



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

Corso di Telerilevamento

Lezione 12

Tecniche di individuazione del cambiamento (change detection)

Claudio Parente
Francesca Guastaferro

Tecniche di individuazione del cambiamento

Con la denominazione anglosassone “**Change Detection**” si indica il processo che identifica le differenze di stato di un oggetto o di un fenomeno, osservandolo in tempi diversi (Singh, 1989).

Nel telerilevamento l’analisi quantitativa della variazione nel tempo della distribuzione spaziale di una componente del territorio e/o dell’ambiente (ad esempio la vegetazione come classe di copertura del suolo) diviene possibile attraverso il confronto di immagini multitemporali.

Tecniche di individuazione del cambiamento

La disponibilità di dati osservati di alta qualità con copertura ripetitiva e ad intervalli brevi rende tali analisi una delle applicazioni più ricorrenti del telerilevamento.

La finalità perseguita è l'estrazione di informazioni in merito alle aree distinguendo tra quelle oggetto di cambiamento e le altre rimaste immutate.

Viene così prodotta una nuova immagine che pone in evidenza particolari aspetti o proprietà che non potrebbero essere enfatizzate se le immagini di partenza fossero considerate singolarmente.

Azioni fondamentali per l'individuazione del cambiamento

Macleod e Congalton nel 1998 elencano quattro azioni fondamentali di Change Detection per il monitoraggio delle risorse naturali:

- rilevare i cambiamenti che si sono verificati;
- identificare la natura del cambiamento;
- misurare l'estensione dell'area del cambiamento;
- valutare la distribuzione spaziale del cambiamento.

Attenzione ai falsi cambiamenti

A causa della variazione della copertura del suolo, le immagini telerilevate acquisite in momenti differenti presentano differenti valori radiometrici per la medesima area.

È tuttavia importante notare che i cambiamenti dei BV (Brightness Values) potrebbero essere riferiti non già a reali trasformazioni, quanto piuttosto ad altri fattori, come, ad esempio, le ombre dovute alla topografia dei luoghi o alla diversa inclinazione dei raggi solari.

Attenzione ai falsi cambiamenti

Infatti, quando si utilizzano immagini acquisite in due o più date, il responso radiometrico del sensore può cambiare nel corso del tempo, a causa di diversi fattori, tra cui:

- cambiamenti di calibrazione del sensore nel tempo;
- differenze di illuminazione e di angoli di osservazione;
- variazioni di effetti atmosferici;
- topografia dei luoghi;
- diverse stagioni di acquisizione delle immagini;
- diverse condizioni meteorologiche;
- diversa copertura di nuvole, neve, pioggia, etc.

Prime elaborazioni

Le immagini telerilevate non possono essere usate direttamente, ma vanno sottoposte preventivamente ad una serie di passaggi di elaborazione prima di effettuare un'analisi del cambiamento.

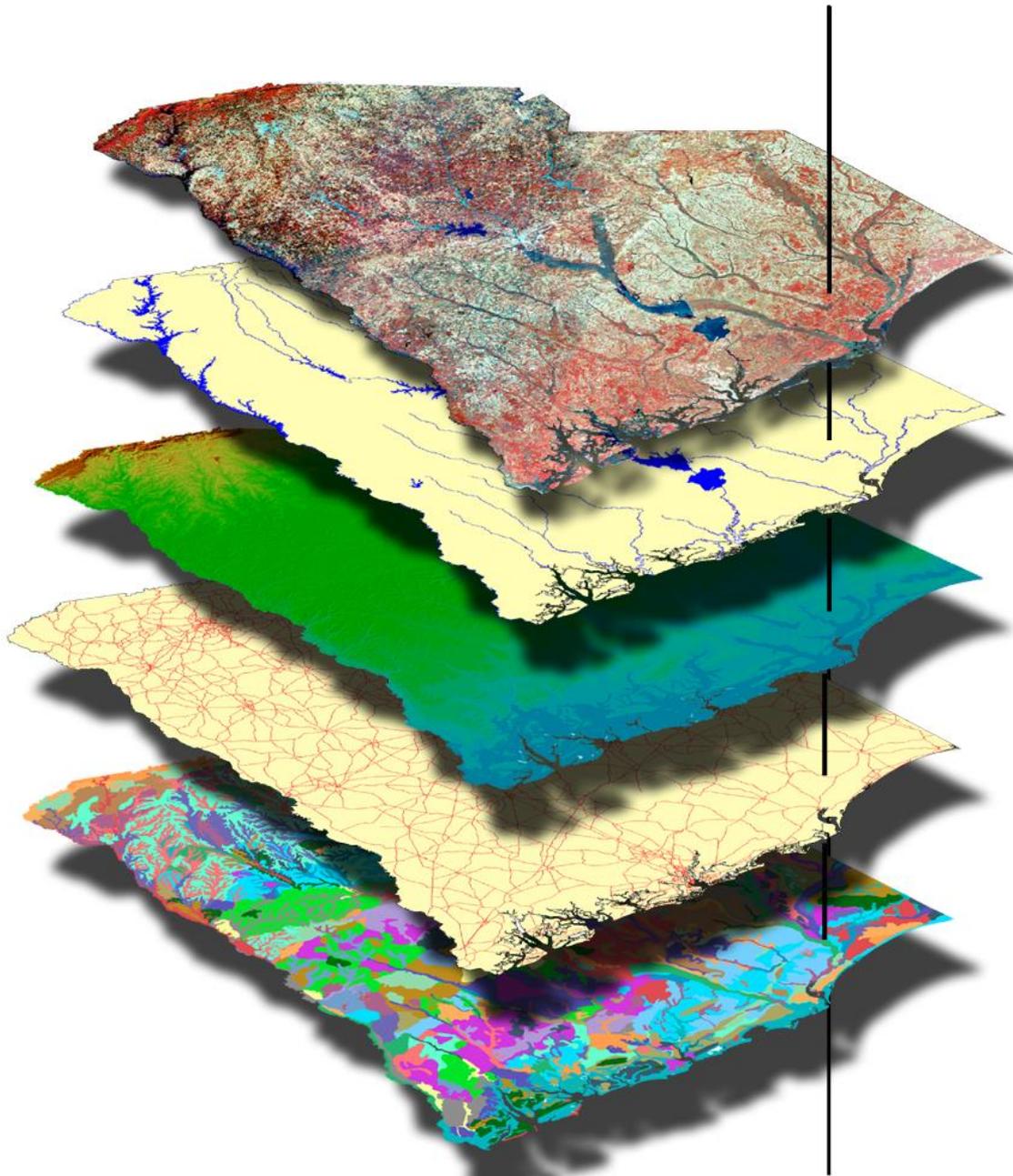
Processi di *correzione radiometrica* permettono di rimuovere o compensare gli effetti sopra indicati, garantendo una maggiore omogeneità dei dati e salvaguardando gli effettivi cambiamenti.

Qualora siano state effettuate tali correzioni, le immagini possono essere considerate come acquisite dallo stesso sensore e nelle stesse condizioni atmosferiche e di illuminazione.

Correzioni geometriche

Oltre ad essere corrette radiometricamente, le immagini debbono essere anche perfettamente sovrapponibili ovvero preventivamente sottoposte a *co-registrazione*.

Se le *correzioni geometriche* non sono state effettuate o se lo sono con accuratezza non adeguata, si individuano estese aree di cambiamento dovute allo spostamento tra le immagini considerate.



Remotely sensed
data used for
change detection
should be
geometrically
rectified

Qualità dipendente dal metodo utilizzato

Oltre che dalle correzioni radiometriche e geometriche, la qualità dei risultati dipenderà anche dalle **caratteristiche** (e complessità) *dell'area in esame* e dai *metodi utilizzati*.

Gli approcci possibili già presenti in letteratura sono molteplici e individuare l'opzione appropriata non è né semplice, né ovvio.

Approcci differenti

La scelta del metodo di analisi dei cambiamenti, infatti, è di rilevante importanza al fine di ottenere risultati pertinenti e significativi.

Alcune tecniche danno come risultato informazioni relative solamente alla distribuzione spaziale delle zone nelle quali sono avvenuti i cambiamenti e non alle classi di copertura del suolo interessate dal cambiamento, dunque non forniscono informazioni qualitative del fenomeno che li ha provocati.

Criteri di classificazione dei metodi

In relazione alla finalità perseguita i metodi di change detection possono essere raggruppati in due grandi categorie:

- individuazione del cambiamento bi-temporale;
- analisi della traiettoria temporale.

Criteri di classificazione dei metodi

Con l'*individuazione del cambiamento bi-temporale* si punta ad individuare le variazioni su una scala temporale costituita da due epoche: si confrontano le situazioni relative a due differenti date a cui corrispondono due immagini che consentono di stabilire il cambiamento intercorso nell'intervallo di tempo tra gli istanti di acquisizione delle stesse.

Con l'*analisi della traiettoria temporale* si vuole determinare l'evoluzione del cambiamento in un intervallo di tempo: in questo caso diventa fondamentale disporre di una serie consistente di immagini relative a più date, se possibile addirittura a cadenza giornaliera.

Criteri di classificazione dei metodi

Dalla stessa distinzione tra le due categorie è evidente che le analisi della traiettoria temporale possono essere considerate come composizione di più individuazioni di cambiamenti bi-temporali.

Prevale al momento l'approccio bitemporale mentre meno diffuso è l'impiego delle analisi della traiettoria temporale.

