

ANALISI ATTRAVERSO METODOLOGIA GIS DELLE VARIAZIONI DEI CARATTERI MORFOLOGICO-SEDIMENTARI NELLA BASSA VALLE DEL F. SINNI (BASILICATA)

Corrado Cencetti (*) & Andrea Fredduzzi (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti, 93 - 06125 Perugia, Tel. +39 075 5853760, Fax +39 075 5853756, e-mail corcen@unipg.it - fredduzzi@unipg.it

Riassunto: Cencetti C. & Fredduzzi A. - *Analisi attraverso metodologia GIS delle variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari nella bassa valle del F. Sinni (Basilicata)*. (IT ISSN 0394-3356, 2008).

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 di definire le condizioni attuali dell'alveo e di caratterizzare il suo trend evolutivo, elementi considerati entrambi necessari ai fini di una corretta "gestione" del sistema fluviale (in termini di risorsa ambientale e territoriale) che tenga conto delle modificazioni prodotte dall'attività antropica e delle loro conseguenze sul sistema stesso. Lo studio si è così concentrato sull'analisi degli effetti prodotti da alcune opere idrauliche, quali in particolare la più grande diga in terra d'Europa (Monte Cotugno) e altre minori che hanno profondamente condizionato la dinamica fluviale del fiume Sinni.

Abstract: Cencetti C. & Fredduzzi A. - Analysis by GIS of the variations of the morphological-sedimentary characteristics in the lowland of Sinni River (Basilicata). (IT ISSN 0394-3356, 2008).

The paper describes the results of a GIS implemented study of fluvial dynamics about the morphological, sedimentary and human characteristics of the River Sinni (Basilicata, Southern Italy). The aims are to characterize the present riverbed conditions and to define the evolutionary trend of the alluvial plain - riverbed system to assume criteria for a correct management of the fluvial system itself. The study was mainly focused on the determination of the impacts of some hydraulic works, first of all the Mt. Cotugno Dam, which is the biggest earth dam in Europe.

The River Sinni watershed measures 1427 km² in area; the studied reach extends 36 km, from the Mt. Cotugno Dam to the river mouth in the Ionian Sea.

The study of morphological, sedimentary and human characteristics was primarily carried out by photointerpretation and by a field survey.

Moreover, the analysis of all the acquired historical documents (maps and aerial photographs) enabled us to measure the morphological planimetric variations of the riverbed occurred in the last 50 years.

The mentioned activities were made by the implementation of a geographic database, which is an useful tool to visualize, to manage and to analyse all the collected data.

The results show that the width of the active riverbed was progressively reduced (from 425 m in the 1954 to 110 m in the 2003); so the braiding index (from 3,1 m in the 1954 to 1,7 m in the 2003), while the extension of the vegetated sedimentary bodies increased (from 4,3 % in the 1954 to 37 % in the 2003) to the detriment of the ones devoid of vegetation. A qualitative analysis made on historical documents, anterior to the aerial photographs of the 1954, suggests that the changes started after the 1954.

Moreover we observed that such changes, pointed out by the historical analysis, didn't occur in the same way along the whole studied reach. In the first part, from the confluence with the major tributary (River Sarmento) to the check dam of S. Laura, the narrowing is substantially due to the reduction of the hydraulic discharge which caused a gradual shift from the sedimentary bodies, but there isn't evidence of vertical erosion or downcutting (which are indicators of the riverbed disequilibrium). This is happening because the sedimentary input of the River Sarmento combined with the flow modulation produced by the Mt. Cotugno Dam (which anyway causes the narrowing), are able to compensate the interruption of the sedimentary continuum due to the dam itself. Downstream S. Laura's check dam, until the river mouth in the Ionian Sea, the narrowing is connected with diffused processes of vertical erosion which induces a strong incision of the riverbed. In this reach we observed a morphological variation of the fluvial pattern: the riverbed passed from a multichannel braided type (comparable to the morphology of the upstream reach) to a single channel type with alternate bars (wandering). The causes of the present situation, in addition to the mentioned hydraulic works, are the quarrying activity and works of flow channelization (levees and bank erosion protections).

