

## **Analisi da Remote Sensing di variazioni geomorfologiche dell'area di un invaso artificiale**

Sergio Lo Curzio, Filippo Russo, Mariagraziana Caporaso

Dipartimento di Scienze per la Biologia, la Geologia e l'Ambiente, Università del Sannio  
Via dei Mulini 59/A, 82100 Benevento, Tel. 0824-323659, Fax 0824-323623  
e-mail locurzio@unisannio.it, filrusso@unisannio.it, grazianacaporaso@interfree.it.

### **Riassunto**

In questo lavoro sono presentati i risultati dell'analisi da *Remote Sensing* di variazioni geomorfologiche rapide all'interno dell'invaso artificiale di San Giuliano (Matera, Basilicata), creato dallo sbarramento del Fiume Bradano.

A tal fine sono state utilizzate 19 immagini *Landsat* acquisite in un periodo di 20 anni (1984-2004). L'analisi è stata condotta utilizzando i dati satellitari, il Modello Digitale del Terreno (DTM) di dettaglio antecedente alla costruzione della diga e i dati relativi ai livelli d'acqua dell'invaso, espressi in metri sul livello del mare, per ciascuna data di acquisizione delle immagini *Landsat*. Il *dataset* è stato sottoposto ad una serie di tecniche di telerilevamento per l'analisi multitemporale (*Multy-data composite image change-detection*) e ad una successiva procedura di classificazione volta principalmente all'estrazione della superficie d'acqua dell'invaso per ciascun anno di acquisizione. I dati classificati sono stati estratti in formato vettoriale in modo da ottenere l'impronta della sola superficie d'acqua; di quest'ultima è stata analizzata la forma e calcolata l'estensione superficiale per mezzo di un *software* GIS. Nell'analisi successiva, il DTM è stato intersecato con piani ideali posti alle stesse quote delle superfici d'acqua relativamente a ciascuna immagine in modo da creare delle superfici simulate. Per ogni anno del periodo considerato sono state confrontate le superfici d'acqua estratte dalle immagini *Landsat* con le superfici simulate derivate dal DTM precedente allo sbarramento del Fiume Bradano.

I risultati del confronto, analizzati e interpretati, hanno messo in evidenza le variazioni geomorfologiche significative, che avvengono in tempi brevi, dovute alle fasi di sedimentazione/erosione in relazione ai diversi livelli d'acqua dell'invaso artificiale.

### **Abstract**

Remote Sensing analysis of geomorphological changes of the artificial lake area. In this paper are showed the results of the Remote Sensing analysis connected to rapid geomorphological variations of the water surface of the San Giuliano Dam (Matera, Southern Italy) along the Bradano River. Such results are from the examination of 19 Landsat images relative to 1984-2004 period.

For this case-study have been utilized the following materials: Remote Sensing data from Landsat satellite, detailed Digital Terrain Model (DTM) previous the dam building and the 1984-2004 period dataset relative to measured lake-levels.

The Multy-data composite image change-detection technique with relative classification has been applied to the image dataset finalized to extract the water-lake surface data for each detected year. Such classified data were extracted as a vectorial format to get the shape of the water-lake surface only, which is analyzed and calculated by using a Geographical Information System (GIS) software. The DTM of the pre-dam topographic surface has been intersected with the water-lake surfaces for each year detected of Landsat images to creating a simulated water-lake surface. The water-lake surfaces extracted from Landsat images for each year of the 1984-2004 period have been compared

to ones simulated got by DTM of the topographic surface of the studied area previously Bradano River damming. The data coming out from that comparison have been analyzed and interpreted too. They significantly evidence rapid geomorphological variations of the several water-lake surfaces due to erosional/sedimentation phenomena mainly connected to the fluvial dynamic of the Bradano River tributary.

### Introduzione

Le zone umide sono importanti habitat naturali che devono essere conservate (Williams, 1990). Esse sono importanti perché proteggono la fauna e la flora specifica e preservano la qualità dell'acqua oltre a servire come luoghi per la mitigazione delle piene o serbatoi di acqua per l'irrigazione.

