GIS E CARTOGRAFIA STORICA NELL'ANALISI DELLA DINAMICA FLUVIALE DEL F. SINNI (BASILICATA)

Corrado CENCETTI (*), Andrea FREDDUZZI (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 1 – 06125 Perugia, Tel. +39 075 5853760, Fax +39 075 5853756, e-mail corcen@unipg.it

Riassunto

La nota descrive i risultati di uno studio, eseguito tramite strumenti GIS applicati ad un'analisi storico-cartografica, sulla dinamica fluviale del F. Sinni (Basilicata, versante ionico). Lo scopo è, da una parte, quello di definire le condizioni attuali dell'alveo, dall'altra quello di caratterizzare il suo trend evolutivo, elementi considerati entrambi necessari ai fini di una corretta "gestione" del territorio e delle risorse ambientali. Lo studio si è concentrato sull'analisi degli effetti prodotti da alcune opere, in particolare della più grande diga in terra d'Europa (Monte Cotugno) e di altre minori, che hanno profondamente condizionato la dinamica fluviale del fiume Sinni.

Abstract

The paper describes the results of a GIS implemented study about the historical analysis of cartographic documents regarding the River Sinni (Basilicata, Southern Italy). The fluvial dynamics processes, by means of surveying of morphological, sedimentary and human characteristics of the riverbed – alluvial plain system, are described. The aims are to characterize the present riverbed conditions and to define the evolutionary trend of the alluvial plain – riverbed system, which are considered useful tools to assume criteria for a correct management of the fluvial system itself. The study was mainly focused on the analysis of the effects produced by some hydraulic works, first of all the Mt. Cotugno Dam, which is the biggest earth dam in Europe.

Introduzione

Lo studio della dinamica morfologico-sedimentaria di un alveo fluviale è reso sicuramente più agevole dall'analisi storica delle sue variazioni morfologico-planimetriche. Si tratta di uno strumento efficace che, ampliando notevolmente la prospettiva temporale, consente di comprendere la naturale tendenza evolutiva del sistema fluviale, quale si presentava, di norma, prima che i condizionamenti antropici modificassero le condizioni di naturalità e di equilibrio del sistema. La redazione dei Piani di Bacino e l'individuazione delle fasce di pertinenza fluviale (Baruffi et al., 2004; Menduni 1995) sono una delle principali applicazioni dell'analisi storica degli alvei fluviali.
Il bacino idrografico del F. Sinni si estende complessivamente per 1427 km^2 (dei quali 1366 ricadenti in Basilicata e 61 in Calabria). Il tratto studiato è compreso tra la diga di M. Cotugno e la foce nel Mar Ionio ed è lungo complessivamente 36 km. Nell'alveo si rileva, oltre al suddetto sbarramento, ultimato nel 1983, un'altra opera idraulica di notevole importanza: la traversa di S. Laura, realizzata nel 1955 e situata a circa 11 km a monte della foce.

Analisi storica: metodo

L'analisi storica delle variazioni morfologiche dell'alveo è stata condotta in ambiente GIS, utilizzando una procedura basata sulla georeferenziazione, digitalizzazione e misura dei parametri

di interesse, simile a quella utilizzata da numerosi autori (Canuti et al., 1994; Leys & Werrity, 1999; Winterbottom, 2000; Cencetti, 2002; Surian, 2002).

Acquisizione e georeferenzazione dei documenti cartografici

I documenti cartografici utilizzati sono stati i seguenti:
Ortofotocarte digitali dell'Autorità di Bacino della Basilicata (2003 - risoluzione 40 cm, sistema di riferimento Gauss Boaga - Roma40);

1. Carta Tecnica Regionale della Regione Basilicata, in scala 1:10.000 (1986 - sistema di riferimento Gauss Boaga - Roma40);
2. Fotogrammi aerei del volo G.A.I (1954);
3. Carte IGM in scala 1:100.000 (1875-1900, sistema di riferimento non individuato);
4. Carte ITM (Istituto Topografico Militare) in scala 1:30000 (1870 circa, sistema di riferimento non individuato);
5. Carte idrografiche in scala 1:100.000 (1890 circa, sistema di riferimento non individuato);

I documenti cartacei sono stati scansionati in modo da ottenere una risoluzione al suolo pari a circa un metro. Il dato ottenuto è stato poi georeferito utilizzando una procedura definibile "*image to raster map"* (Neteler & Mitasova, 2002), che consiste nelle seguenti fasi operative:

- individuazione a schermo di punti di controllo (GCPs) comuni ai documenti storici (foto aeree o carte storiche) e ai documenti di supporto (ortofotocarte digitali);
- rettificazione delle immagini tramite algoritmi di trasformazione basati su polinomi di 1° ordine, al fine di evitare distorsioni;
- valutazione della precisione dell'operazione tramite la misura dell'errore relativo al posizionamento dei GCPs (RMS error).

