



*Università degli Studi di Napoli "Parthenope"*  
*Dipartimento di Scienze e Tecnologie*

*Corso di Telerilevamento*

*Lezione 8*

# **Indici di vegetazione**

*Claudio Parente*

# Indici di vegetazione

VI (Vegetation Indices) = servono per identificare la vegetazione e il suo stato di salute. Permettono di distinguere tre classi: acqua, vegetazione e suolo «nudo» (cioè privo di vegetazione).

Si utilizzano principalmente per :

- Analisi delle caratteristiche di produttività;
- Individuazione della Biomassa;
- Identificazione della copertura vegetale.

Firme spettrali: evidenziano comportamenti caratteristici della vegetazione in diverse condizioni (rigogliosa, senescente, a diversi gradi di umidità, ecc.).

Spettri tipici di riflettanza caratterizzano suoli asciutti e umidi. <sup>2</sup>

# Indici di vegetazione

La vegetazione rigogliosa riflette nell'IR vicino mediamente il 40-50% dell'energia incidente.

Nel visibile la clorofilla contenuta nelle foglie assorbe circa l'80-90% dell'energia incidente.

Il massimo assorbimento della radiazione da parte della clorofilla avviene nella regione del rosso, ossia tra 0.6 e 0.7  $\mu\text{m}$

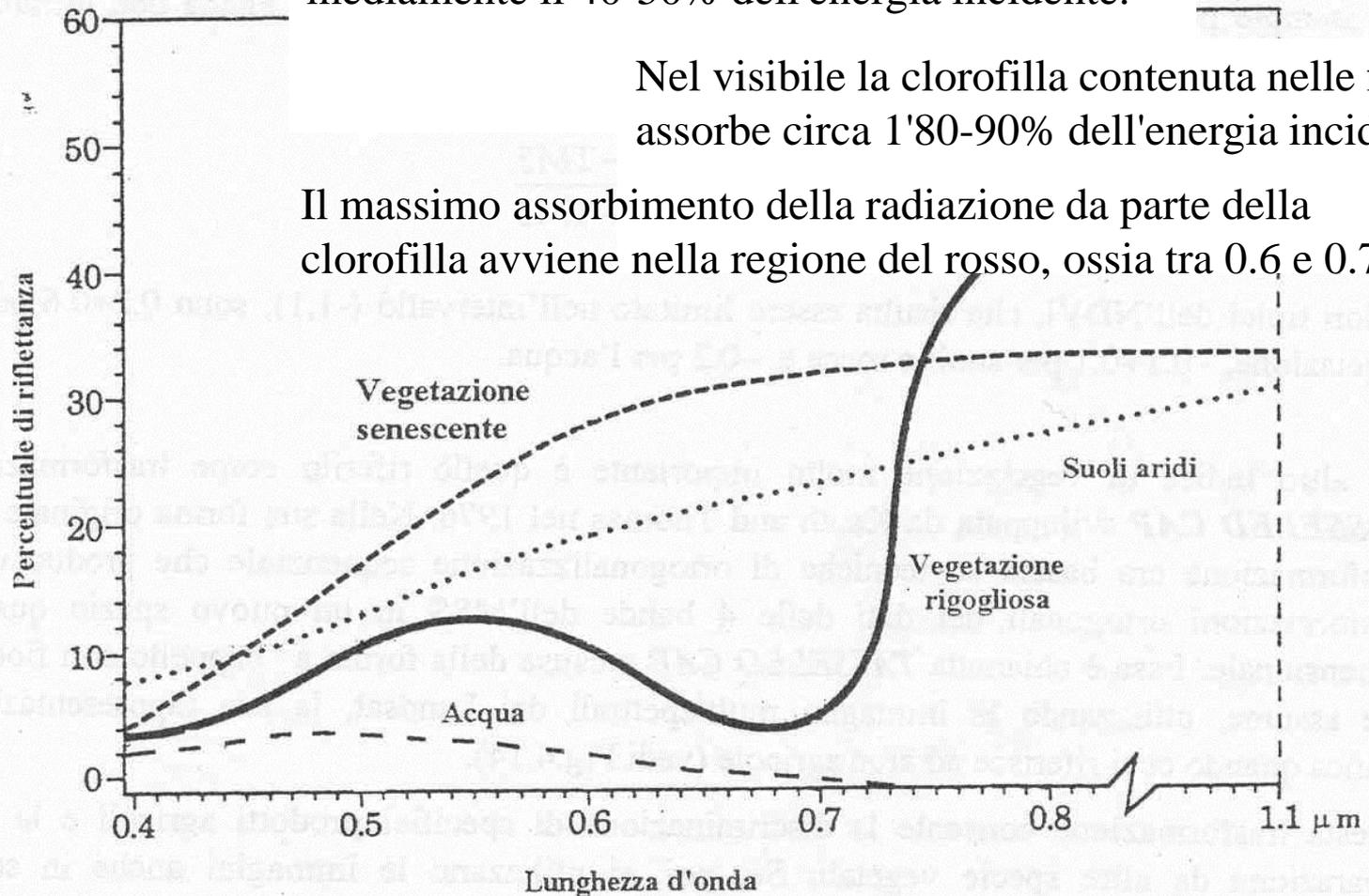


Fig. 4.12. Riflettanze spettrali tipiche, caratteristiche per vegetazione rigogliosa, vegetazione senescente o morta, suoli asciutti e acqua, nell'intervallo 0.4-1.1  $\mu\text{m}$ .

# Indici di vegetazione

La vegetazione senescente, rispetto alla vegetazione florida, riflette una maggiore quantità di energia nel visibile, mentre ne riflette di meno nella regione dell'IR vicino.

I suoli aridi: situazione intermedia tra la vegetazione "verde" e quella senescente nel campo del visibile, ma presentano una riflettanza minore sia dell'una che dell'altra nell'IR vicino.

La maggior parte degli indici di vegetazione sono basati sul fatto che vi sono differenze significative nella forma di queste tre curve.