Per la mappatura delle aree interessate da corpi idrici sono state spesso utilizzate immagini ottiche e radar a cui sono state applicate diverse tecniche di telerilevamento quali classificazione, interpretazione visiva e tecniche di *density slicing* con sensori multibanda, immagini multitemporali e multisensore (Frazier, Page, 2000; Muntati, 2000; Chopra et al., 2001; Toyra et al., 2001; Dechka et al., 2002; Parmuchi et al., 2002; Hung, Wu, 2005; Jain et al., 2005).

Tali tecniche permettono di identificare una superficie d'acqua (p.es. uno specchio d'acqua lacustre) e di determinare la sua estensione, anche a seguito di eventuali inondazioni, su vaste aree. Nell'utilizzo di queste tecniche ci sono però degli svantaggi evidenti come: errori di classificazione dei singoli *pixel*, *pixel* misti, torbidità, risposta combinata dei sedimenti in sospensione e del fondo, problemi di zone d'ombra.

Non è facile ottenere una mappatura accurata di tali superfici in quanto l'accuratezza è legata alla risoluzione spaziale del sensore utilizzato. Inoltre, quando si ricostruisce l'evoluzione morfologica di un invaso artificiale ci si basa soprattutto su modelli digitali del terreno derivati da tecniche di acquisizione non recenti e quindi meno accurate di quelle attuali, per cui, con questo tipo di dati, lo studio delle modificazioni geomorfologiche di un invaso artificiale può essere svolto solo se tali cambiamenti sono di ragionevole entità.

In questo lavoro sono stati utilizzati i dati *Landsat Thematic Mapper* e un Modello Digitale del Terreno (DTM) per rilevare le variazioni spazio-temporali e geomorfologiche della forma e della superficie di un lago di sbarramento artificiale (Diga di San Giuliano) lungo il Fiume Bradano nel periodo 1984-2004.

### Area di studio

L'area del bacino idrografico sotteso dal Lago di San Giuliano oggetto del presente studio, estesa per 540 Km<sup>2</sup>, ricade nel settore sud-occidentale della Provincia di Matera compresa tra i punti di coordinate: Latitudine 40°32'00" e 40°42'00", Longitudine 3°52'00" e 4°14'00" (fig. 1).

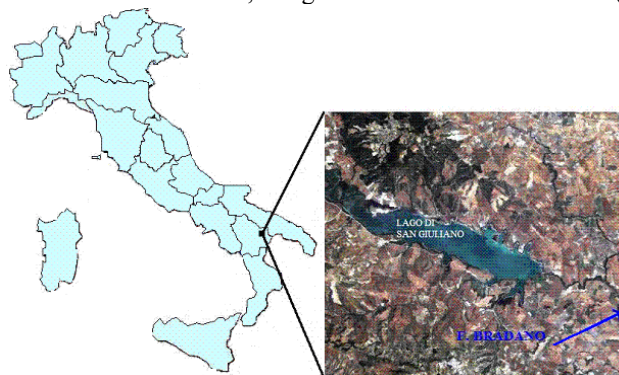


Figura 1 – Ubicazione dell'area di studi. Immagine Landsat a colori reali dell'area nel 1984.

Inoltre, essa è compresa tra le quote topografiche di 200 m e di 450 m s.l.m. ed è attraversata dal Fiume Bradano e dal Fiume Basentello.

### Materiali e metodi

Nel presente lavoro sono state utilizzate 19 immagini satellitari *Landsat* acquisite, prevalentemente nella stagione estiva, nel periodo 1984-2004 (fig. 2).

N°	SATELLITE	SENSORE	DIMENSIONE PIXEL (m)	DATA DI ACQUISIZIONE
1	Landsat 5	TM	30 X 30	20 Giugno 1984
2	Landsat 5	TM	30 X 30	13 Agosto 1986
3	Landsat 5	TM	30 X 30	12 Aprile 1988
4	Landsat 5	TM	30 X 30	2 Agosto 1988
5	Landsat 5	TM	30 X 30	9 Gennaio 1989
6	Landsat 5	TM	30 X 30	5 Agosto 1989
7	Landsat 5	TM	30 X 30	28 Luglio 1992
8	Landsat 5	TM	30 X 30	31 Luglio 1993
9	Landsat 5	TM	30 X 30	18 Luglio 1994
10	Landsat 5	TM	30 X 30	19 Giugno 1995
11	Landsat 5	TM	30 X 30	7 Luglio 1996
12	Landsat 5	TM	30 X 30	10 Luglio 1997
13	Landsat 5	TM	30 X 30	13 Luglio 1998
14	Landsat 7	ETM +	30 X 30	26 Settembre 1999
15	Landsat 5	TM	30 X 30	7 Dicembre 1999
16	Landsat 7	ETM +	30 X 30	21 Aprile 2000
17	Landsat 7	ETM +	30 X 30	13 Luglio 2001
18	Landsat 7	ETM +	30 X 30	14 Giugno 2002
19	Landsat 5	TM	30 X 30	30 Agosto 2004