Criteri di classificazione dei metodi

Se si considerano le modalità operative, i metodi di Change Detection possono essere distinti in due macrocategorie:

- *metodi di confronto diretto* (direct comparison o pre-classification comparison);
- *metodi di confronto post classificazione* (*post-classification comparison*).

Metodi di confronto diretto

I *metodi di confronto diretto* prevedono che la comparazione delle immagini avvenga antecedentemente alla loro classificazione: si realizzano analisi simultanee di dati telerilevati multitemporali non classificati (image-to-image).

Occorre in tal caso conoscere a-priori il criterio con cui interpretare e successivamente elaborare i differenti dati oggetto di analisi.

Metodi di confronto post classificazione

I *metodi di confronto post classificazione* si basano sulla comparazione tra i risultati della classificazione operata sulle immagini: le mappe tematiche prodotte a valle delle classificazioni realizzate indipendentemente per ciascuna immagine sono confrontate tra loro (*map-to-map*).

Tali metodi, ampiamente utilizzati per la loro semplicità, restituiscono una carta tematica di due categorie: le zone cambiate e quelle rimaste invariate. La qualità del risultato dipende dall'accuratezza con cui è stata effettuata la classificazione delle immagini di partenza .

Metodi per l'individuazione del cambiamento

Partendo dalla distinzione prima richiamata, si riportano nelle slide successive le caratteristiche fondamentali delle due suddette macrocategorie, fornendo particolari descrittivi per 5 metodi rientranti in quelli di confronto diretto.

Metodi di confronto diretto

Con il confronto diretto i valori di BV relativi a pixel omologhi di immagini acquisite in istanti diversi vengono comparati mediante operazioni algebriche. Rientrano in questa categoria:

- la differenza tra le immagini (*Image Differencing*);
- il rapporto tra le immagini (*Image Ratio*);
- la regressione delle immagini (*Image Regression*);
- la differenza tra gli indici di vegetazione (*Vegetation Index Differencing, VID*);
- l'analisi del vettore cambiamento (*Change Vector Analysis, CVA*).

Metodi di confronto diretto

Tali *metodi* sono relativamente *semplici da implementare e da interpretare*, ma presentano lo svantaggio della *difficile determinazione dei valori di soglia* che, all'interno dell'istogramma dei valori di BV, consentono di distinguere tra aree modificate e non.

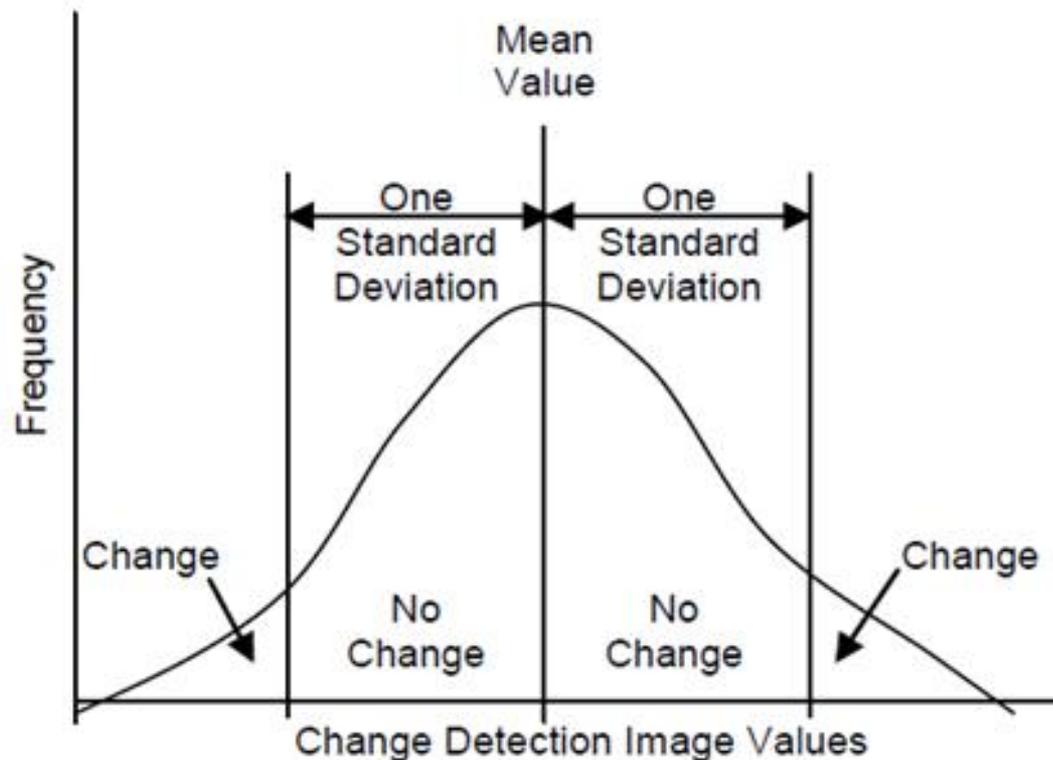
Selezione delle soglie

Per la selezione delle soglie si utilizzano solitamente due metodi:

- l'uno di *tipo interattivo* basato sul settaggio manuale dei valori di soglia da parte dell'operatore che osserva di volta in volta i risultati ottenuti e continua la sua ricerca di valori l'immagine risultante fino a quando non lo soddisfa pienamente;
- l'altro fondato sulla *distanza statistica*, espressa in termini di deviazione standard, dal valore medio.

Selezione delle soglie

Il *metodo fondato sulla distanza statistica* consiste nell'analizzare l'istogramma dell'immagine risultante. Si supponga che le superfici del cambiamento siano limitate rispetto alla totalità dell'immagine.



Selezione delle soglie

In tal caso, i pixels che presentano valori lontani dal valore medio della distribuzione, appartengono, probabilmente, alle aree trasformate.

In altri termini, nell'immagine risultante i pixels relativi al *non cambiamento (no change)* sono distribuiti intorno al valore medio, quelli del *cambiamento (change)* sono collocati nelle code della distribuzione.

Selezione delle soglie

Il problema fondamentale è la definizione delle soglie di BV che separano i pixel del cambiamento da quelli del non cambiamento. Nell'ipotesi della distribuzione gaussiana, i valori di soglia sono definiti da:

$$X_m \pm n\sigma$$

Selezione delle soglie

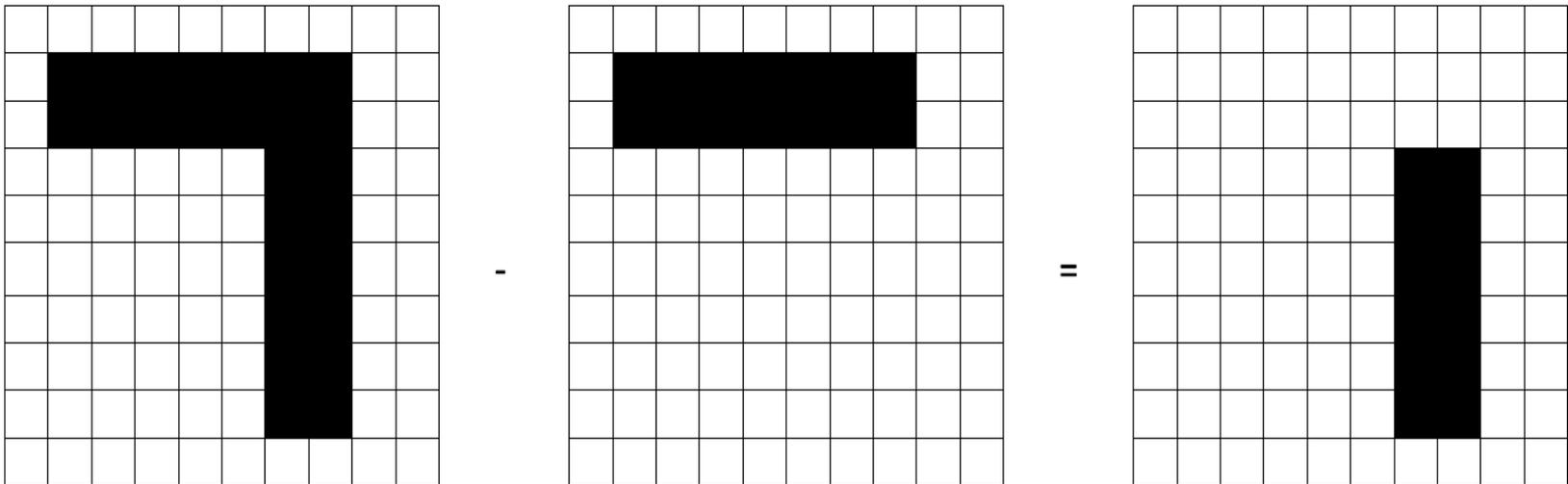
Gli approcci al problema presenti in letteratura sono molteplici.

Nel 1999 Mas (Mas, 1999) propone un metodo empirico per stabilire i valori soglia relativamente a variazioni delle coperture del suolo con l'ausilio di immagini Landsat MSS (Multi Spectral Scanner).

In particolare propone di calcolare le *soglie a partire dal valore medio x_m* dei valori di radianza delle immagini risultanti dal confronto diretto e procedendo *con passi da 0,25 volte la deviazione standard σ nel range $x_m \pm 2\sigma$* .

Metodo delle differenze

Il *metodo delle differenze*, tra i più utilizzati per l'individuazione del cambiamento, prevede che ai BV di un'immagine acquisita in una determinata data vengano sottratti i corrispondenti valori di un'altra immagine relativa ad un'altra data.