# Indici di vegetazione

Utilizzano i rapporti fra bande spettrali e particolarmente fra una banda dell'infrarosso vicino e quella del rosso.

Conseguenza: compensazione degli effetti topografici e del diverso angolo di illuminazione del Sole.

Grazie agli indici di vegetazione come NDVI si possono ottenere carte tematiche della copertura del suolo relativamente a tre classi:

Acqua (mare, laghi, fiumi,...);

Suolo nudo (cioè privo di copertura di vegetazione);

Vegetazione (boschi, frutteti, prati, ...).

# Indici di vegetazione: Ratio ed NDVI

Un primo indice di vegetazione è detto **Ratio** ed è dato dal rapporto tra le bande dell'infrarosso e del rosso.

$$\text{IR} = (\text{IR}) / (\text{Rosso})$$

Un indice di vegetazione molto utilizzato è l'indice **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*).

È basato sulla differenza normalizzata tra i BV della banda dell'infrarosso vicino e quelli della banda del rosso:

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{Rosso}) / (\text{IR} + \text{Rosso})$$

# Indici di vegetazione

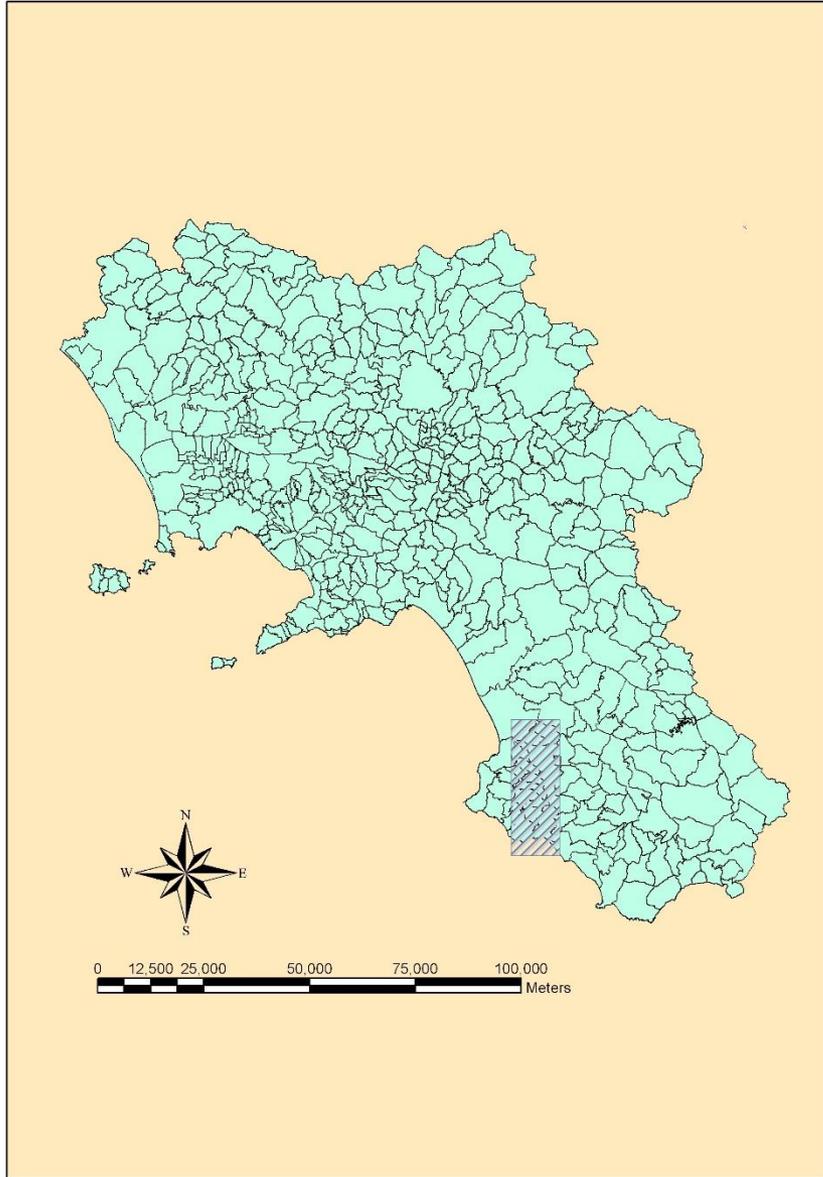
Esempio.

Per il sensore Thematic Mapper (TM), indicando con TM4 e TM3 rispettivamente la banda dell'infrarosso più vicino e quella del rosso, si ha:

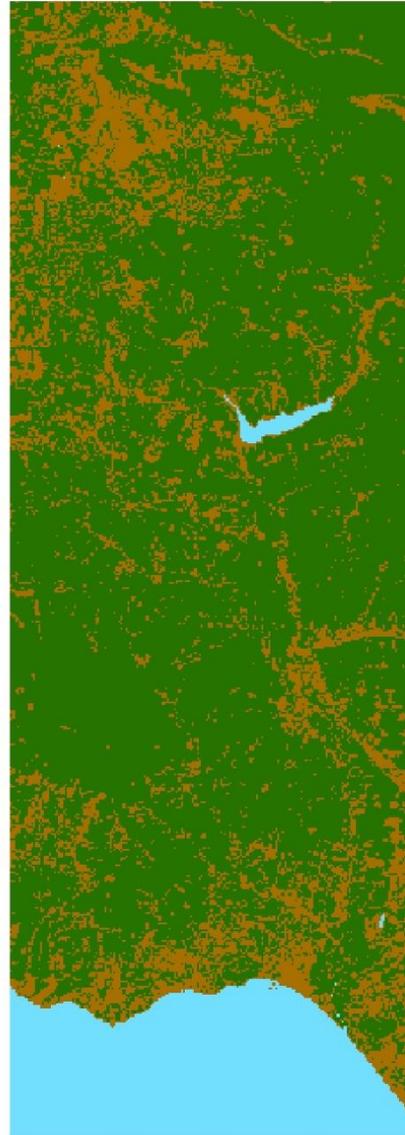
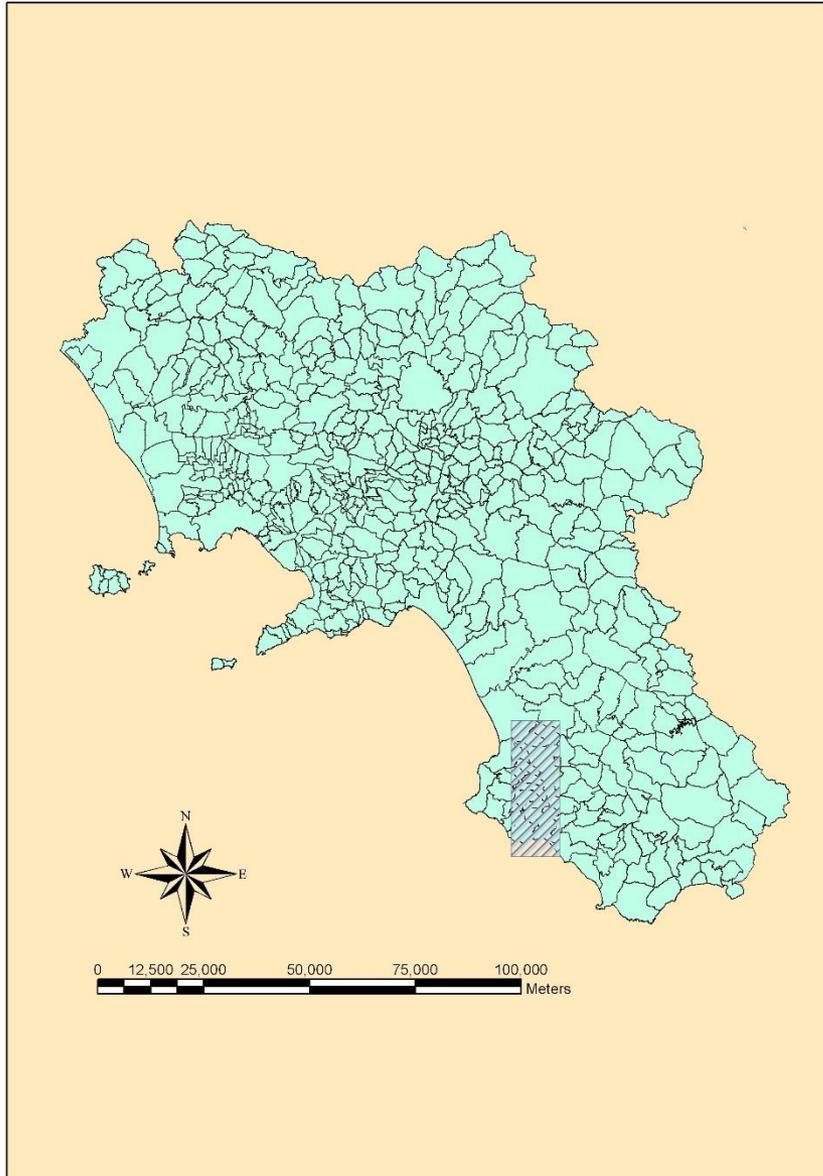
$$\text{NDVI} = \frac{\text{TM4} - \text{TM3}}{\text{TM4} + \text{TM3}}$$

Valori tipici dell 'NDVI, che risulta essere limitato nell'intervallo (-1,1), sono 0.2÷0.6 per la vegetazione, -0.1 ÷ 0.1 per suoli e rocce e -0.2 per l'acqua.

NDVI con immagini  
multispettrali IKONOS – Si utilizzano  
la banda 3 e la banda 4



# Carta tematica ricavata dall'utilizzo dell'indice NDVI (riclassificato) a partire immagini multispettrali IKONOS



Carta tematica ricavata dall'utilizzo  
dell'indice NDVI con immagini  
multispettrali IKONOS - Particolare



# Carta tematica ricavata dall'utilizzo dell'indice NDVI con immagini multispettrali IKONOS



W  
S

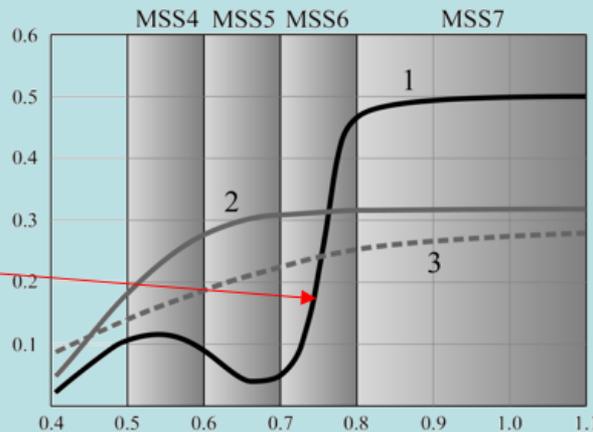


# Esempi di calcolo di indici NDVI

Sensori: MSS, TM, HRV (HRVIR SPOT4)