Parole chiave: Fiume Sinni, dinamica fluviale, trasporto solido, caratteri morfologico-sedimentari, analisi storica.

Key words: River Sinni, fluvial dynamics, bedload transport, morphological-sedimentary characteristics, historical analysis.

1. INTRODUZIONE

Le pianure alluvionali sono diventate in tempi storici aree d'intenso sviluppo urbanistico ed industriale. È per questo che non è più possibile prescindere da una corretta gestione del sistema fluviale che tenga conto di tutte le conseguenze degli interventi realizzati, comprese quelle che, in genere, sono scarsamente considerate e che riguardano la dinamica sedimentaria degli alvei.

La corretta gestione del sistema alveo-pianura alluvionale costituisce, tuttavia, un problema ancora non completamente risolto, per una serie di motivi, tra i

quali la carenza di conoscenza dei processi che agiscono nel sistema stesso, soprattutto per quanto riguarda il fenomeno del trasporto solido.

Le caratteristiche idraulico-geometriche di un sistema fluviale in ogni punto (variabili dipendenti) sono frutto di una serie di variabili di controllo (o variabili indipendenti) connesse con il clima, le caratteristiche geologiche del territorio, l'uso del suolo e i caratteri fisiografici del bacino imbrifero; tutti questi elementi insieme determinano il regime idrologico e sedimentologico del corso d'acqua.

In aggiunta a questo tipo di forme di controllo

naturali sul sistema, è necessario considerare gli effetti dovuti all'attività antropica, che interferisce con il sistema fluviale sia agendo direttamente sulle sue caratteristiche morfologico-sedimentarie (si considerino ad esempio gli interventi in alveo, la costruzione di opere idrauliche o l'attività estrattiva di inerti dall'alveo) sia indirettamente, modificando le variabili di controllo (per esempio l'uso del suolo).

I corsi d'acqua costituiscono così dei sistemi molto complessi e dinamici, i cui caratteri variano nel tempo e nello spazio, in conseguenza dei cambiamenti delle suddette "variabili di controllo".

Quando una modifica delle variabili indipendenti è tale da costituire una perturbazione della condizione di equilibrio, il sistema si sposta inevitabilmente verso una nuova condizione di equilibrio, che non rappresenta altro che l'adattamento del sistema all'ambiente circostante.

Per quanto detto, qualunque analisi dello stato di un alveo, effettuata assumendo che il fiume rimarrà nella sua condizione attuale, non avrà senso se il corso d'acqua non si trova in condizioni di equilibrio con l'ambiente circostante (BOVEE, 2004).

In quest'ottica l'approccio geomorfologico-sedimentario allo studio dei corsi d'acqua parte dall'analisi delle forme e dei processi osservabili su un fiume, per ricostruire le trasformazioni che lo stesso ha subito nel tempo, individuarne le cause (alle diverse scale di analisi) e definire le sue tendenze evolutive; ciò al fine di intervenire sulla dinamica dell'alveo, ove necessario, senza stravolgerne le caratteristiche morfologico-sedimentarie e soprattutto senza innescare processi indesiderati.

In pratica, lo scopo ultimo è quello di determinare l'equilibrio naturale del sistema, valutare i condizionamenti apportati dall'uomo e individuare le misure atte a mantenere o raggiungere un equilibrio dinamico opportuno, duraturo, fruibile e sostenibile.

In questo contesto l'analisi delle variazioni morfologico-planimetriche di un corso d'acqua (analisi storica) rappresenta uno strumento molto 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.

Nel caso specifico lo studio si è concentrato sull'analisi degli effetti prodotti nel sistema fluviale del F. Sinni, in Basilicata, da alcune opere, in particolare dalla più grande diga in terra d'Europa (Monte Cotugno) e da altre minori, che hanno profondamente condizionato i processi di dinamica fluviale.

Il bacino idrografico del F. Sinni si estende complessivamente per 1427 km² (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 (Fig. 1).

2. ANALISI STORICA

Le fonti storiche sono molto diversificate e non includono soltanto documenti cartografici o rilievi topografici (GURNELL *et al.*, 2003). Tuttavia i documenti relativi a rilievi topografici sono senza dubbio le fonti più importanti e tra questi sicuramente utilissimi sono i rilievi di sezioni trasversali e profili longitudinali. Ai dati topografici "classici" si sono aggiunte recentemente le foto aeree e, da ultime, le immagini satellitari.