Metodo delle differenze

Nell'immagine differenza, i pixel, se relativi al non cambiamento hanno valore "0" ovvero prossimi a zero, altrimenti valori positivi o negativi differenti o comunque non prossimi a zero; gli istogrammi risulteranno diversi per ogni banda.

Per evitare valori negativi si applica la formula:

$$Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) + C \quad [2]$$

dove risulta:

Dx_{ij}^k è il valore del pixel ij /risultante;

$x_{ij}^k(t_2)$ e $x_{ij}^k(t_1)$ rappresentano il valore del pixel ij iniziale della k -esima banda, rispettivamente, all'istante t_1 e t_2 ;

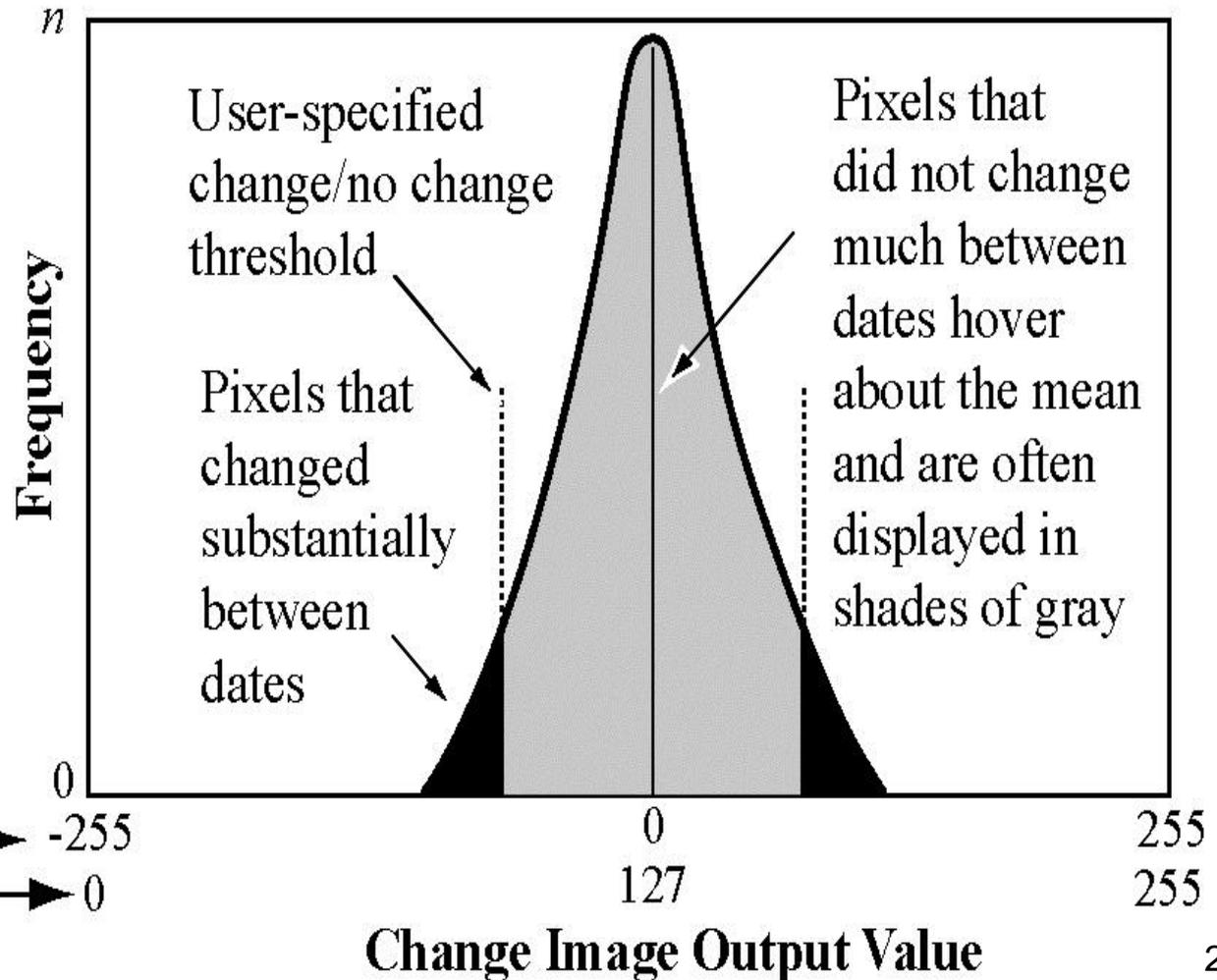
C , è una costante utilizzata per rendere positivi i DN risultanti.

Metodo delle differenze

Ad esempio nelle immagini ad 8 bit (BV da 0 a 255), il range dei valori differenza sarebbe compreso tra -255 e 255; l'aggiunta della *costante* $C=min$ garantisce tutti i valori positivi.

Poiché il valore zero relativo al non cambiamento concerne una situazione ideale, nella pratica sorge il problema della determinazione della soglia di separazione affrontabile secondo quanto detto nelle slide precedenti.

Image Differencing Change Detection: Scaling Alternatives and Placement of User-specified Thresholds in the Change Image Histogram



Metodo del rapporto

Il *metodo del rapporto tra immagini* (Image Ratio), anch'esso molto utilizzato per la determinazione del cambiamento, calcola il rapporto tra i valori di riflettanza di pixel corrispondenti relativi a due immagini acquisite in date differenti.

Come per il metodo delle differenze, anche qui occorre definire un valore di soglia per l'identificazione del cambiamento.

Metodo del rapporto

Considerate due immagini della stessa zona e acquisite nello stesso range di lunghezza d'onda ed in tempi diversi (t_1 e t_2), una volta registrate e corrette radiometricamente, si può scrivere:

$$Rx_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k(t_1)}{x_{ij}^k(t_2)} \quad [3]$$

dove:

Dx_{ij}^k è il valore del pixel ij risultante;

$x_{ij}^k(t_2)$ e $x_{ij}^k(t_1)$ rappresentano il valore del pixel ij , rispettivamente, all'istante t_1 e all'istante t_2 .

Metodo del rapporto

Tale rapporto risulta pari ad 1 in caso di non cambiamento; si hanno valori maggiori o minori di 1 in relazione alla natura dei cambiamenti.

Per evitare forme indefinite, ai valori di radianza dell'immagine 2 (cioè quella presente al denominatore della suddetta formula) viene aggiunto un valore molto piccolo oppure si sostituisce direttamente tale valore allo zero.

Regressione delle immagini

Tale metodo parte dall'assunto che i valori dei pixel dell'immagine relativa all'istante t_2 siano correlati linearmente ai corrispondenti dell'immagine acquisita all'istante t_1 .

Pertanto dapprima si stabiliscono quali sono le relazioni tra le immagini bitemporali, poi, partendo dalla prima immagine, si determinano i valori dei pixel della seconda mediante l'uso di una funzione di regressione, quindi si calcola la differenza tra l'immagine realmente acquisita nell'istante 2 e quella derivata.

Regressione delle immagini

In definitiva si applicano le formule:

$$I_{2reg} = aI_1 + b \quad [4]$$

$$I_{change} = I_{2reg} - I_2 \quad [5]$$

dove,

I_{2reg} è la corrispondente dell'immagine 2 ottenuta mediante regressione lineare;

I_1 è l'immagine acquisita all'istante t_1 ;

I_{change} è l'immagine del cambiamento.

Differenza tra gli indici di vegetazione (Vegetation Index Differencing, VID)

Si procede come nel metodo delle differenze, utilizzando le immagini risultanti dall'applicazione di uno degli indici di vegetazione.