Figura 2 – Caratteristiche delle immagini satellitari utilizzate.

Dati ancillari e *software* diversi di gestione ed elaborazione dati sono stati utilizzati in questo studio. In particolare, il *software* ENVI 4.0 è stato utilizzato per le elaborazioni dei dati satellitari. Il *software* GIS (ArcMap 9.2 ed opportune estensioni) è stato utilizzato per l'analisi spaziale dei dati. I dati topografici sono stati desunti dalla Carta Topografica d'Italia dell'Istituto Geografico Militare (Foglio n. 201 "Matera"). Il Modello Digitale del Terreno (DTM) è stato ottenuto digitalizzando in ambiente GIS le carte topografiche di dettaglio (scala 1:5.000) dell'area di studio e i punti rilevati dalle battute topografiche effettuate in occasione della costruzione della diga.

Per ottenere una coerenza dimensionale tale da rendere le immagini sovrapponibili è stato operato un ritaglio di tutte le immagini telerilevate oggetto di studio. Tale ritaglio è stato effettuato con una matrice di valore 933 x 642 *pixel* il cui sistema di riferimento e coordinate ai vertici opposti sono:

- vertice in alto a sinistra: E 611713; N 4507495
- vertice in basso a destra: E 639673; N 4488265
- proiezione UTM, zona 33N, datum WGS-84.

L'interpretazione e l'identificazione degli oggetti nelle immagini risultanti è stata condotta a schermo, manualmente e visivamente, consultando tutti i dati ancillari a disposizione. L'analisi

interpretativa è stata condotta sia attraverso l'osservazione in singola banda che attraverso immagini composite RGB a colori reali e a falsi colori.

Per l'estrazione dei poligoni relativi alle superfici lacustri, le immagini sono state classificate con il metodo *supervised* algoritmo *Maximum Likelihood*. Tali immagini sono state dapprima convertite in formato vettoriale all'interno del *software* ENVI 4.0 e poi importate all'interno del *software* ArcMap in formato *shape file*. Una volta estratte le superfici lacustri da ogni immagine del *dataset*, tutti i perimetri bagnati sono stati visualizzati simultaneamente all'interno del GIS.

Tenuto conto che la risoluzione geometrica delle immagini *Landsat* utilizzate è di 30 m per pixel, in relazione a questo limite sono state prese in considerazione solo quelle immagini, relative agli anni di acquisizione 1984, 1988, 1989, 1993, 1994 e 1995 (fig. 3), in cui le variazioni plano-altimetriche del livello del lago (fig. 4) si sono rivelate di entità superiore al limite di risoluzione delle immagini.

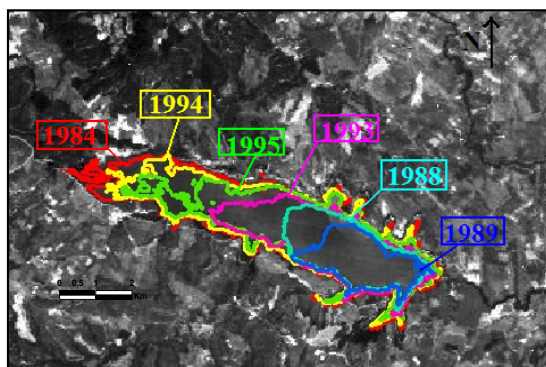


Figura 3 – Variazioni del perimetro bagnato dell'area lacustre nel periodo 1984-1995.