Per quanto riguarda la disponibilità, ma anche la precisione dei documenti relativi a rilievi topografici storici, l'inizio del diciannovesimo secolo costituisce un periodo importantissimo. È a partire da quella data, infatti, che si è verificata una vera e propria rivoluzione scientifica e tecnologica, frutto della forte espansione economica ed industriale dell'Europa in quel periodo, che ha riguardato anche la produzione degli strumenti di rilevamento topografico.

L'analisi dei documenti cartografici storici è fondamentale perché costituisce l'unico mezzo per determinare i cambiamenti avvenuti a medio e a lungo termine, in un intervallo di tempo che va dalle decine alle centinaia di anni, e consente numerose osservazioni qualitative e quantitative (CENCETTI, 2002).

Le osservazioni sono sintetizzate da una serie di parametri morfologici specifici, le cui variazioni nel tempo possono essere messe in evidenza tramite tre modalità: separatamente, in sovrapposizione o in sequenza. La sovrapposizione è generalmente usata per gli alvei monocanale (rettilinei, sinuosi o meandriformi), mentre la sequenza risulta più efficace per gli alvei intrecciati (SURIAN, 2002).

La tabella 1 riporta alcune delle informazioni che possono essere ricavate dalla cartografia storica.

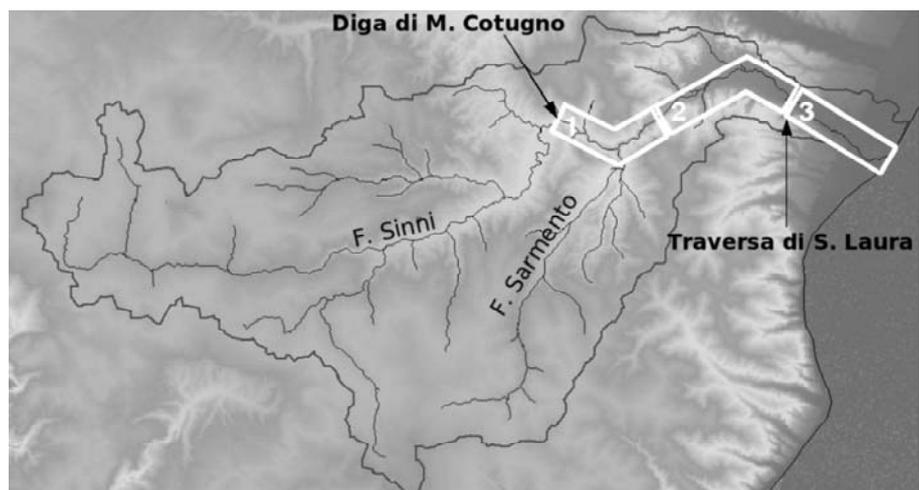


Fig. 1 - Rappresentazione schematica del bacino e del reticolo idrografico del F. Sinni. In bianco è evidenziata la porzione del tracciato oggetto del presente lavoro ed i tre tratti omogenei individuati.

Sketch of the watershed and of the hydrographical net of Sinni River. The white line shows the three studied homogenous reaches.

Tab. 1 - Informazioni desumibili dalla cartografia storica (da SURIAN, 2002).

Information inferable from historical maps (from SURIAN, 2002).

Tipo di dato	Modalità di utilizzo delle carte (separatamente, in sequenza, in sovrapposizione)	Tecnica di analisi
Larghezza dell'alveo	Separatamente o sovrapposizione	Misura diretta
Sinuosità	Separatamente o sovrapposizione	Misura diretta
Grado d'intrecciamento	Separatamente o sequenza	Misura diretta
Tipologia d'alveo	Separatamente o sequenza	Classificazione
Localizzazione e distribuzione della variazione morfologica e dei paleocanali	Sovrapposizione o sequenza	Osservazione generale
Estensione della variazione morfologica	Sovrapposizione o sequenza	Misura diretta
Tassi di movimento (ad es. m/anno)	Sovrapposizione	Misura diretta
Direzione del movimento	Sovrapposizione	Misura diretta
Tipo di movimento	Sovrapposizione o sequenza	Classificazione
Età delle superfici (terrazzi recenti, pianure inondabili)	Sovrapposizione	Zonazione

Un corretto utilizzo dei documenti cartografici storici deve poi tenere conto dei limiti di affidabilità e di applicazione che li contraddistinguono; in particolare è necessario definire la precisione (accuratezza) dei documenti cartografici sotto diversi aspetti (GURNELL *et al.*, 2003).