Mutispectral Scanner  
Landsat

vegetazione



$$NDVI_6 = \frac{MSS_6 - MSS_5}{MSS_6 + MSS_5}$$

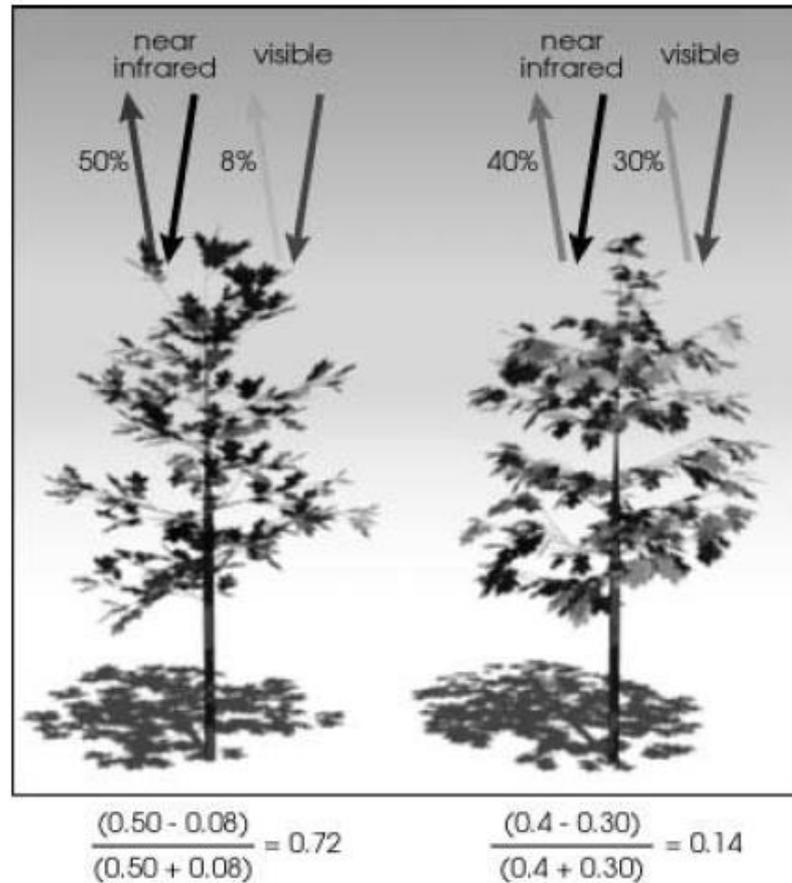
$$NDVI_7 = \frac{MSS_7 - MSS_5}{MSS_7 + MSS_5}$$

Thematic Mapper (ETM+)

$$NDVI_{TM} = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3}$$

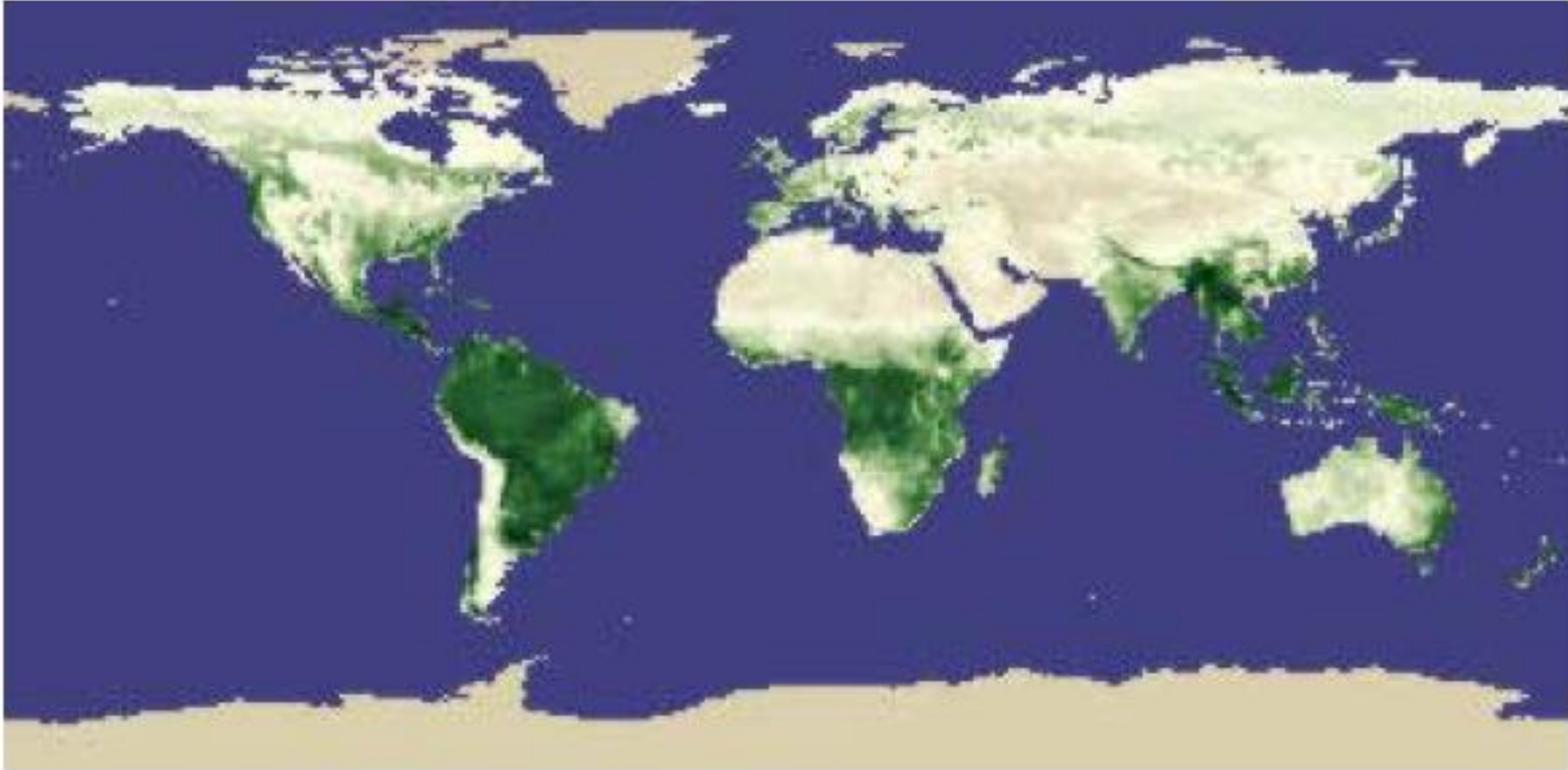
HRV SPOT (HRVIR SPOT 4)

$$NDVI_{HRV} = \frac{HRV_3 - HRV_2}{HRV_3 + HRV_2}$$



**Gli indici di vegetazione possono essere utilizzati come indicatori di siccità. Analizzando la serie storica di NDVI si estrae il valore basale dell'indice per una determinata regione. Le fluttuazioni rispetto a questo valore di base sono significativi dell'intensità della siccità.**

# VEGETATION INDEX



Un esempio di carta tematica della copertura mondiale della vegetazione ricavata da elaborazioni dell'indice NDVI.