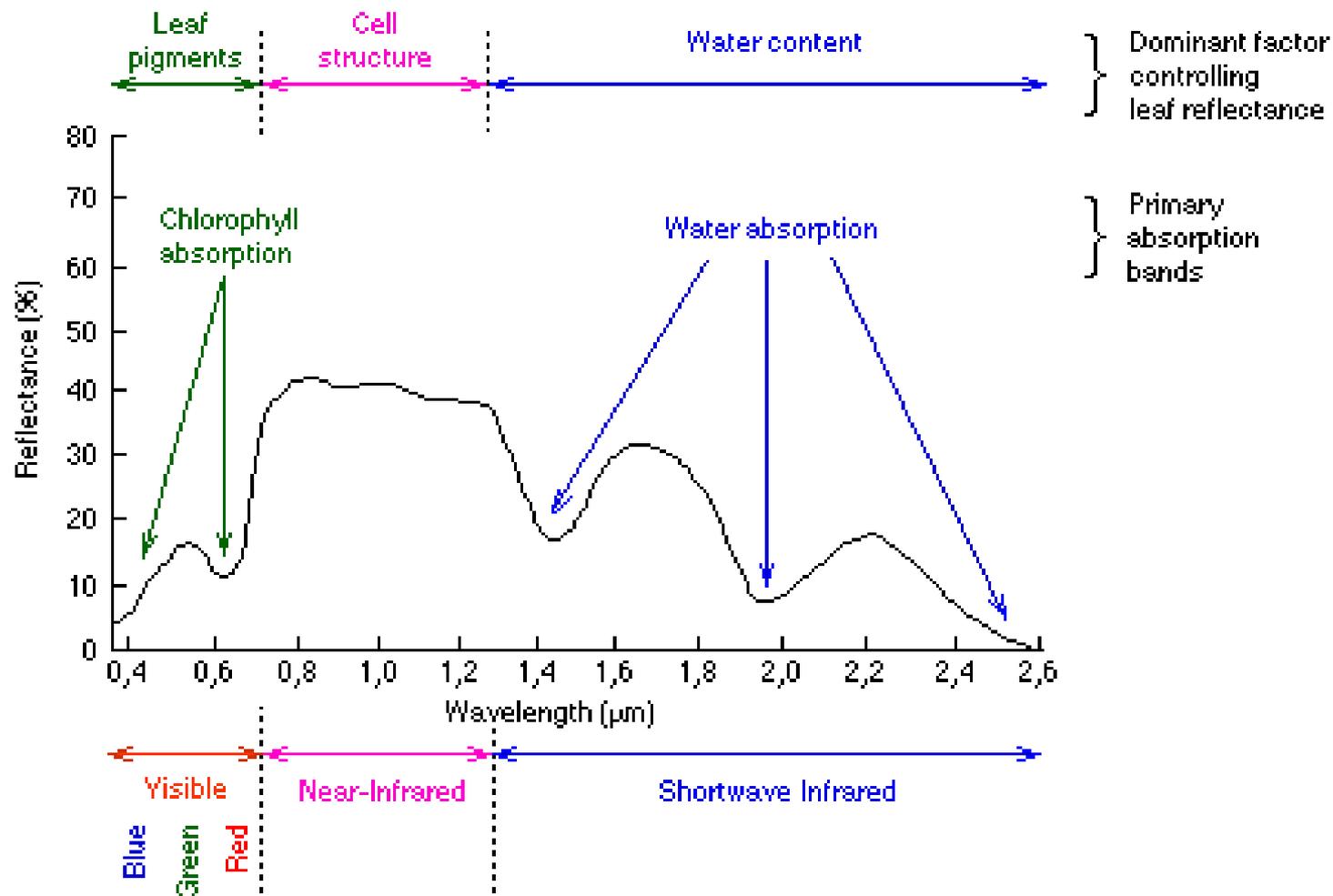
Ad esempio, si possono utilizzare:

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index);

NBR (Normalized Burn Ratio).

Il primo indice è stato ampiamente trattato nelle precedenti lezioni.

Firma spettrale della Vegetazione



Si riporta nuovamente la firma spettrale della vegetazione per richiamare le caratteristiche della stessa in termini di riflettanza.

NBR (Normalized Burn Ratio)

NBR (Normalized Burn Ratio) è un indice relativo al contenuto d'acqua delle piante.

Permette di rilevare la presenza di vegetazione bruciata. Si basa sul principio che in un'area incendiata si osserva una diminuzione della riflettanza del NIR con un aumento della riflettanza dell'infrarosso medio.

$$-1 < NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} < 1$$

SWIR = Short Wavelength Infrared

Nel Landsat 7 ETM+ ci sono due bande SWIR:

SWIR 1 = banda 5

SWIR 2 = banda 7

NBR (Normalized Burn Ratio)

$$-1 < NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} < 1$$

Valori tipici dell' indice NBR:

- alti valori per la vegetazione
- valori negativi o prossimi allo zero per la non vegetazione

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)

Il metodo dell'*Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)* coinvolge contemporaneamente le immagini relative a più bande (multispettrali o iper-spettrali), sempre riferite a due istanti temporali.

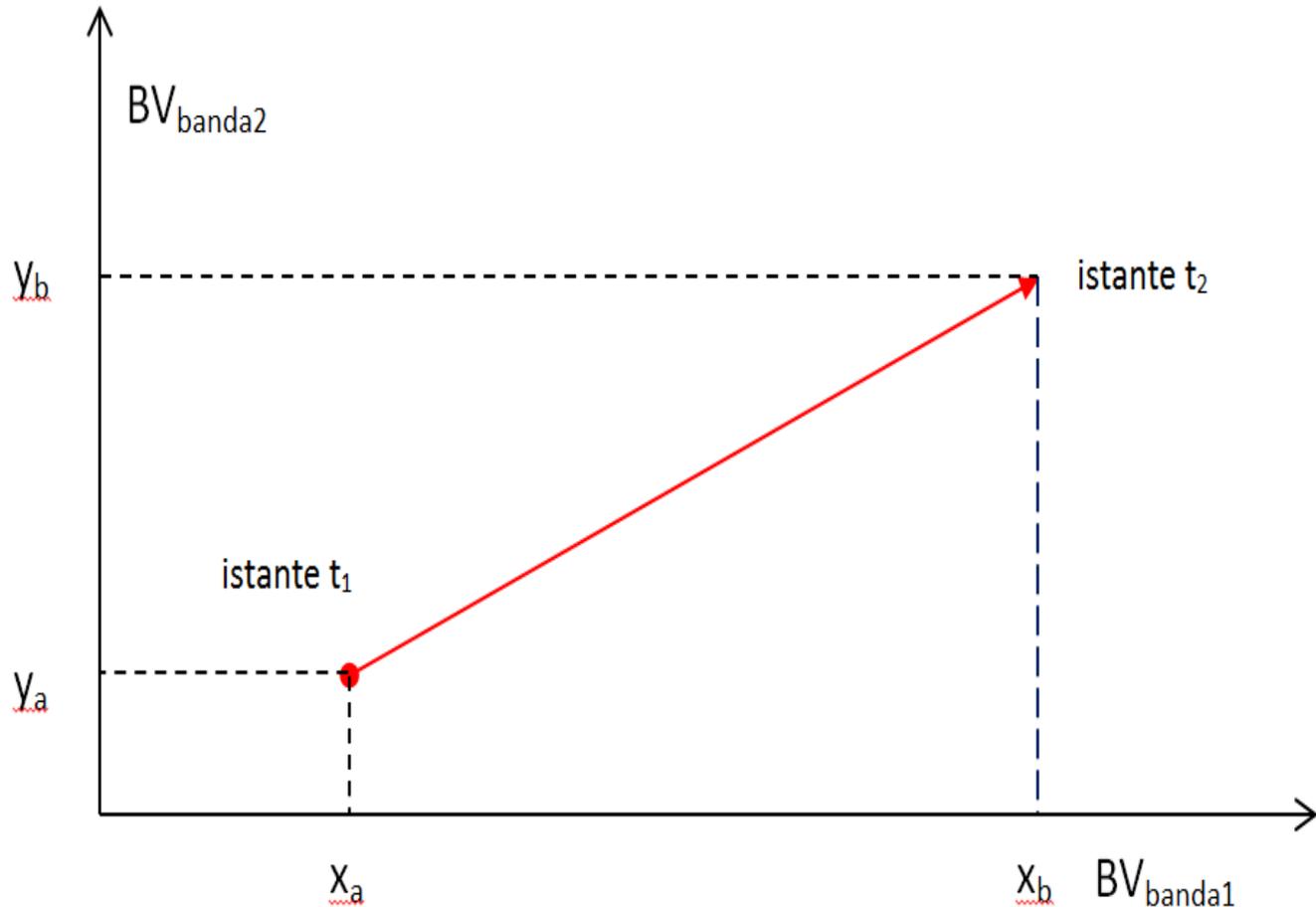
Se N è il numero delle bande considerate si ricorre ad uno spazio ad N dimensioni dove ciascun asse è relativo ai valori di radianza registrati per ciascuna banda.

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)

Per ogni pixel ci sono 2 punti di rappresentazione, ciascuno relativo ad uno dei due istanti considerati e avente per coordinate i valori di radianza corrispondenti a ciascuna banda.

Il *vettore del cambiamento* (*Spectral Change Vector, SCV*), relativo cioè alle variazioni, è dato dalla congiungente dei punti Pt1 e Pt2.

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)



Vettore del cambiamento (in rosso) ottenuto da due immagini acquisite negli istanti t_1 e t_2 in 2 bande.

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)

Il vettore del cambiamento è caratterizzato da:

- *un modulo (Change Magnitude, CM)*, calcolato mediante la formula della distanza euclidea tra i 2 punti rappresentati nello spazio N – dimensionale, indicatore dell'intensità del cambiamento;
- *una direzione (Change Direction, CD)*, fornito dall'angolo (θ) tra la congiungente Pt1 e Pt2, indicatore del tipo di cambiamento.

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)

Inizialmente la CVA venne sviluppata presso l'Environmental Research Institute del Michigan alla fine del 1970 per due soli componenti spettrali:

Brightness (un indicatore della riflettanza globale);

Greenness (un indicatore della vegetazione),

Entrambe sono componenti utilizzate per la trasformazione Tasseled Cap (Kauth e Thomas, 1976; Crist e Kauth, 1986) e sono state oggetto di una precedente lezione.

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)

In generale, considerando lo spazio bidimensionale (quindi due componenti ovvero 2 bande spettrali) nel tempo t_1 e t_2 modulo e direzione del vettore sono forniti dalle seguenti formule:

$$CM = \sqrt{(y_b - y_a)^2 + (x_b - x_a)^2} \quad \text{Change Magnitude}$$

$$tg \theta = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \quad \text{Change Direction}$$

dove risulta:

x_a = valore di BV - Banda 1 – istante t_1 ,

x_b = valore di BV - Banda 1 – istante t_2 ,

y_a = valore di BV - Banda 2 – istante t_1 ,

y_b = valore di BV - Banda 2 – istante t_2 ,

Analisi del vettore cambiamento (Change Vector Analysis)

Per un numero maggiore di bande spettrali si utilizza la formula:

$$CM = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i^{t_1} - X_i^{t_2})^2}$$

Metodi di confronto post classificazione

I *metodi di confronto post classificazione* si basano sulla comparazione tra le carte tematiche ottenute da immagini multi-temporali.