Nel presente lavoro l'analisi storica delle variazioni morfologico-planimetriche 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 (BRAVARD *et al.*, 1997; LEYS & WERRITTY, 1999; WINTERBOTTOM, 2000; CENCETTI, 2002; SURIAN, 2002).

In particolare, la procedura prevede una prima fase di acquisizione e georeferenziazione dei documenti cartografici reperiti, utile per uniformare il sistema di riferimento e per determinare il grado di accuratezza dei documenti storici. Successivamente è necessario procedere alla digitalizzazione di alcuni elementi morfologico-planimetrici comuni a tutti i documenti, la cui misura consente di effettuare confronti e di quantificare le modificazioni planimetriche subite dal tracciato del corso d'acqua nell'intervallo di tempo considerato.

2.1 Acquisizione e georeferenziazione dei documenti cartografici

La prima parte del lavoro è consistita in una ricerca bibliografica volta all'individuazione di tutti i documenti cartografici storici (mappe e foto aeree) disponibili per il tratto del corso d'acqua oggetto di studio.

I documenti cartografici utilizzati sono stati i seguenti:

1. Ortofotocarte digitali dell'Autorità di Bacino della Basilicata (2003 - risoluzione 40 cm, sistema di riferimento Gauss Boaga - Roma40);
2. Carta Tecnica Regionale della Regione Basilicata, in scala 1:10.000 (1986 - sistema di riferimento Gauss Boaga - Roma40);
3. Fotogrammi aerei del volo G.A.I. (1954);
4. Carte IGM in scala 1:100.000 (1875-1900, sistema di riferimento non individuato - Fig. 2);

5. Carte ITM (Istituto Topografico Militare) in scala 1:30.000 (1870 circa, sistema di riferimento non individuato);

6. 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 del 2003);
- 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 che dispone di alcuni moduli atti allo scopo ed estremamente efficaci (*i.points*, *i.group*, *i.target*, *i.rectify*). In particolare, il modulo di rettificazione *i.rectify* presenta l'enorme vantaggio di lavorare in *background*, a bassa priorità, e di avvertire l'utente con una e-mail di sistema una volta che il processo è terminato. Ciò consente di continuare a lavorare sul progetto senza problemi di sovraccarico della memoria fisica e virtuale.

Anche le foto aeree sono state importate nel database tramite una semplice operazione di rettificazione, sebbene sarebbe stata più rigorosa una procedura di ortoproiezione. Tuttavia, l'elevato numero di fotografie aeree da importare ha richiesto l'utilizzo di un metodo semplice e sufficientemente veloce allo stesso tempo.

In questo caso, l'operazione di rettificazione può essere considerata accettabile, in quanto l'area di studio (una pianura alluvionale) è pianeggiante e ciò minimizza gli errori di distorsione dovuti alle differenze di