DATA ACQUISIZIONE LANDSAT	QUOTA LIVELLO DEL LAGO (metri s.l.m.)	VOLUME INVASATO (mc)
20/06/1984	99,32	64.213.480
02/08/1988	93,07	20.590.314
09/01/1989	88,65	1.087.887
31/07/1993	91,53	14.030.487
18/07/1994	97,75	50.689.706
19/06/1995	95,07	31.243.094

Figura 4 – Quota e volume invasato del lago nel periodo 1984-1995.

Infine, si è proceduto al confronto tra la forma delle superfici bagnate desunte dalle analisi delle immagini digitali e quelle delle superfici simulate aventi uguale quota. Tale confronto è stato effettuato per distinguere le variazioni della linea di riva dovute al semplice abbassamento/innalzamento del livello del lago da quelle connesse alle modificazioni geomorfologiche della forma del lago causate da fenomeni di erosione o progradazione degli apparati di foce degli immissari del lago (Fiume Bradano e altri immissari minori).

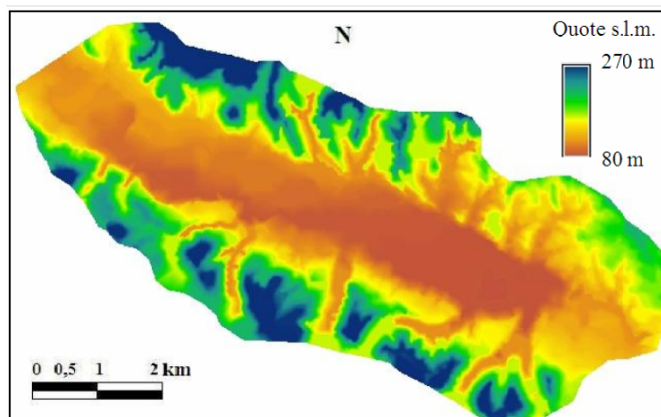


Figura 5 – Modello Digitale del Terreno dell'area lacustre precedente la costruzione della diga.

Le simulazioni delle superfici occupate dall'acqua nei vari anni analizzati sono state ottenute utilizzando l'estensione 3D *Analyst* di ArcGIS 9.2. Ciò ha permesso di creare dei piani virtuali di intersezione con il DTM (fig. 5) posizionati alla quota assunta dai reali livelli lacustri in ogni immagine. In effetti, si è proceduto visivamente nel modo seguente: assunta una quota reale di un dato livello lacustre sul DTM viene visualizzato con colore nero la superficie lacustre simulata ovvero la superficie che avrebbe occupato l'acqua in assenza di modificazioni topografiche. Tale operazione è stata eseguita per tutte le immagini col risultato di ottenere una serie di rappresentazioni (fig. 6) dell'area in cui appaiono colorate in nero le aree di invaso corrispondenti alle superfici simulate relativamente a ciascun anno e a ciascuna quota di riferimento.

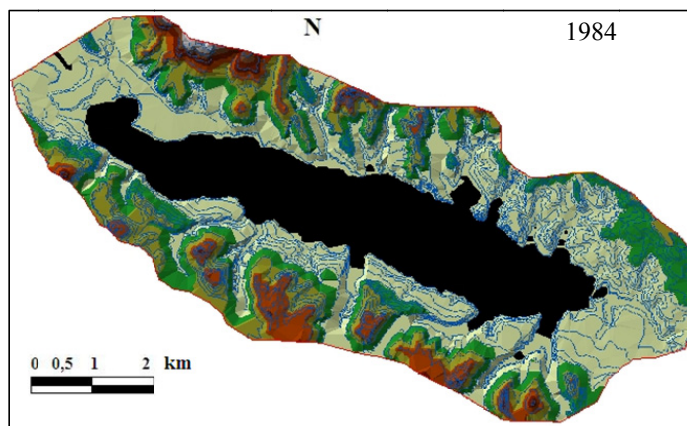


Figura 6 – Esempio di superficie simulata (in nero) di invaso relativa all'anno di acquisizione 1984 e corrispondente alla superficie di massimo invaso.

## Risultati

Nella figura 7 si osservano le variazioni plano-altimetriche del perimetro lacustre (linea rossa) desunte dalle immagini *Landsat* nei vari anni considerati (1984, 1988, 1989, 1993, 1994 e 1995). L'andamento delle diverse linee perimetrali descrive forme diverse assunte dalla superficie dell'invaso a diverse altezze topografiche.