Per tutti essi l'approccio che viene adottato è simile, cambia solo il metodo di classificazione utilizzato che, come è noto, può essere di tipo supervisionato o non supervisionato.

Metodi di confronto post classificazione

A differenza di quanto avviene nel caso del confronto diretto, le immagini *non necessitano di correzioni radiometriche* poiché la comparazione è effettuata non tra i valori di BV quanto tra le classi di appartenenza dei pixel corrispondenti.

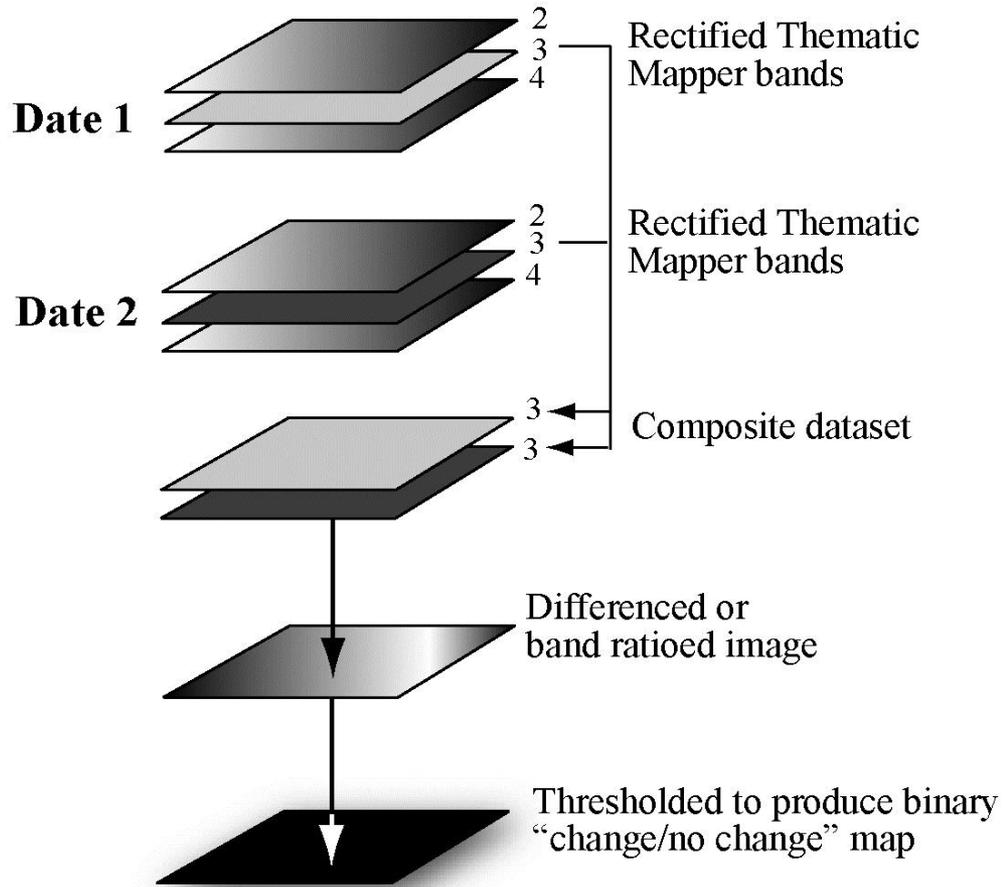
Il *vantaggio* principale di tali metodi è insito nella possibilità non solo di *rilevare il cambiamento (entità e localizzazione)*, ma anche la *tipologia (variazione della classe* come, ad esempio, del tipo di copertura del suolo).

Metodi di confronto post classificazione

Uno degli svantaggi principali di tali metodi è nella *dipendenza dei risultati dall'accuratezza della classificazione* eseguita:

quanto più risulta elevato il livello di qualità tematica della distinzione in classi, tanto più è affidabile l'individuazione della localizzazione, entità e tipologia del cambiamento.

Image Algebra Change Detection



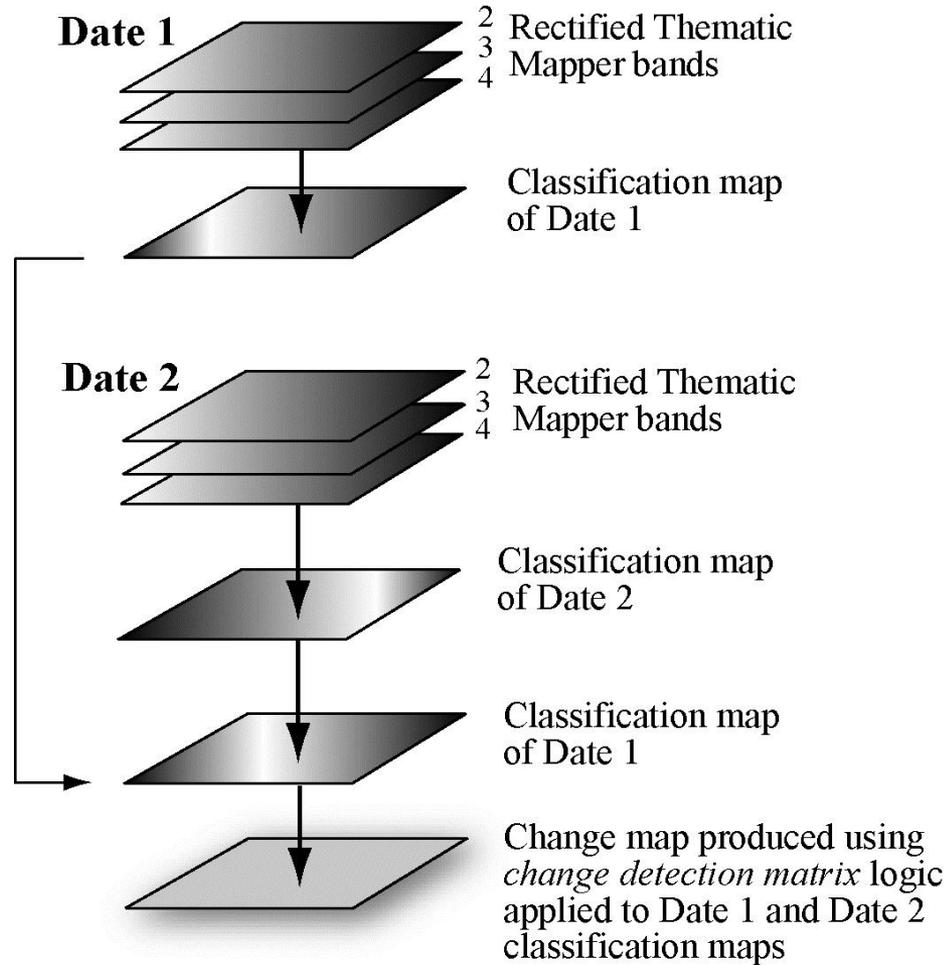
Advantages

- * Normally does not require atmospheric correction
- * Efficient method of identifying pixels that have changed in brightness value between dates

Disadvantages

- * No "from-to" change information available
- * Requires careful selection of the "change/no change" threshold

Post-classification Comparison Change Detection



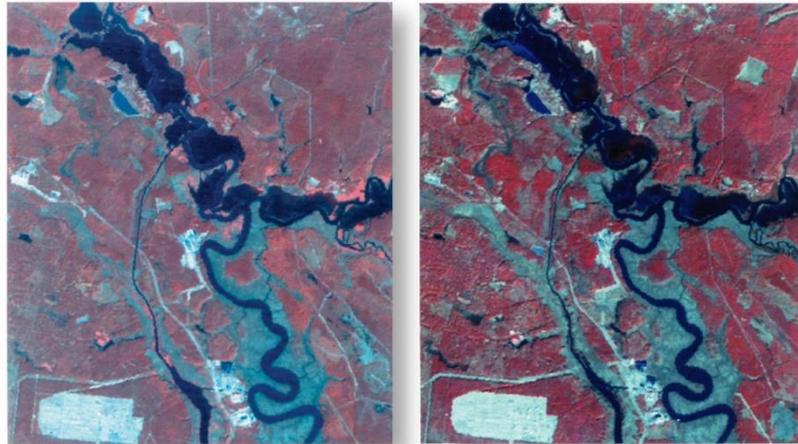
Advantages

- * Does not require atmospheric correction
- * Provides “from-to” change class information
- * Next base year map is already completed

Disadvantages

- * Dependent on accuracy of individual date classifications
- * Requires two separate classifications

Landsat Thematic Mapper Color-infrared Color Composites of Kittredge and Fort Moultrie, SC



a. Kittredge, SC, on November 9, 1982.

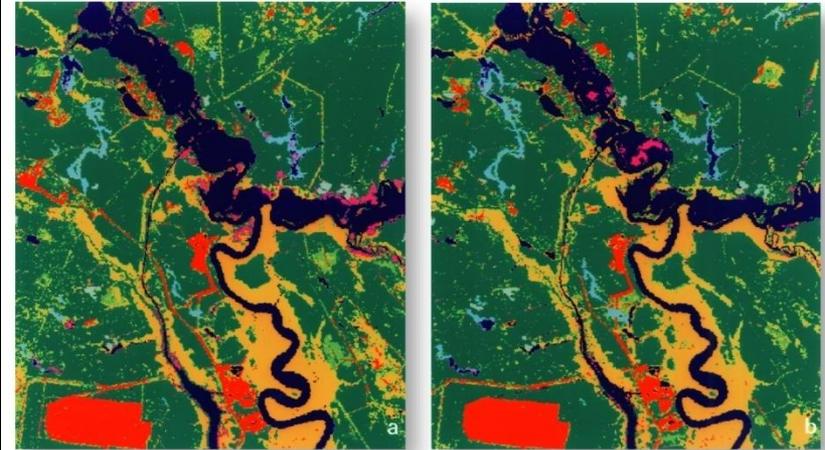
b. Kittredge, SC, on December 19, 1988.



c. Fort Moultrie, SC, on November 9, 1982.