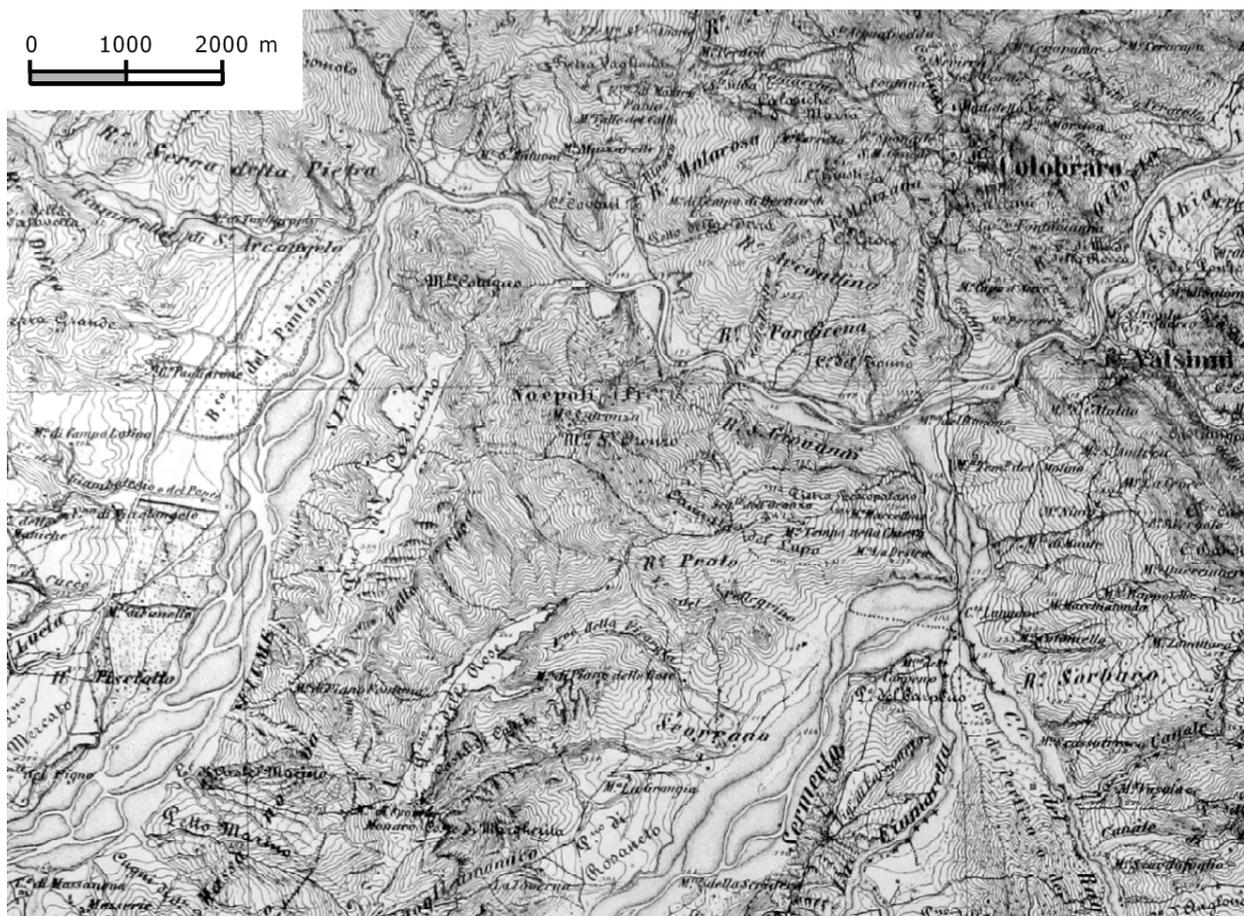


Fig. 2 - Carta topografica IGM (1875-1900). Particolare della confluenza con il F. Sarmento.

Topographic map by IGM (Italian Geographic Military Institute, 1875-1900). Detail of the confluence between Senni River and Sarmento River.

quota. Quanto detto è ampiamente dimostrato dai valori ottenuti dell'RMS (*Root Mean Square*) error - 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 G.A.I.), 6,9 m per le carte I.G.M. e 25,94 m per le carte I.T.M. I valori ottenuti possono essere considerati assolutamente compatibili con la precisione richiesta dalle finalità dello studio.

2.2 Vettorializzazione e misura dei parametri morfologici

Seguendo l'approccio morfologico-sedimentario, il metodo di lavoro prevede innanzi tutto la definizione delle condizioni attuali del sistema. Tramite l'analisi delle ortofotocarte del 2003 ed i rilevamenti speditivi sul terreno, gli elementi morfologici, sedimentari ed antropici utili a caratterizzare lo stato attuale dell'alveo e della pianura alluvionale del F. Senni sono stati cartografati ed importati in formato vettoriale all'interno di un database geografico.