La procedura di georeferenziazione è stata eseguita in ambiente GNU-LINUX, utilizzando il software GRASS GIS.

Figura 1 - Rettificazione dei fotogrammi aerei con i moduli di "geocoding" di GRASS GIS. La finestra in basso a sinistra fornisce il valore del RMS error.

Si sottolinea che anche le foto aeree sono state importate nel database tramite una semplice operazione di rettificazione (Figura 1). In effetti, sarebbe stata più rigorosa una procedura di ortoproiezione, ma l'elevato numero di fotografie aeree da importate richiedeva l'utilizzo di un metodo semplice, veloce e sufficientemente efficace allo stesso tempo.

L'esame degli errori di posizionamento dei punti di controllo (GCPs) ha consentito quindi di definire l'accuratezza spaziale dei documenti cartografici (RMS error); gli errori medi ottenuti sono pari a 2,6 m per le C.T.R., 5,1 m per le foto aeree (volo GAI), 6,9 m per le carte I.G.M. e 25, 94 m per le carte I.T.M. I valori ottenuti sono assolutamente compatibili con la precisione richiesta dalle finalità dello studio.

Vettorializzazzione e misura degli elementi geomorfologici

Secondo un approccio tipicamente morfologico-sedimentario, il metodo di lavoro prevede innanzi tutto la definizione delle condizioni attuali del sistema. Tramite l'analisi delle ortofotocarte del 2003 e tramite rilevamenti speditivi sul terreno, gli elementi morfologici, sedimentari ed antropici utili a caratterizzare lo stato attuale dell'alveo e della pianura alluvionale sono stati cartografati ed importati (in formato vettoriale) all'interno di un database geografico (Figura 2).
Il database, così realizzato, è uno strumento molto utile in un'ottica di gestione del corso d'acqua. È possibile, infatti, associare agli elementi vettoriali tutte le informazioni necessarie sotto forma di attributi (fotografie, schede monografiche, fogli di calcolo, etc.), eseguire operazioni topologiche, effettuare confronti temporali tra i diversi tracciati, eseguire *queries* e altro. Inoltre, il database rappresenta un'ottima base di partenza per la programmazione sia delle attività di monitoraggio dei processi fluviali, sia di eventuali studi successivi.

Figura 2 - Analisi e digitalizzazione degli elementi morfologico-sedimentari (ortofotocarte 2003). Gli elementi principali riportati in carta sono: 1) barre nude; 2) barre fortemente vegetate; 3) barre arborate; 4) canali di magra; 5) asse dell'alveo.

Per effettuare confronti è necessario identificare e misurare alcuni parametri comuni a tutti i documenti cartografici utilizzati. Nel caso specifico, i parametri morfologici (planimetrici) ritenuti più utili ai fini di un confronto storico sono la larghezza dell'alveo attivo, l'indice di intrecciamento e l'estensione dei corpi sedimentari, evidenziando, per questi ultimi, lo stato vegetativo (barre nude, fortemente vegetate, arborate) che, come noto, è direttamente correlato alla loro mobilità.
La larghezza dell'alveo attivo può essere valutata sia come valore medio del tratto analizzato, sia come valore distribuito sulla lunghezza dell'alveo. Nel primo caso il valore si ottiene come semplice rapporto tra l'area del poligono che rappresenta l'alveo attivo e la lunghezza del rispettivo asse.
Nel secondo caso, per ottenere un sistema di riferimento univoco, l'asse dell'alveo (la cui lunghezza varia nel tempo) è stato suddiviso in 382 parti: l'equidistanza è pari a circa 100 m ed è ovviamente leggermente diversa per ognuno dei periodi considerati. Tracciando in ognuno dei 382 punti un segmento normale all'asse e intersecandolo con il poligono dell'alveo attivo si definisce la larghezza

dell'alveo nel punto stesso (Figura 3a). Inoltre, "intersecando" i suddetti segmenti con il poligono che identifica l'alveo di magra (Figura 2), è possibile ricavare il valore dell'indice di intrecciamento BI, che fornisce una stima del numero di canali presenti all'interno dell'alveo attivo (Thorne C. R., 1997); il valore è dato dal rapporto tra il numero di segmenti ottenuti dall'operazione di "intersezione" (che identifica i canali di magra) ed il numero di segmenti originali (Figura 3).