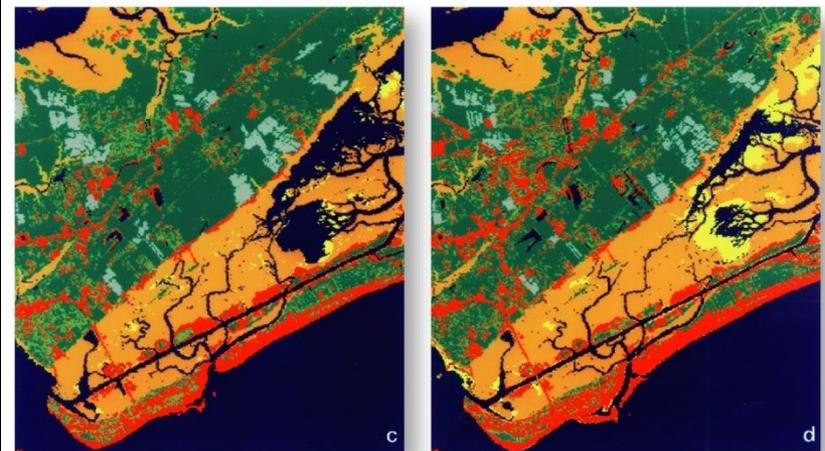
d. Fort Moultrie, SC, on December 19, 1988.

Land Cover Classification of Kittredge and Fort Moultrie, SC, Using Landsat Thematic Mapper Data



a. Kittredge, SC, on November 9, 1982.

b. Kittredge, SC, on December 19, 1988.



c. Fort Moultrie, SC, on November 9, 1982.

d. Fort Moultrie, SC, on December 19, 1988.

Legend

	Developed/Exposed Land		Estuarine Emergent Wetland
	Cultivated Land		Riverine Aquatic Beds
	Grassland		Palustrine Forested Wetland
	Upland Forest		Water
			Estuarine Unconsolidated Bottom

Compare classifications from each date to look for change

Accuratezza dei risultati

Qualunque sia il metodo utilizzato, la mappa dei cambiamenti e dei non cambiamenti presenta un livello di accuratezza tematica inteso come veridicità dei risultati raggiunti.

Nel caso in cui si sia applicato un metodo di post-classificazione, il livello conseguito dipende dall'accuratezza delle classificazioni applicate alle due o più immagini della serie temporale considerata.

Il concetto di accuratezza della classificazione è stato già trattato precedentemente e può essere esteso alle applicazioni di Change Detection.

Accuratezza dei risultati

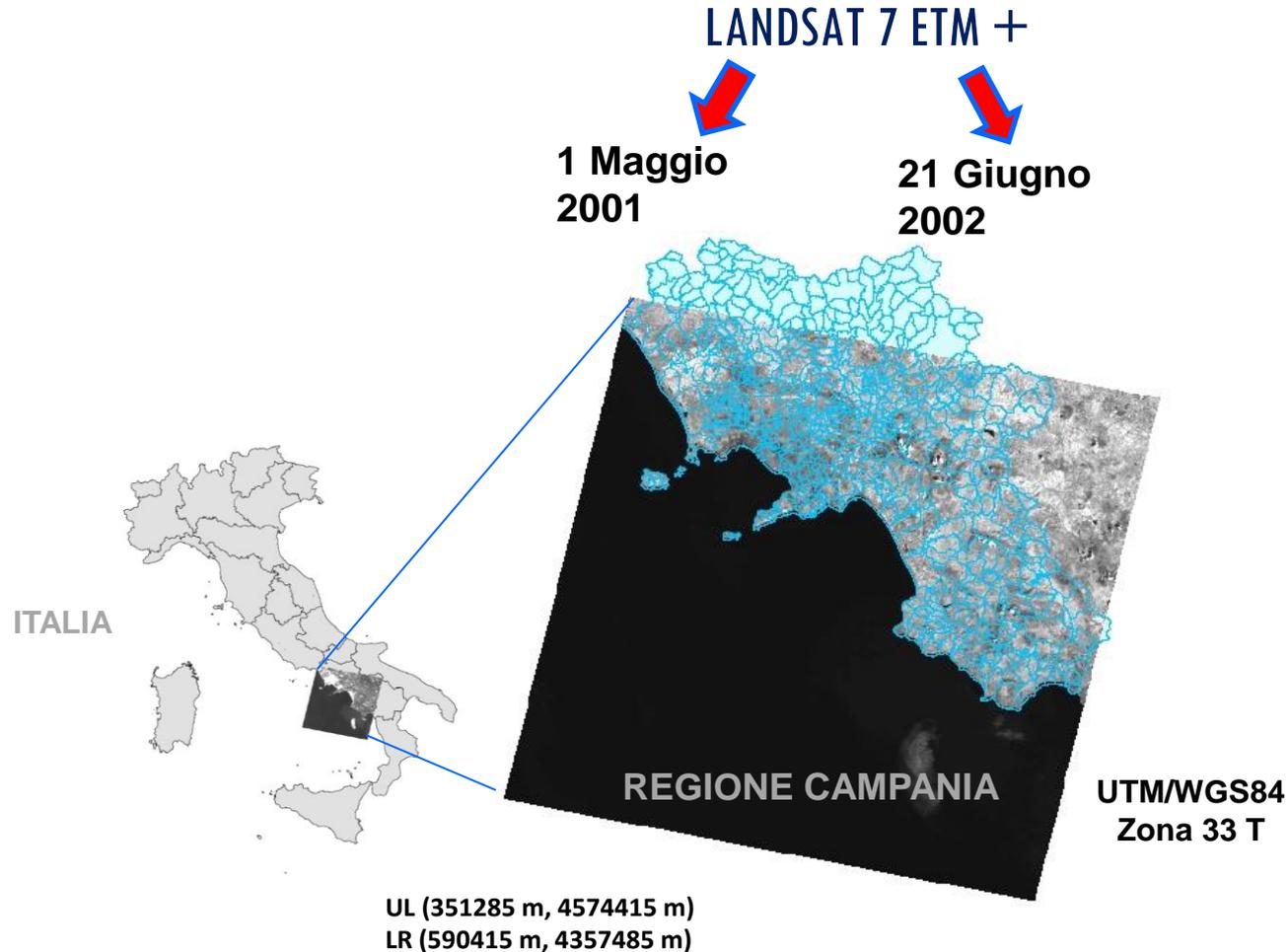
Per stabilire l'accuratezza dei risultati dell'applicazione di una delle tecniche di Change Detection, si procede con le stesse modalità di cui alla precedente lezione, considerando il caso in esame come una classificazione in 2 classi:

- cambiamento;
- non cambiamento.

Pertanto si procede all'individuazione di test sites che sono dunque relativi alle solo due classi menzionate: la matrice di confusione diviene 2×2 e formule e definizioni dei diversi indici (PA; UA; OA) rimangono invariate.

CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare - Incendi



CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare - Incendi

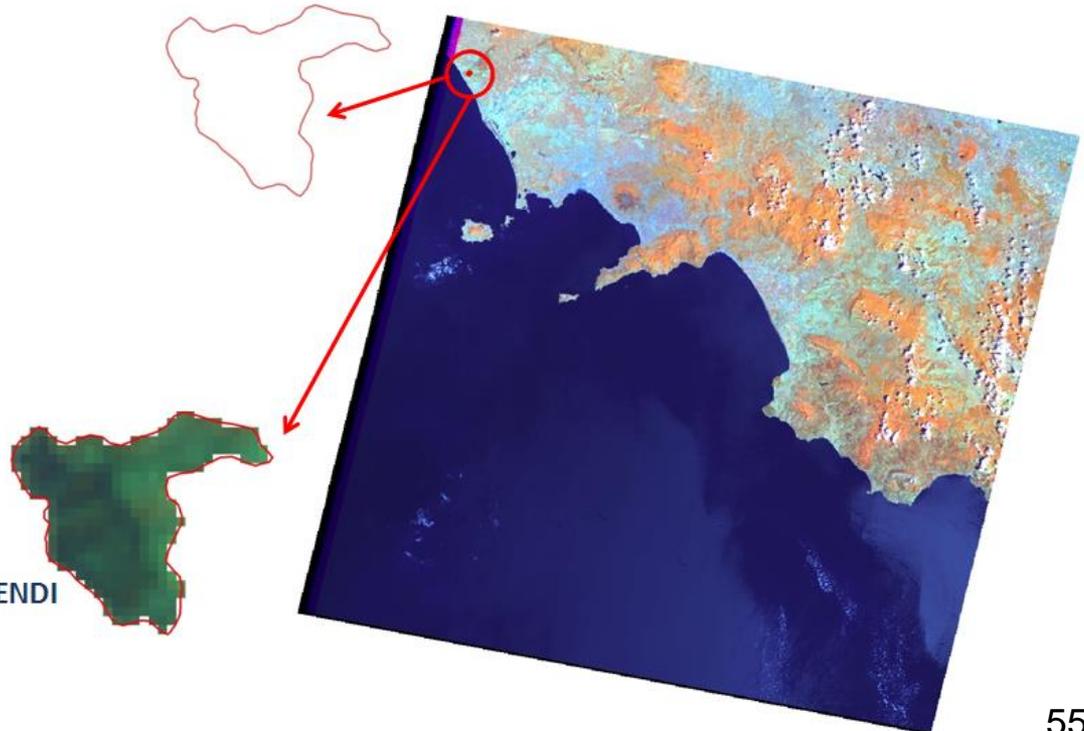
CATASTO INCENDI

INCENDI	
COMUNE	DATA INCENDI
ASCEA - PISCIOTTA (SA)	04/05/2002
CHIANCHE (AV)	16/06/2002
S. NICOLA MANFREDI (BN)	16/06/2002
SALENTO (SA)	23/05/2002
SESSA AURUNCA	20/06/2002