Tra tutti gli elementi rilevati, quelli più importanti dal punto vista geomorfologico sono:

- i limiti dell'alveo attivo, definito come la porzione dell'alveo non intensamente vegetata e caratterizzata

dalla presenza di sedimenti ghiaiosi o sabbiosi (WINTERBOTTOM, 2000); questo comprende il canale ed i corpi sedimentari non vegetati;

- l'asse dell'alveo, come sistema di riferimento intrinseco al sistema e qui definito, tra le varie opzioni possibili (TACCONI, 1990), come il luogo dei punti equidistanti dalle sponde;
- i corpi sedimentari, la cui frequenza ed estensione è correlata alla quantità di materiale solido trasportato dal corso d'acqua. Per valutare il loro livello di mobilità, è utile rilevarne lo stato superficiale (Fig. 3).

Il database così realizzato è uno strumento molto utile in un'ottica di "gestione" del sistema fluviale. È possibile, infatti, associare agli elementi vettoriali tutte le informazioni necessarie, sia sotto forma di attributi (es. tipo di corpi sedimentari, loro stato vegetativo e stato di attività) sia tramite collegamenti ad altri documenti (foto, schede monografiche, fogli di calcolo, etc.). Inoltre, si possono eseguire operazioni topologiche, effettuare confronti tra i tracciati nei diversi stadi temporali, eseguire *queries* di vario tipo e altro. Il database costituisce senza dubbio un'ottima base di partenza per la programmazione sia delle attività di monitoraggio dei processi fluviali, sia di eventuali studi successivi.

Per effettuare i confronti tra i tipi di tracciato fluviale nei diversi stadi temporali è necessario misurare alcuni parametri comuni a tutti i documenti cartografici

utilizzati (BELL & VORST, 1981; TACCONI, 1990).

Nel caso specifico, i parametri morfologico-planimetrici ritenuti più utili ai fini di un confronto storico sono:

- la larghezza dell'alveo attivo;
- l'indice di intrecciamento;
- l'estensione dei corpi sedimentari, evidenziandone lo stato vegetativo (barre nude, fortemente vegetate, arborate) che, come noto, è direttamente correlato alla loro mobilità.

Dato lo spiccato carattere *braided* del F. Sinni (Fig. 3), altri parametri, più strettamente connessi con la sinuosità e con la tendenza del fiume a formare anse e meandri (indice di sinuosità, lunghezza del meandro, ampiezza del meandro, raggio di curvatura equivalente) sono stati tralasciati, poiché non ritenuti significativi.

Ciò è valido anche per gli indici che misurano la tendenza alla migrazione laterale, in quanto l'esame dei fotogrammi aerei evidenzia come nel 1954 l'alveo del F. Sinni, per gran parte del tratto oggetto di studio, occupasse quasi completamente la propria pianura alluvionale (Fig. 11).

La larghezza dell'alveo attivo è il parametro che misura l'estensione della porzione di alveo non intensamente vegetata e caratterizzata dalla presenza di sedimenti ghiaiosi o sabbiosi (WINTERBOTTOM, 2000).

Questo parametro può essere valutato 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 rife-

rimento univoco, l'asse dell'alveo (la cui lunghezza varia nel tempo) viene suddiviso in un certo numero di parti. Nel caso in questione, l'alveo del F. Sinni nel tratto considerato è stato suddiviso in 382 parti: l'equidistanza, pari a circa 100 m, è ovviamente leggermente diversa per ognuno dei periodi considerati. Tracciando in ognuno dei 382 punti un segmento normale all'asse dell'alveo e intersecandolo con il poligono che rappresenta l'alveo attivo si definisce la larghezza dell'alveo nel punto stesso (Fig. 4 a).

L'indice di intrecciamento (*braiding index*) è generalmente definito in letteratura come il numero medio (o massimo) di canali presenti in un tratto d'alveo di lunghezza uguale o superiore a circa 10 volte la larghezza media dell'alveo stesso; nel corso del tempo sono stati proposti diversi metodi di misura e stima di questo parametro (THORNE, 1997).