Figura 3 - Misura dell'indice di intrecciamento. In a) sono riportati i segmenti che rappresentano l'alveo attivo; in b) sono riportati i segmenti riferibili ai canali di magra.

Infine, come ultimo parametro, è stata misurata l'estensione della superficie dei corpi sedimentari in funzione della presenza e del tipo di vegetazione.

Risultati ed interpretazione dei dati

L'analisi storico-cartografica ha consentito di quantificare le variazioni planimetriche dell'alveo che si sono verificate nell'ultimo cinquantennio.
I risultati mostrano che, dal 1954 al 2003, si è verificata una forte riduzione della larghezza media dell'alveo attivo (da 425 m a 110 m) accompagnata da una netta diminuzione dell'indice di intrecciamento (da 3,1 a 1,7). Un'altra evidente variazione riguarda lo stato vegetativo dei corpi sedimentari in quanto, a fronte di un generale restringimento dell'alveo, la superficie delle barre fortemente vegetate e/o arborate è praticamente triplicata: nel 1954 queste occupavano soltanto il 28,3 % dell'alveo, mentre nel 2003 ne occupavano l'83,3 % (Figura 4).

Figura 4 - Confronto storico relativo ad una porzione dell'alveo a monte della traversa di S. Laura.

La trasformazione più importante si è verificata nel tratto terminale a valle della traversa di Santa Laura (lungo circa 11 km), dove la configurazione morfologica dell'alveo è completamente cambiata: il corso d'acqua è passato da una tipologia multicanale intrecciata ad una monocanale a barre alternate (Figura 5). L'analisi delle carte IGM (1875) che, sebbene non forniscano indicazioni

sulla vegetazione, permettono di determinare larghezza e grado di intrecciamento dell'alveo, in quanto sono riportati i corpi sedimentari, dimostra come questi cambiamenti siano iniziati successivamente al 1954.

Figura 5 - Confronto storico relativo ad una porzione dell'alveo a valle della traversa di S. Laura.

Mettendo in relazione i cambiamenti evidenziati dall'analisi storica con le caratteristiche morfo-sedimentarie attuali dell'alveo (definite in base ai rilevamenti diretti sul terreno), emerge come la trasformazione del corso d'acqua si sia verificata con modalità diverse lungo il tratto studiato.
Nella prima parte, dalla confluenza con il tributario più importante (T. Sarmento) sino alla traversa di S. Laura, per una lunghezza di circa 27 km, il restringimento dell'alveo è dovuto al progressivo abbandono dei corpi sedimentari e non si riscontrano fenomeni di erosione verticale e di incisione del fondo dell'alveo. Di norma, la presenza di processi di tal genere indica condizioni di instabilità e disequilibrio dell'alveo, dovuti ad un'esubero di *stream power* (cioè della capacità di trasporto dei sedimenti rispetto alla quantità di materiale a disposizione per il trasporto solido). Sono, pertanto, processi che indicano deficit sedimentario; la loro assenza, nel caso in esame, va considerata indicativa di una condizione morfologico-sedimentaria dell'alveo del F. Sinni sostanzialmente buona. Ciò è dovuto al fatto che l'interruzione del *continuum* sedimentario, prodotta dall'esercizio della diga di M. Cotugno, è in qualche modo "compensata" dalla diminuzione di portata liquida e dalla modulazione dei deflussi idrici operata dalla diga stessa (che comunque ha determinato la riduzione dell'area attiva dell'alveo), nonché dal cospicuo apporto solido del T. Sarmento.
La situazione è completamente diversa negli ultimi 11 km del corso d'acqua (dalla traversa di S. Laura sino alla foce) dove il restringimento, invece, è stato accompagnato proprio da una consistente incisione dell'alveo e da processi diffusi di erosione, sia verticale che orizzontale, che hanno comportato e comportano una generale condizione di dissesto dell'alveo (Figura 6).

Figura 6 - Effetti dei processi di erosione ed incisione nell'ultimo tratto del F. Sinni, immediatamente prima della foce. A sinistra si vede lo scalzamento al piede della traversa di S. Laura mentre a destra l'incisione è evidenziata dalle condizioni critiche del pilone di un ponte.