RGB 453

 AREE PERCORSE DA INCENDI

 VEGETAZIONE SANA



CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare - Incendi

Δ NDVI

$$\Delta_{\text{NDVI}} = (\text{NDVI}_{\text{post}} - \text{NDVI}_{\text{pre}})$$

 CAMBIATO
 NON CAMBIATO

**Incendio
Sessa Aurunca
20/06/2002**

	User's accuracy	Producer's Accuracy	Overall Accuracy
BRUCIATO	0.96	0.75	0.88
Non BRUCIATO	0.85	0.97	

Un'area incendiata ottenuta mediante Δ NDVI applicato ad immagini originali (30 m x 30 m)

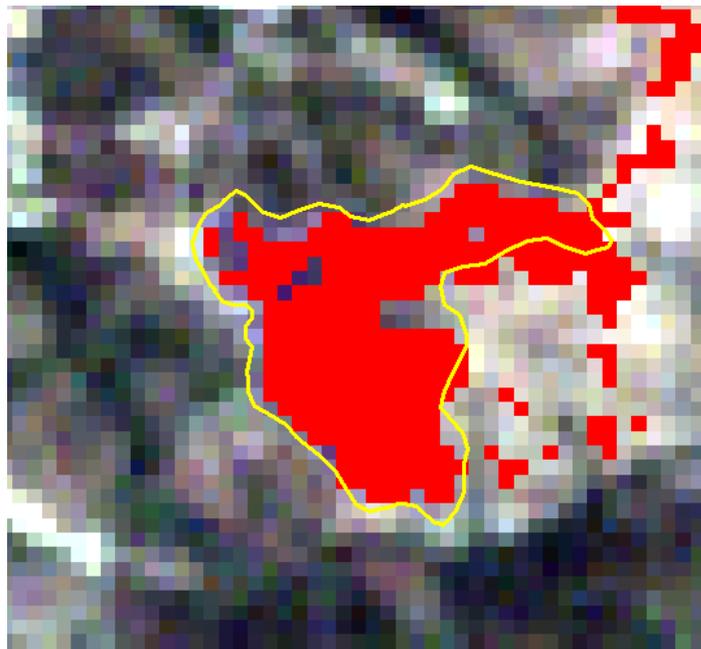
Il metodo Δ NDVI risulta, tra varie tecniche di Change Detection, il più accurato per la separazione dei dati in 2 classi di distribuzione, zone di "cambiamento" e zone di "non cambiamento".

CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare - Incendi

ΔNBR

$$\Delta NBR = (NBR_{post} - NBR_{pre})$$



**Incendio
Sessa Aurunca
20/06/2002**

	User's accuracy	Producer's Accuracy	Overall Accuracy
BRUCIATO	0.93	0.73	0.80
Non BRUCIATO	0.69	0.92	

Un'area incendiata ottenuta mediante ΔNBR applicato ad immagini originali (30 m x 30 m)

CASI STUDIO

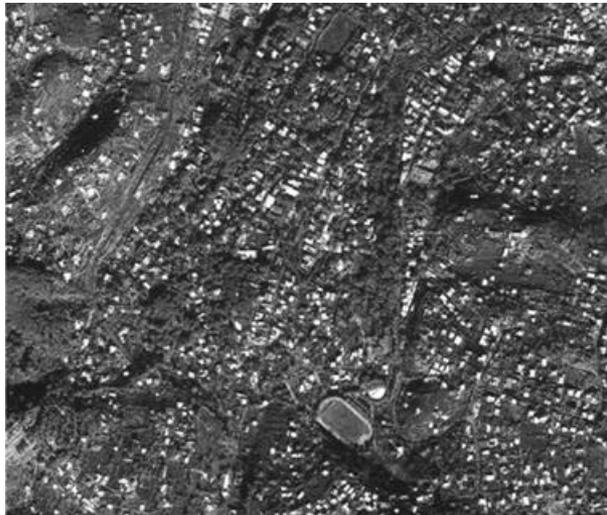
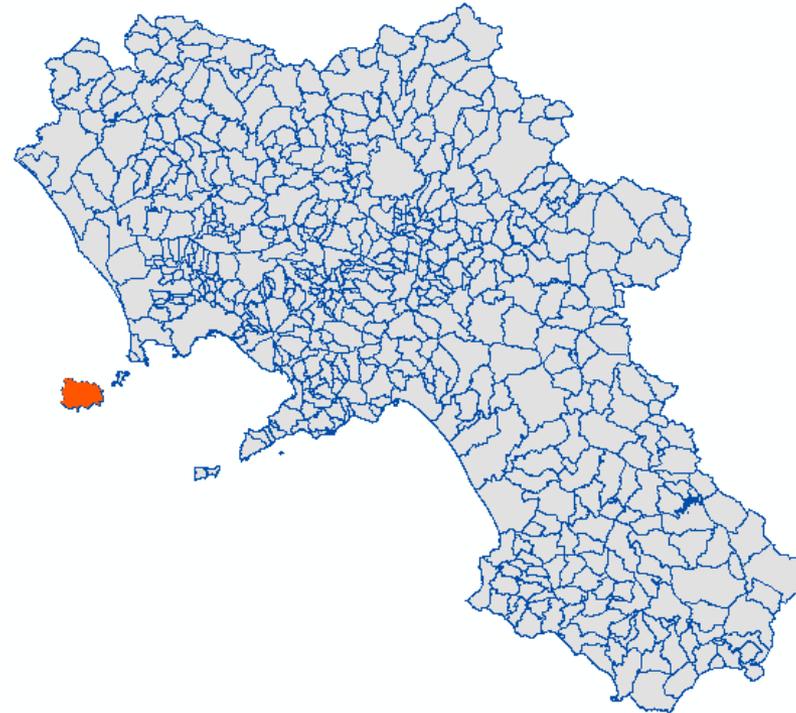
- **Monitoraggio Satellitare : Monitoraggio satellitare dell'abusivismo edilizio**

F. Guastafarro, P. Maglione, C. Parente, R. Santamaria. Convegno Nazionale SIFET 2011, Portonovo (AN), 21-24 Giugno 2011



Ortofoto RGB Regione Campania (1998)

**CHANGE DETECTION
(metodo delle differenze)**



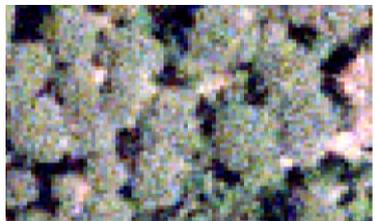
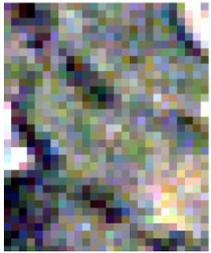
Ikonos 2 (2005)

CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare : Monitoraggio satellitare dell'abusivismo edilizio

F. Guastafarro, P. Maglione, C. Parente, R. Santamaria. Convegno Nazionale SIFET 2011, Portonovo (AN), 21-24 Giugno 2011

PRIMA (1998)

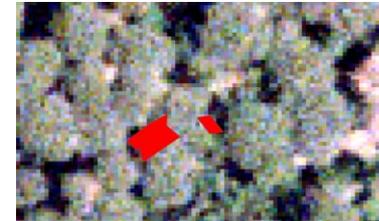
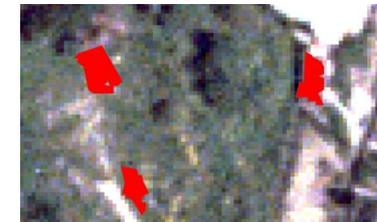
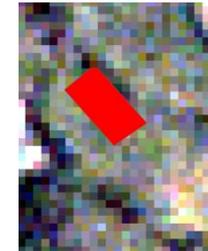


DOPO (2005)



RISULTATO

Area rilevata dalla CHANGE DETECTION



CASI STUDIO

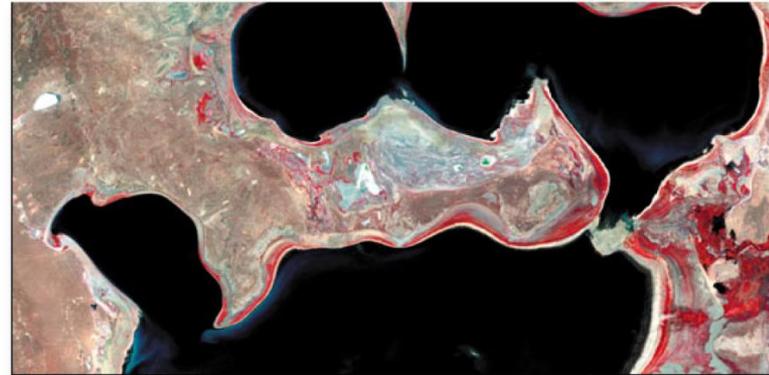
- Monitoraggio Satellitare
Restringimento del lago d'ARAL