# TASSELED CAP

Altro indice di vegetazione importante:  
trasformazione *TASSELED CAP* (Kauth and Thomas, 1976).

Nella sua forma originale tale trasformazione era basata su tecniche di ortogonalizzazione sequenziale che producevano trasformazioni ortogonali dei dati delle 4 bande dell' MSS in un nuovo spazio quadri- dimensionale.

Nome (*TASSELED CAP*) a causa della forma a "cappello con fiocco" che assume, utilizzando le immagini multispettrali del Landsat, la sua rappresentazione grafica quando ci si riferisce ad aree agricole.

# TASSELED CAP

Consente di discriminare specifici prodotti agricoli e la loro separazione da altre specie vegetali.

Utilizzo con immagini anche in senso multitemporale:  
è possibile monitorare lo sviluppo dei prodotti agricoli.

Infatti, partendo dai terreni seminati (risposta spettrale dominata dalla riflettanza tipica dei suoli), si passa alla maturazione dei prodotti caratterizzata da una risposta spettrale dominata dalla biomassa verde; si arriva, infine, alla loro senescenza caratterizzata dal fenomeno dell'ingiallimento.

# TASSELED CAP

Per uno specifico raccolto questa evoluzione temporale appare molto chiara su un doppio diagramma.

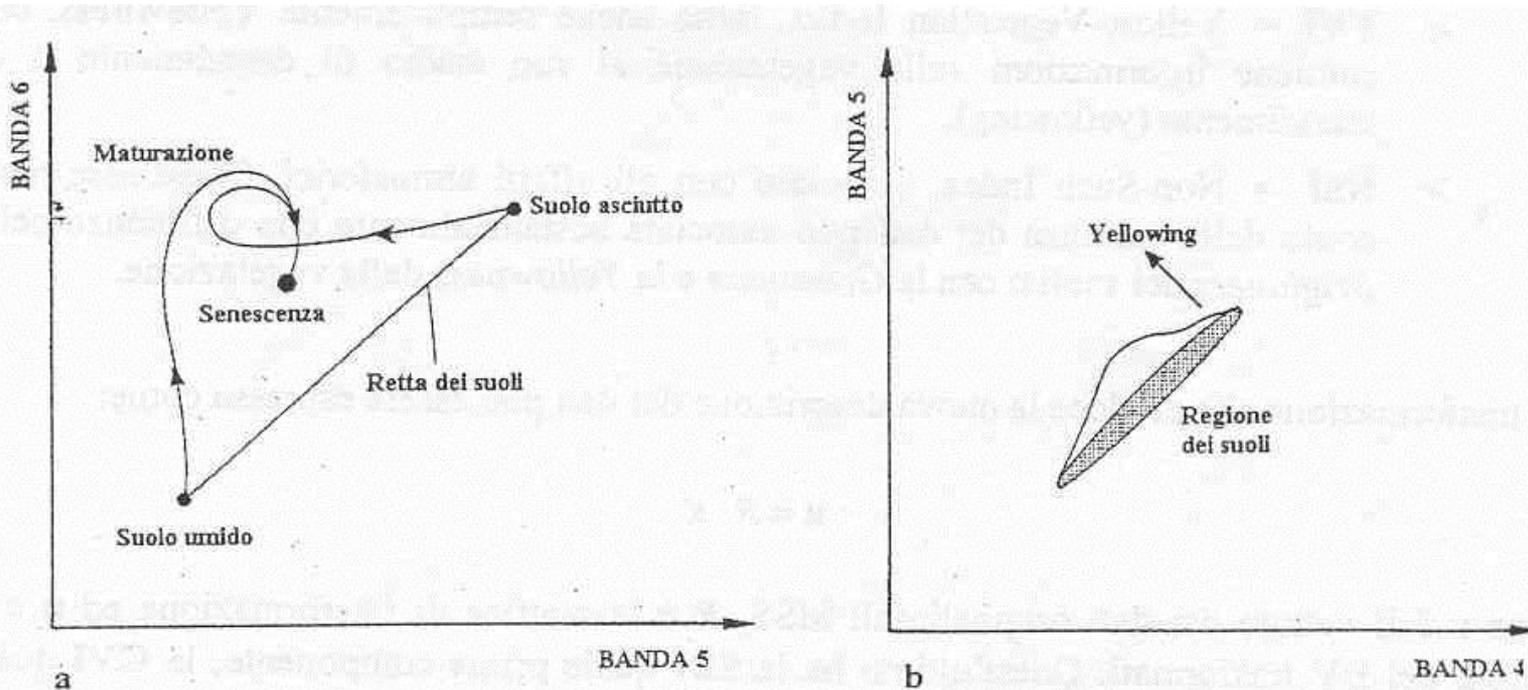


Fig.4.13. Sviluppo di un raccolto nello spazio bidimensionale Banda 6-Banda 5 dell'MSS (a) e nello spazio Banda 5-Banda 4 (b) dello stesso set di dati multispettrali.

B4: 0.5-0.6  $\mu\text{m}$ , 68 m X 83 m;  
B6 0.7-0.8 $\mu\text{m}$  , 68 m X 83 m;

B5 0.6-0.7  $\mu\text{m}$ , 68 m X 83 m;  
B7 0.8-1.1 $\mu\text{m}$ , 68 m X 83 m

# TASSELED CAP

Nello spazio IR-Rosso (MSS6 in funzione di MSS5), le varietà dei tipi di suoli utilizzati per le semine appaiono allinearsi (la retta dei suoli).

La pendenza di tale retta dipende dalle variabili esterne come lo scattering atmosferico e gli effetti del contenuto di umidità nei suoli.