Le superfici in nero nella stessa figura simulano una superficie lacustre virtuale ad una determinata altezza topografica.

Dal confronto visivo e dalla sovrapposizione geometrica (*overlay*) tra le due superfici lacustri (superfici delimitate dalla linea rossa e superfici in colore nero) risultano evidenti le maggiori modificazioni dell'area di invaso del bacino di San Giuliano occorse negli anni considerati.

Questo risultato permette di distinguere con chiarezza le modificazioni plano-altimetriche del livello lacustre dovute al normale funzionamento della diga (svuotamenti e riempimenti dell'invaso) da quelle di tipo geomorfologico connesse alla dinamica sedimentaria dei principali immissari dell'invaso (Fiume Bradano e Torrente Acquaviva). Queste ultime sono testimoniate dalle osservazioni geomorfologiche condotte nell'area relativamente agli apparati progadazionali di foce e ai fenomeni di erosione caratterizzanti i versanti adgettanti sull'area lacustre.

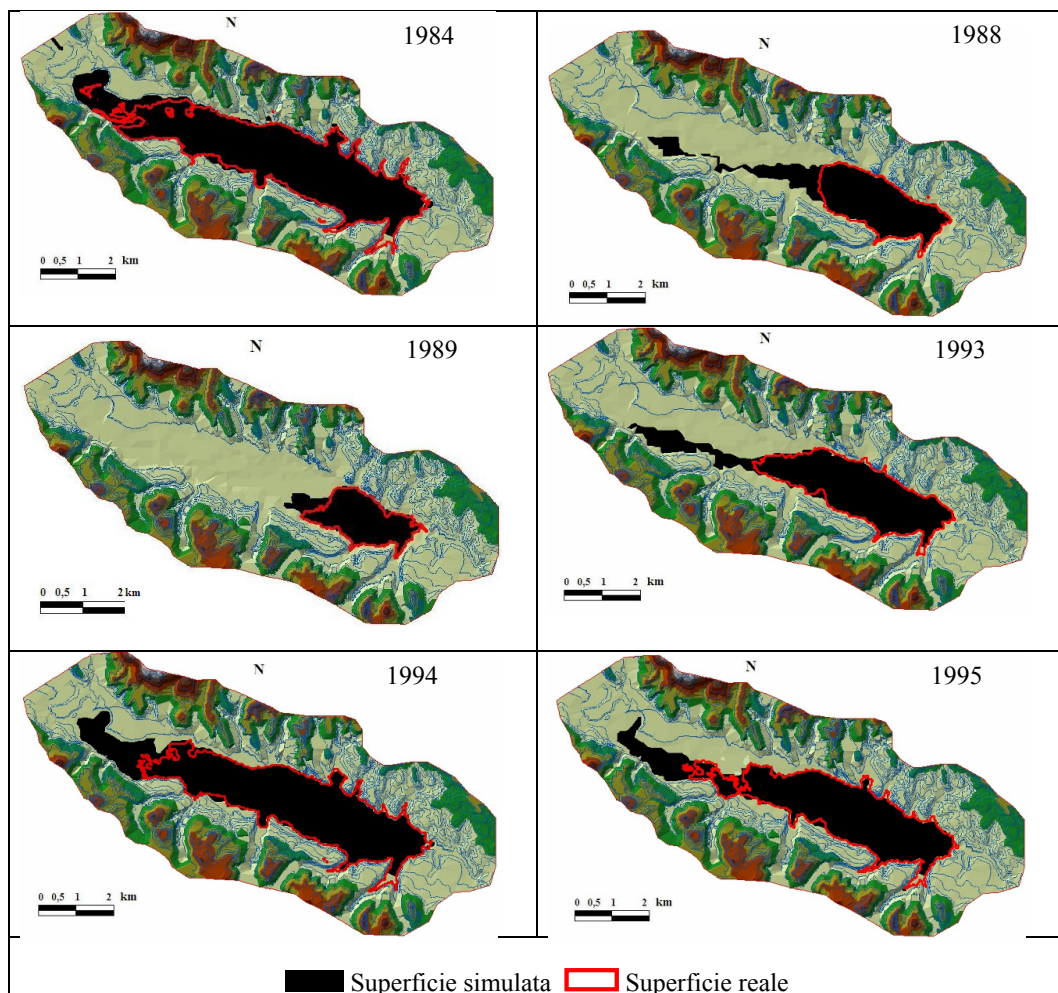


Figura 7 – Immagini dell'invaso lacustre ottenute dal confronto tra le superfici simulate (in nero) e quelle reali (in rosso) relative a diversi anni di acquisizione.

