Parco

0 10 Kilometri

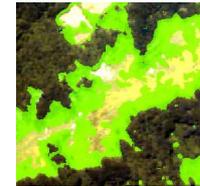
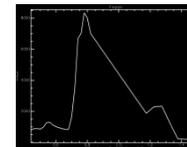


MIVIS - 4 m

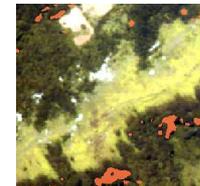
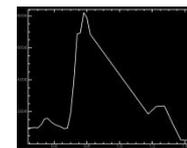
1:15.000



Faggio



Ontano

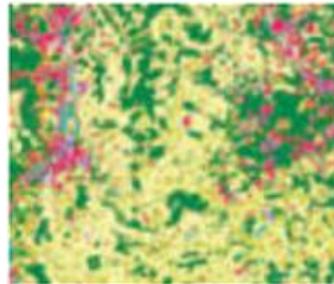


Carpino

Map of  
categorical  
variables

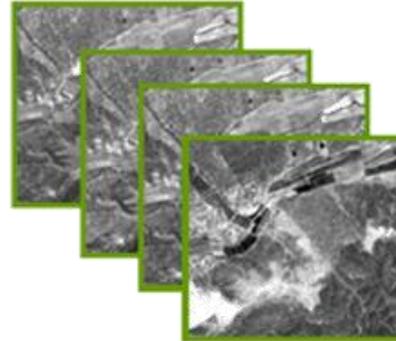


Map of thematic  
classes

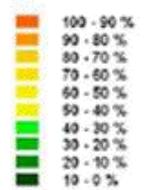


Land cover maps  
Burned area maps  
Flooded maps  
Agriculture maps  
Forest maps

**Thematic  
remote sensing**  
Image classification



Map of  
continuous  
variables

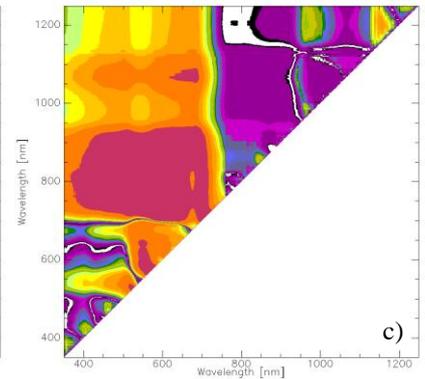
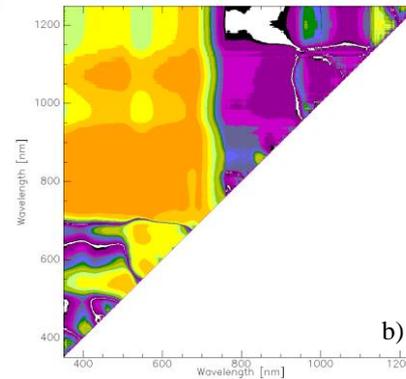
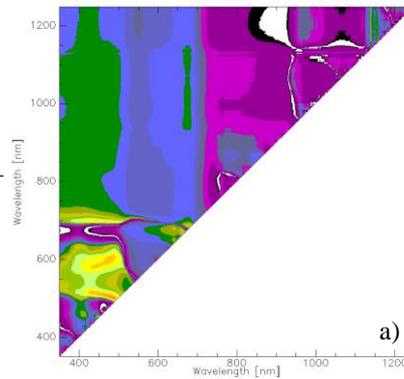
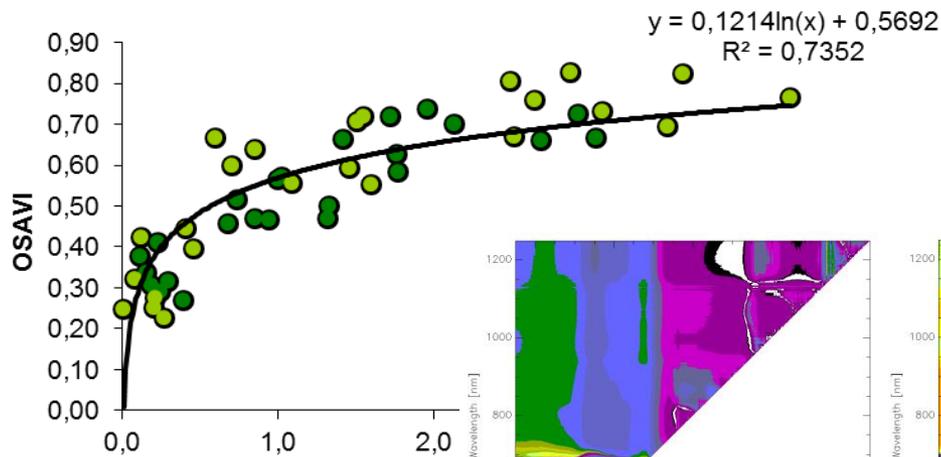