Per ottenere una trasformazione quantitativamente corretta, è necessario tenere conto di questi fattori, correggendo i dati prima di utilizzarli.

# Inviluppo

I due diagrammi (Fig.4.13) possono essere combinati in un unico spazio tridimensionale: gli stadi della crescita del raccolto possono essere descritti da linee il cui inviluppo produce il "cappello con fiocco" (Fig.4.14).

La retta dei suoli di Fig.4.13a è mostrata, in Fig.4.14, come un "piano dei suoli" che forma la base del cappello.

Con lo sviluppo dei raccolti, le loro traiettorie tendono a convergere verso la punta del cappello e quando superano questo stadio di maturazione vanno oltre la punta, verso ciò che viene chiamato "yellowing", ossia l'ingiallimento.

# Inviluppo

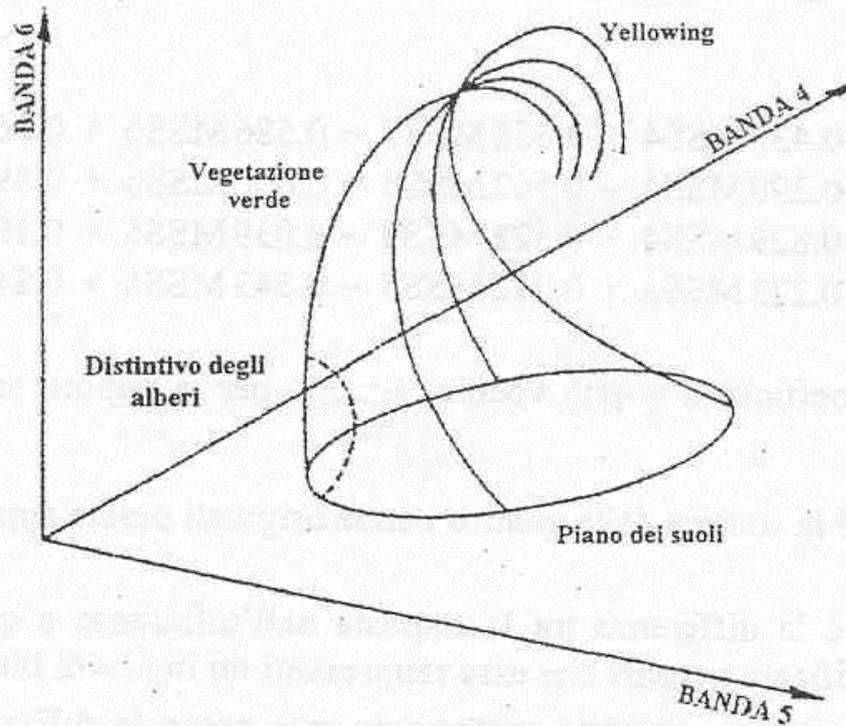


Fig.4.14. Inviluppo delle traiettorie dei prodotti agricoli nello spazio tridimensionale relativo alle Bande 4,5 e 6 dell'MSS avente l'apparenza di un cappello con fiocco.

# TASSELED CAP

Questo comportamento indusse Kauth e Thomas a considerare lo sviluppo di una trasformazione lineare, simile a quella delle "componenti principali", producendo 4 nuovi assi indicati come:

**SBI** = Soil-Brightness Index, detta anche semplicemente **Brightness**, l'indice relativo ai suoli ed al loro contenuto d'umidità.

**GVI** = Green- Vegetation (o Green Stuff) Index, detta anche semplicemente **Greenness**, evidenzia la biomassa (vegetazione verde) presente sui terreni.

# TASSELED CAP

**YVI** = Yellow-Vegetation Index, detta anche semplicemente **Yellowness**, che contiene informazioni sulla vegetazione al suo stadio di decadimento o di inaridimento (yellowing).

**NSI** = Non-Such Index, associato con gli effetti atmosferici.

Quest'asse tiene conto della varianza dei dati non associata sostanzialmente con differenze nella *Brightness* dei suoli o con la *Greenness* e la *Yellowness* della vegetazione

# TASSELED CAP

La trasformazione che produce la nuova descrizione dei dati può essere espressa come:

$$u=R*x$$

dove  $x$  è il vettore dei dati originali dell'MSS,  $R$  è la matrice di trasformazione ed  $u$  è il vettore dei BV trasformati.

Quest'ultimo ha la **SBI** quale prima componente, la **GVI** quale seconda componente e la **YVI** quale terza.

.

# TASSELED CAP

Per una particolare regione agricola Kauth e Thomas scelsero la direzione del primo vettore della trasformazione (quella relativa alla **SBI**), come la retta che meglio approssimava una serie di classi dei suoli.

I successivi vettori vennero generati usando la procedura di ortogonalizzazione di Gram-Schmidt nelle direzioni richieste.

# TASSELED CAP

La matrice di trasformazione generata fu:

$$\text{SBI} = 0.433\text{MSS4} + 0.632\text{MSS5} + 0.586\text{MSS6} + .264\text{MSS7}$$

$$\text{GVI} = -0.290\text{MSS4} - 0.562\text{MSS5} + 0.600\text{MSS6} + 0.491\text{MSS7}$$

$$\text{YVI} = -0.829\text{MSS4} + 0.522\text{MSS5} - 0.039\text{MSS6} + 0.194\text{MSS7}$$

$$\text{NSI} = -0.223\text{MSS4} + 0.012\text{MSS5} - 0.543\text{MSS6} + 0.810\text{MSS7}$$

# TASSELED CAP

Dal confronto fra i coefficienti si ricavava, almeno per la regione investigata da Kauth e Thomas, :

- la *Brightness* è la somma delle quattro bande originali pesate approssimativamente con eguale enfasi;
- la *Greenness* è la differenza tra la risposta nell'infrarosso e quella nel visibile. E', pertanto, giustificato pensare che essa rappresenti un indice di biomassa;
- la *Yellowness* può essere vista sostanzialmente come la differenza tra la banda del rosso e quella del verde dell'MSS.