Inoltre, nell'immagine relativa all'anno 1989 (fig. 7) è illustrata la situazione morfo-topografica dell'area lacustre in cui il livello dell'area di invaso raggiunge la quota minima di 86,65 m: si tratta

del massimo restringimento o riduzione del perimetro bagnato riscontrato nella serie di dati esaminati. In confronto, l'immagine del 1984 riporta il medesimo perimetro relativo, invece, alla quota di 99,32 m relativa alla massima superficie invasata. Le situazioni morfo-topografiche intermedie mostrano l'evoluzione in senso geomorfologico della dinamica evolutiva dell'area lacustre.

### **Conclusioni**

In questo studio sono state utilizzate tecniche di telerilevamento e tecnologie GIS per analizzare le modificazioni geomorfologiche rapide avvenute in un invaso artificiale (lago di sbarramento per diga): il lago di San Giuliano sul Fiume Bradano in Basilicata.

L'esame dei dati ha messo in evidenza una variazione dell'assetto fisiografico dell'area lacustre, consistente in una sostanziale modificazione della superficie e del perimetro del lago.

Queste variazioni sono evidenti nell'area foce degli immissari principali del lago, specialmente del Fiume Bradano. I dati telerilevati ed elaborati sono stati confrontati con simulazioni basate sulla ricostruzione dell'area dell'invaso ottenuta mediante analisi del DTM. Dai confronti effettuati emerge che l'area lacustre ha conosciuto una dinamica evolutiva con variazioni plano-altimetriche della superficie lacustre. Tali variazioni sono soprattutto evidenti negli anni 1984, 1988, 1889, 1993, 1994 e 1995. Da osservazioni effettuate sul campo si conferma che tali variazioni sono connesse a fenomeni di erosione/sedimentazione legati alla dinamica sedimentaria dei principali immissari dell'invaso (Fiume Bradano e Torrente Acquaviva) e dei versanti aggettanti sull'area lacustre.

Infine, con questo studio si evidenzia che le variazioni riscontrate possono influenzare negativamente i volumi idrici invasati con possibili ripercussioni sulla funzionalità dell'invaso in termini di rischio e pericolosità.

### **Bibliografia**

- Chopra R., Verma V.K. and Sharma P.K. (2001), "Mapping, monitoring and conservation of Harike wetland ecosystem, Punjab, India, through remote sensing", *International Journal of Remote Sensing*, 22: 89–98.
- Dechka J.A., Franklin S.E., Watmough M.D., Bennett R.P. and Ingstrup D.W. (2002), "Classification of wetland habitat and vegetation communities using multitemporal IKONOS imagery in southern Saskatchewan". *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28: 679–685.
- Frazier P.S. and Page K.J. (2000), "Water body detection and delineation with Landsat TM data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66: 1461–1467.
- Hung M.C. and Wu Y.H. (2005), "Mapping and visualizing the Great Salt Lake landscape dynamics using multi-temporal satellite images, 1972–1996", *International Journal of Remote Sensing*, 26: 1815–1834.
- Jain S.K., Singh R.D., Jain M.K. and Lohani A.K. (2005), "Delineation of flood-prone areas using remote sensing techniques", *Water Resources Management*, 19: 333–347.
- Munyati C. (2000), "Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1787–1806.
- Parmuchi M.G., Karszenbaun H. and Kandus P. (2002), "Mapping wetlands using multitemporal RADARSAT-1 data and a decision-based classifier", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28: 175–186.
- Toyra J., Pietroniro A. and Martz L.W. (2001), "Multisensor hydrologic assessment of a freshwater wetland", *Remote Sensing of Environment*, 75: 162–173.
- Williams M. (1990), *Protection and retrospection. In Wetlands: A threatened landscape*, Ed. M. Williams, Oxford-Blackwell, 325–353.