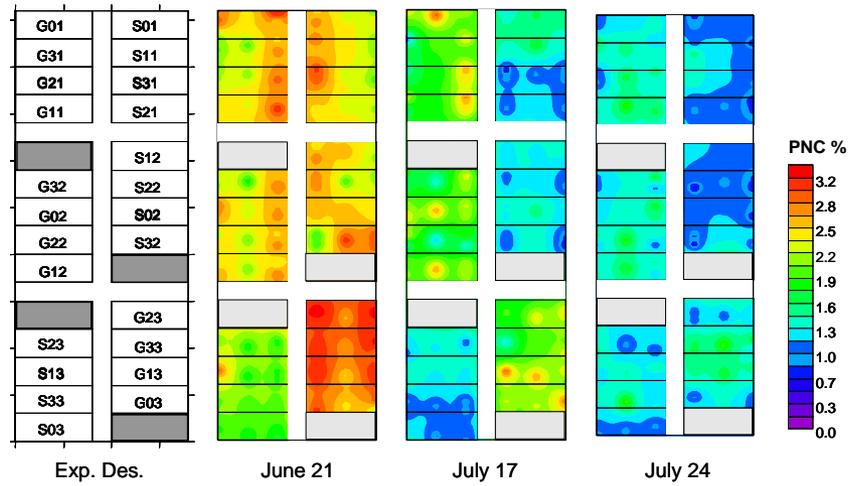
Leaf area index  
Biomass  
Tree volume

**Quantitative  
remote sensing**  
Modelling

- Metodi data-driven
- La conoscenza può essere fornita dai modelli utilizzati in modo diretto
- Modelli puramente empirici sono sito-specifici (tipo di coltura, varietà, suolo)
- In agricoltura di precisione possono essere una soluzione a scala di campo

# Modelli empirici

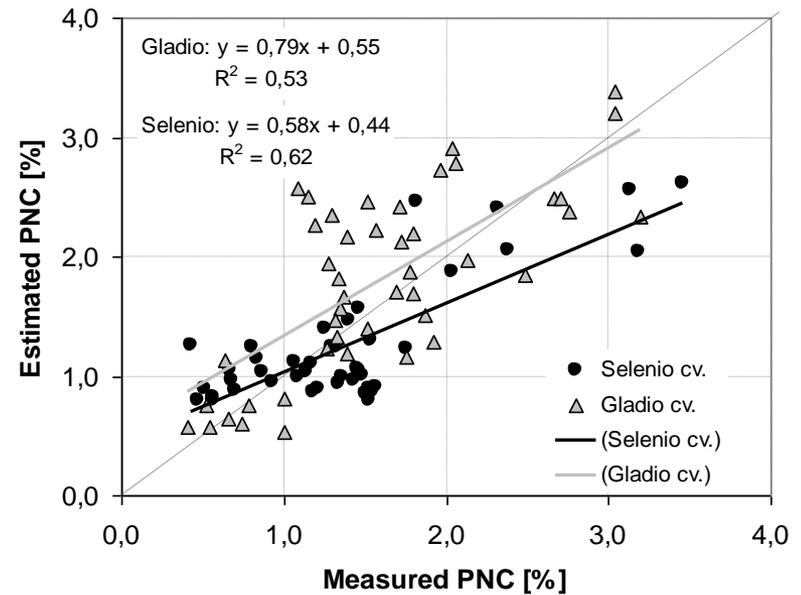




**Validazione:** processo di stima dell'accuratezza del prodotto derivato da dati telerilevati (UAV, satellite)

**Accuratezza:** accordo tra il prodotto tematico/quantitativo e dati di riferimento

- Analisi visiva
- Accordo non sito specifico/geografico
- Differenza tra immagini
- Propagazione errore
- Validazione statistica



		Class types determined from <b>reference source</b>				
Class types determined from <b>thematic map</b>		# Plots	Conifer	Hardwood	Water	Totals
Conifer			<b>50</b>	5	2	57
Hardwood			14	<b>13</b>	0	27
Water			3	5	<b>8</b>	16
<b>Totals</b>			67	23	10	<b>100</b>

**Overall Accuracy (OA):** Probabilità che un pixel estratto in modo casuale nella mappa tematica sia correttamente classificato

**Kappa coefficient (k):** probabilità che l'accordo non sia avvenuto per caso

**Producer Accuracy (PA) [%]:** Probabilità che un pixel campionato in modo casuale dalla mappa di riferimento sia stato classificato correttamente (errore omissione)

**User Accuracy (UA) [%]:** Probabilità che un pixel campionato in modo casuale dalla mappa tematica sia stato classificato correttamente (errore commissione)

- Importanza del trattamento dato per estrarre informazioni sia tematiche che quantitative
- Trattamento rigoroso
- Validazione calibrazione radiometrica
- Tecniche di classificazione per mappe tematiche
- Estrazione parametri quantitativi (modelli empirici)
- Validazione !! (disponibilità dati in situ)
- Sistemi completamente automatici (?)