# TASSELED CAP

In fig. 4.15 un esempio di scatterogramma ottenuto plottando, relativamente alle coperture agricole, la *Greenness* in funzione della *Brightness*.

Il risultato riproduce, in sezione, la forma del "cappello" anzidetto.

Per mostrare il potere discriminante della coppia *Greenness* - *Brightness*, in Fig.4.15b sono riportate le distribuzioni delle altre coperture principali che vanno a disporsi all'esterno del perimetro del "cappe".

# TASSELED CAP

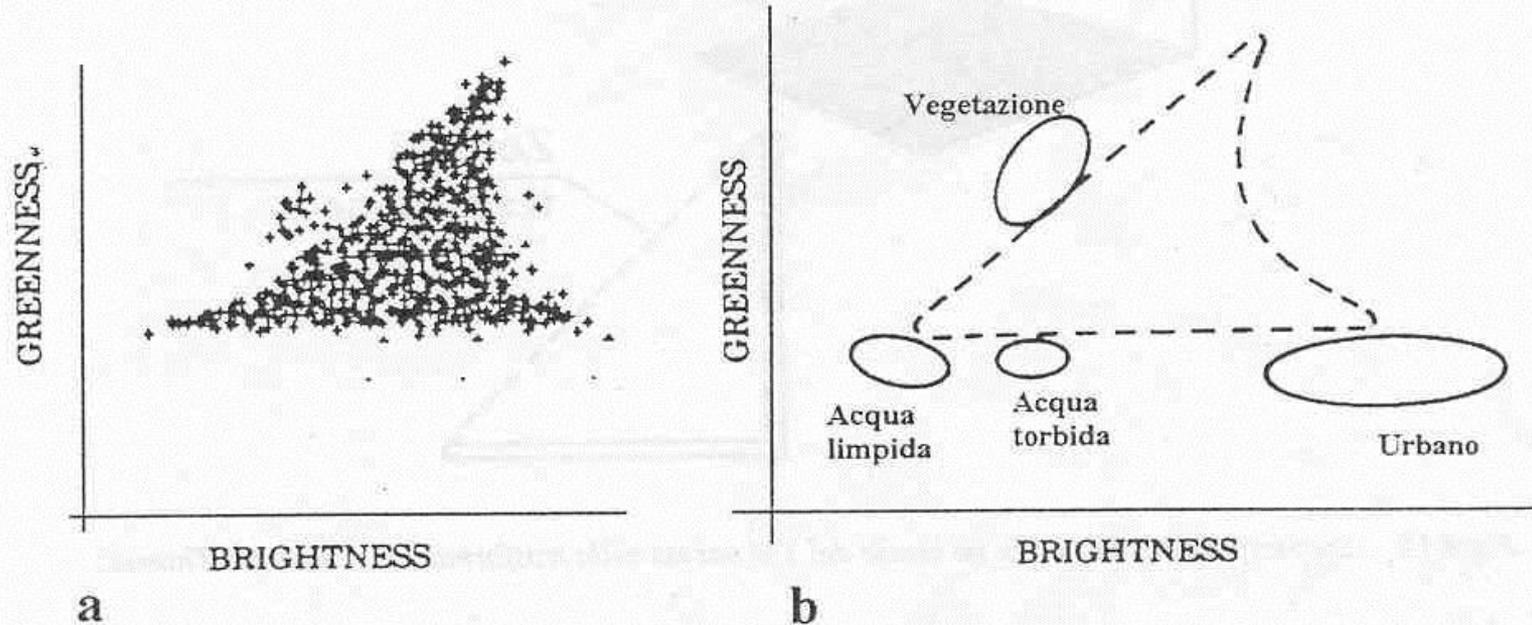


Fig. 4.15. A sinistra un plot reale dei valori di Brightness e di Greenness relativi ad un'area agricola. Notare la forma della distribuzione che assomiglia a quella di un cappello (a). A destra la localizzazione degli altri tipi di coperture nello spazio Brightness-Greenness. La Brightness è fortemente correlata con i suoli scoperti mentre la Greenness è altamente correlata con l'indice di verde delle foglie e con la biomassa (b).

# TASSELED CAP

Il metodo può essere applicato anche ad altri sensori, ma con variante rispetto al modello proposto da Kauth e Thomas.

Ricerche sviluppate negli anni successivi sulle trasformazioni dei dati delle sei bande del TM (escludendo la banda del termico) hanno condotto all'individuazione di uno spazio a tre dimensioni: due piani perpendicolari tra loro, che corrispondono rispettivamente alla *Greenness* a alla *Brightness* descritte per i dati dell'MSS, ed una zona di transizione tra essi (Fig. 4.16):

# TASSELED CAP

Un "piano della vegetazione", definito da aree vegetate, e un "piano dei suoli", nel quale cadono i dati relativi ai suoli scoperti.

Tra essi una zona di transizione: dati con pixel relativi a coperture parzialmente vegetate, ossia con entrambe le coperture (vegetazione e suoli scoperti).

Così, durante il periodo della crescita, un prodotto agricolo dovrebbe iniziare sul piano dei suoli, migrare attraverso la zona di transizione, arrivare al piano della vegetazione e, quindi, ritornare al piano dei suoli durante la stagione di senescenza.