Confronto tra immagini
per individuare le
trasformazioni territoriali

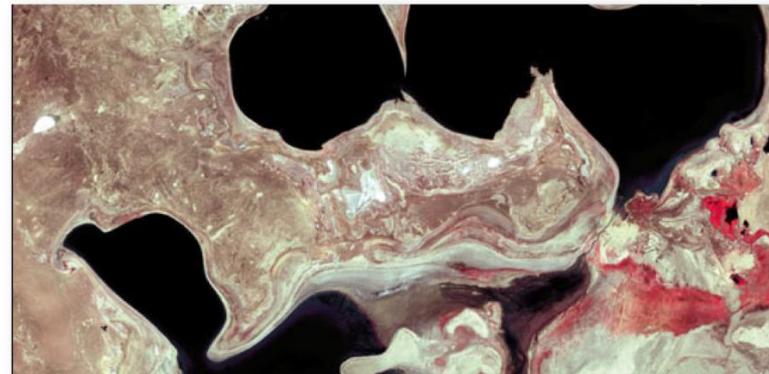
Drawdown of the Aral Sea, Kazakhstan, from 1973 to 2000



a. Landsat MSS image obtained on May 29, 1973.



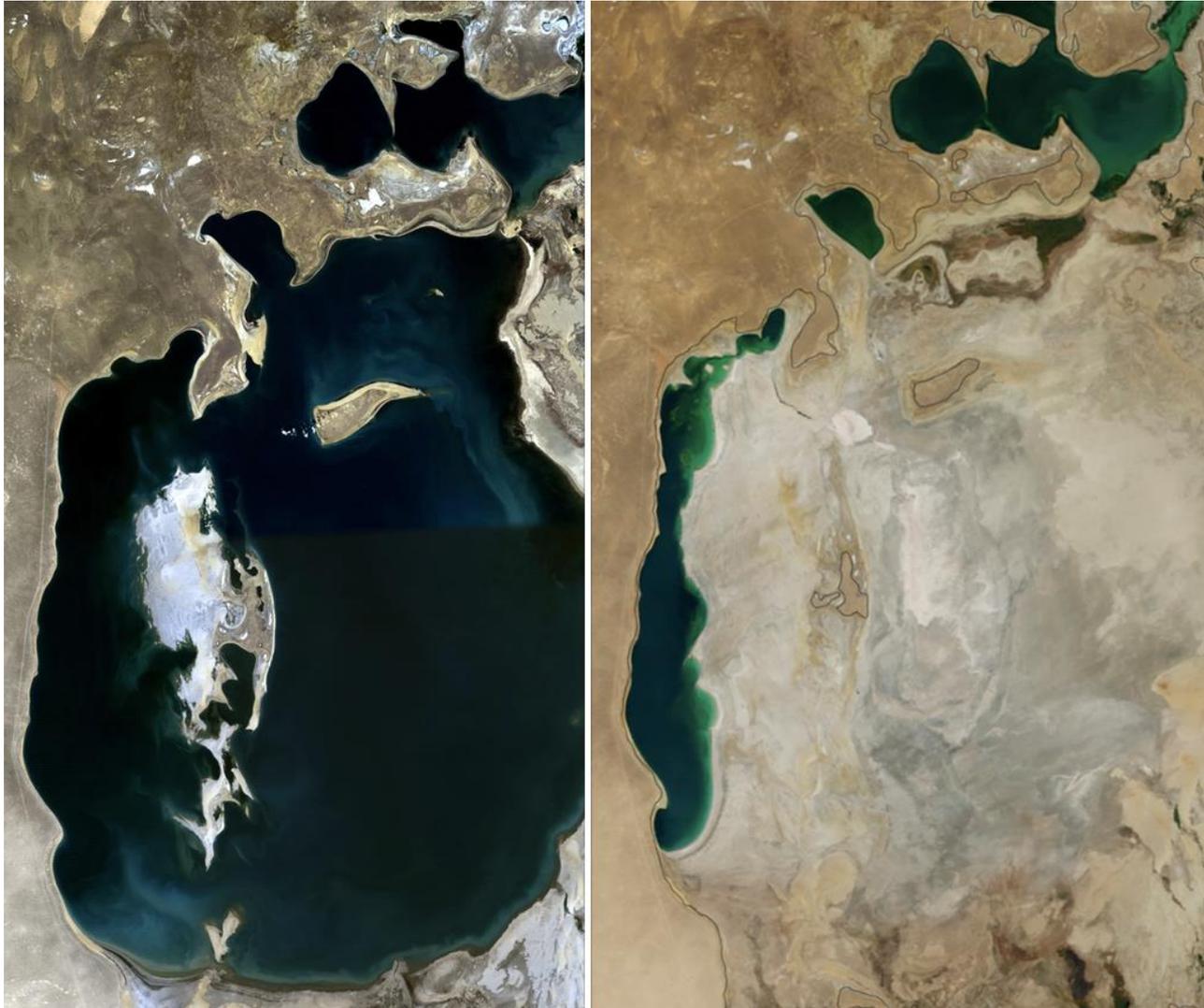
b. Landsat MSS image obtained on August 19, 1987.



c. Landsat 7 ETM+ image obtained on July 29, 2000.

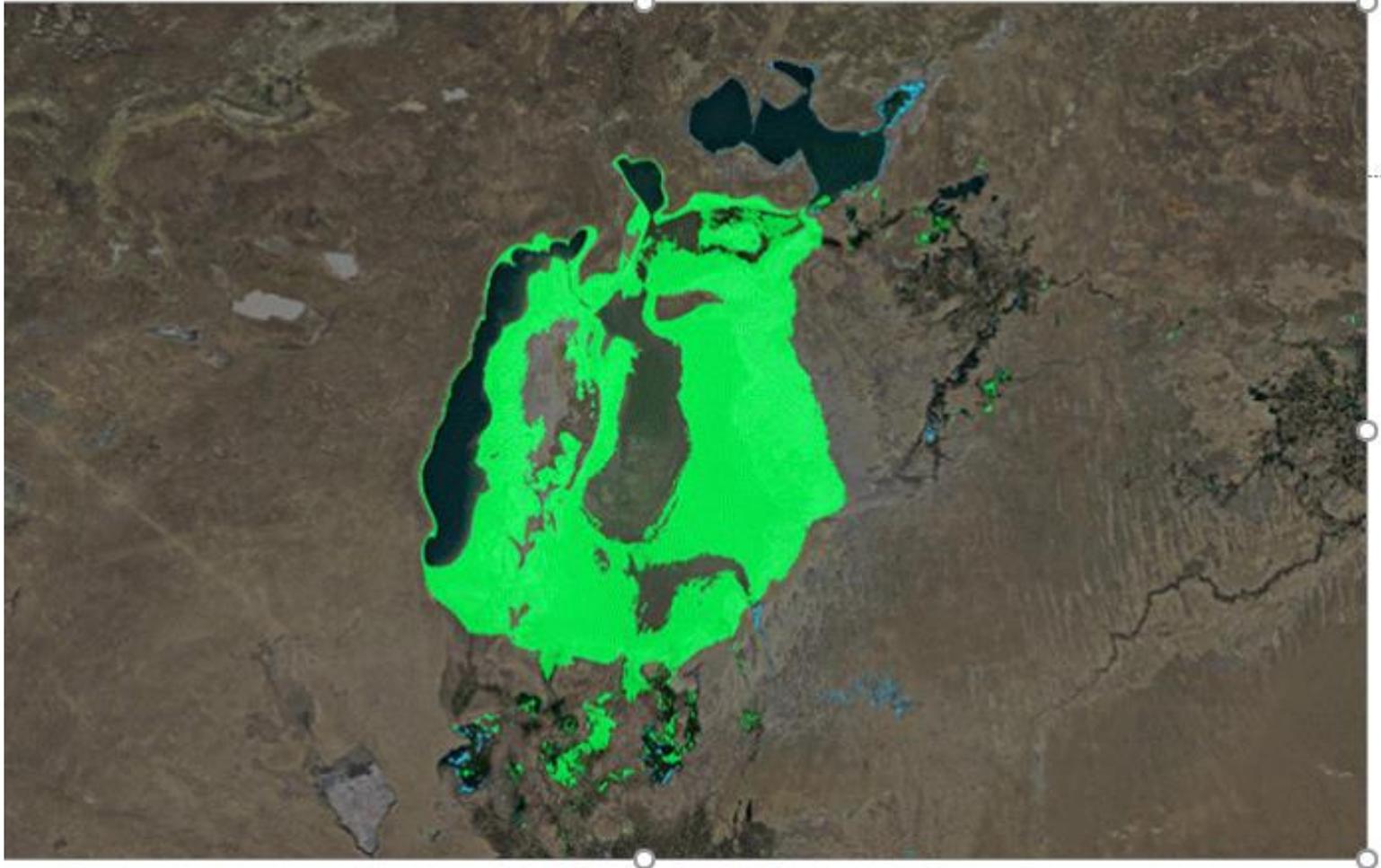
CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare
Restringimento del lago d'ARAL



CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare
Restringimento del lago d'ARAL



CASI STUDIO

- Monitoraggio Satellitare
- ## Restringimento del lago d'ARAL