Come già detto, tutto ciò ha comportato, in questo tratto, un completo stravolgimento delle condizioni naturali del corso d'acqua che è passato da una morfologia multicanale tipicamente intrecciata (analoga a quella che tutt'oggi caratterizza la porzione a monte) ad una morfologia monocanale a barre alternate (*wandering*).
In pratica, a valle della traversa nessun elemento ha concorso a mitigare il deficit sedimentario poiché, come noto, una briglia blocca il trasporto solido, ma non ha la capacità di laminare le piene; inoltre, a valle della stessa, non si riscontra la presenza di affluenti importanti che possano "rifornire" di materiale l'alveo del collettore principale.
Si può affermare che le foto aeree del volo GAI (1954) identificano la configurazione morfologica appena antecedente l'inizio dei processi suddetti; infatti la costruzione della traversa di S. Laura è stata ultimata nel 1955, mentre la realizzazione della diga è più recente (1983).
Tra le cause che hanno portato alla situazione attuale vanno citati, oltre alle suddette opere trasversali, la realizzazione di opere di canalizzazione del flusso (arginature e difese spondali) e l'estrazione diretta di inerti dall'alveo.
Quest'ultima è stata perpetrata per anni in maniera veramente ingente, soprattutto nel tratto terminale, quello attualmente più in crisi. Le stime indirette, realizzate sulla base della stima dei volumi di materiali necessari alla costruzione di grandi opere, strade di fondo valle e dighe per il periodo che va dal 1965 al 1977 sono pari a circa 15 milioni di m^3 (Cocco et al., 1978). A questi possono essere aggiunti altri 2,5 milioni di m^3 calcolati, probabilmente per difetto, in base alle autorizzazioni concesse tra il 1978 ed il 1992 (Spilotro et al., 2000).

Riferimenti bibliografici

Baruffi F., Rusconi A. & Surian N. (2004), "Le fasce di pertinenza fluviale nella pianificazione dei bacini idrografici: aspetti metodologici ed applicazioni", *Atti del Congresso Internazionale Interpraevent 2004*, Riva del Garda, Trento, 4, VIII/1-VIII/9.
Canuti P., Cencetti C., Rinaldi M. & Tacconi P. (1994), "The fluvial dynamics of the Arno River - 2. Historical evolution of the Arno river bed", *Mem. Soc. Geol. It.,* 48, 851-864.
Cencetti C. (2002) – "La cartografia storica come strumento per lo studio dell'evoluzione degli alvei fluviali", *Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA "Geomatica per l'Ambiente, il Territorio e il Patrimonio culturale"* (Perugia, 5-8 novembre 2002), 757-762.
Cocco E., De Magistris M.A. & De Pippo T. (1978), "Studi sulle cause dell'arretramento della costa lucana ionica: I. - L'estrazione degli inerti lungo le aste fluviali", *Mem. Soc. Geol. It.*, 4, 421-428.
Leys F. & Werritty A. (1999), "River channel planform change: software for historical analysis", *Geomorphology* 29, 107-120.
Menduni G. (1995), "La delimitazione delle fasce di pertinenza fluviale: un caso di studio in Toscana", in Maione U. & Brath A., *La sistemazione fluviale,* Editoriale Bios, Cosenza.
Neteler M. & Mitasova H. (2002), *Open Source GIS a GRASS GIS Approach*. Kluwer Academic Publischers, Boston.
Spilotro G., Di Bratto M., Cecilia G. & Leandro G. (2000), "Evoluzione Recente del Litorale Alto Ionico Compreso tra Foce Sinni e Foce Bradano" *Rapporto LA.T.I.B.I Linea 17 n. 1*, Università di Bari, http://www.latibi.unibas.it/prodotti/rapporti/17rapp01/index.html.
Surian N. (2002), "Utilizzo di cartografia storica nello studio della dinamica fluviale", *Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA "Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale"* (Perugia, 5-8 novembre 2002), 1925-1930.
Thorne C. L. (1997), "Channel Types and Morphological Classification". In Thorne C. R., Hey R. D. & Newson M. D. (Eds) *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, John Wiley & Sons, Chichester.
Winterbottom S. J. (2000), "Medium and short-term channel planform changes on the River Tay and Tummel, Scotland". *Geomorphology* 34, 195-208.