# TASSELED CAP

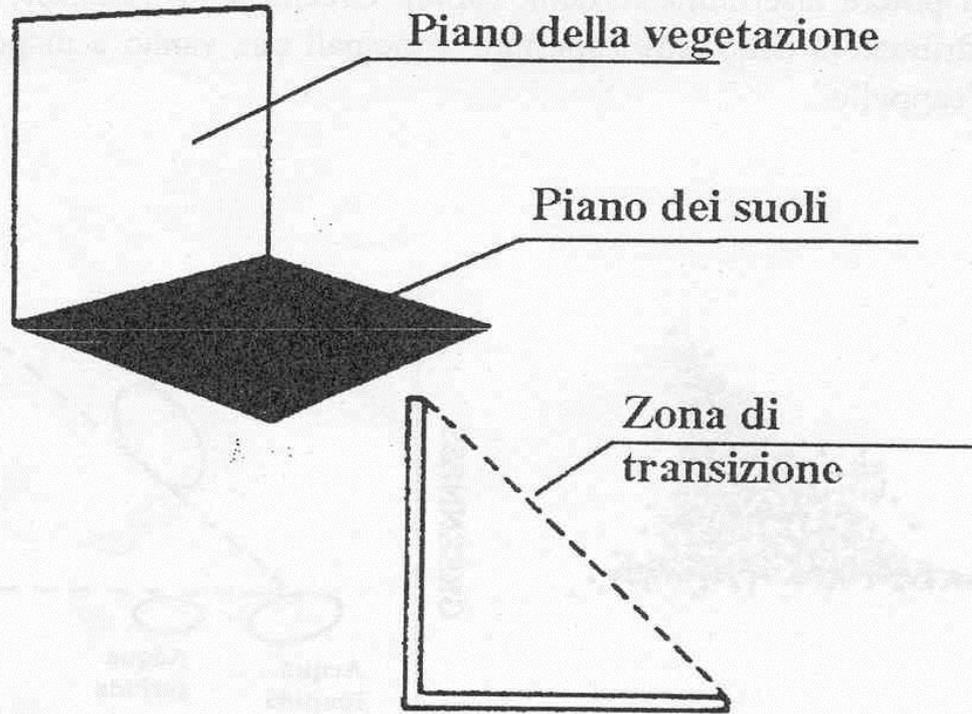


Fig.4.16. Dispersione dei dati delle sei bande del TM basata sulla trasformazione di Kauth-Thomas.

# TASSELED CAP

Wetness (ma talvolta anche Third o Moisture content):  
una terza componente in aggiunta alla Greenness e alla Brightness  
ottenute con le sei bande del TM.

È in relazione alle caratteristiche dei suoli, ed in particolar modo  
alloro stato di umidità. Tabella dei coefficienti di tutte e tre le  
componenti:

| Indice     | TM1      | TM2      | TM3      | TM4     | TM5      | TM7      |
|------------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| Brightness | 0.33183  | 0.33121  | 0.55177  | 0.45214 | 0.48087  | 0.25252  |
| Greenness  | -0.24717 | -0.16263 | -0.40639 | 0.85468 | 0.05493  | -0.11749 |
| Wetness    | 0.13929  | 0.22490  | 0.40359  | 0.25178 | -0.70133 | -0.45732 |

# TASSELED CAP

Le tre componenti vengono utilizzate per produrre una composizione RGB a falsi colori:

“Brightness” sul canale rosso,  
“Greenness” sul canale verde  
“Wetness” sul canale blu

È resa agevole l'individuazione e l'interpretazione delle principali coperture di una scena.

# **PVI (Perpendicular Vegetation Index)**

Questo indice fa uso di un sistema di assi cartesiani ponendo sull'asse x la riflettanza osservata nel rosso e sull'asse y quella osservata nell'infrarosso vicino (Fig.4.17). Ogni pixel avrà, in questo riferimento, una posizione ben precisa.

Nello stesso sistema di riferimento si considera, poi, la "retta dei suoli" compresa tra la posizione che nella scena è occupata dai suoli umidi e quella occupata dai suoli asciutti, così come per la Tasseled Cap.

# PVI (Perpendicular Vegetation Index)

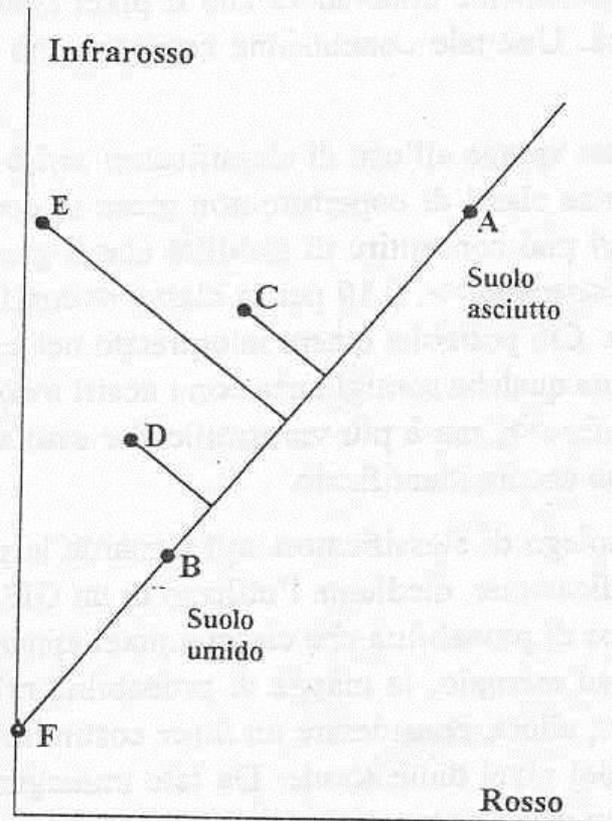


Fig. 4.17. Relazione tra vegetazione e suoli usando l'indice PVI (Perpendicular Vegetation Index). Il punto E si riferisce ad una copertura totalmente vegetata (maggiore distanza dalla retta dei suoli), mentre i punti C e D si riferiscono a coperture parzialmente vegetate, rispettivamente con suoli asciutti e umidi.

# **PVI (Perpendicular Vegetation Index)**

Per ogni pixel l'indice PVI viene calcolato, con dei semplici algoritmi, attraverso la distanza di quel pixel dalla retta dei suoli: maggiore è questa distanza e maggiore sarà la quantità di vegetazione rappresentata da quel pixel.

Due pixel (Fig. 4.17) che presentano la stessa distanza dalla retta dei suoli (ad esempio i punti C e D) saranno caratterizzati dall'avere lo stesso indice PVI ma potranno essere discriminati per il diverso contenuto di umidità del suolo a cui si riferiscono.