In questo lavoro l'indice di intrecciamento è stato ottenuto intersecando i segmenti tracciati per misurare la larghezza dell'alveo attivo con il poligono che identifica l'alveo di magra (in nero in figura 3). In questo modo il valore dell'indice è dato dal rapporto tra il numero di segmenti ottenuti dall'operazione di "intersezione" con l'alveo di magra (che è tanto più elevato quanto maggiore è il numero dei canali, Fig. 4 b) ed il numero di segmenti originali (in pratica quelli in Fig. 4 a)

Infine, come ultimo parametro, è stata misurata la superficie dei corpi sedimentari in funzione della presenza e del tipo di vegetazione. Questo parametro non rappresenta un elemento tipicamente utilizzato in letteratura ma, nel caso in esame, è stato di grande aiuto per comprendere l'evoluzione del corso d'acqua (vedi paragrafo 4 "Risultati ed interpretazione dei dati").

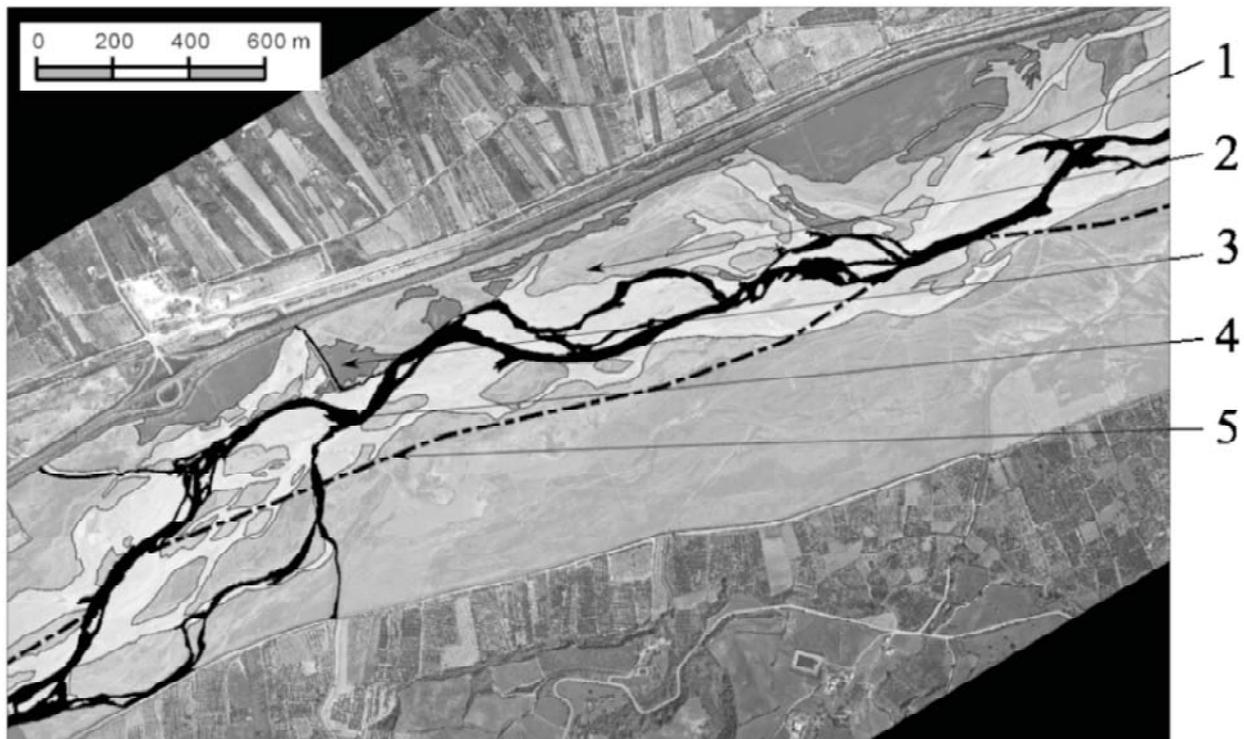


Fig. 3 - Analisi e digitalizzazione degli elementi morfologico-sedimentari (ortofotocarte 2003). Gli elementi principali riportati in carta sono: 1) barre nude; 2) barre fortemente vegetate; 3) barre arborate; 4) canali di magra; 5) asse dell'alveo.

Analysis and drawing of the morphological-sedimentary elements (orthorectified aerial maps, 2003). The main elements are: 1) nude bars; 2) strongly vegetated bars; 3) bars with arboreal vegetation; 4) low flow channels; 5) active riverbed axis.

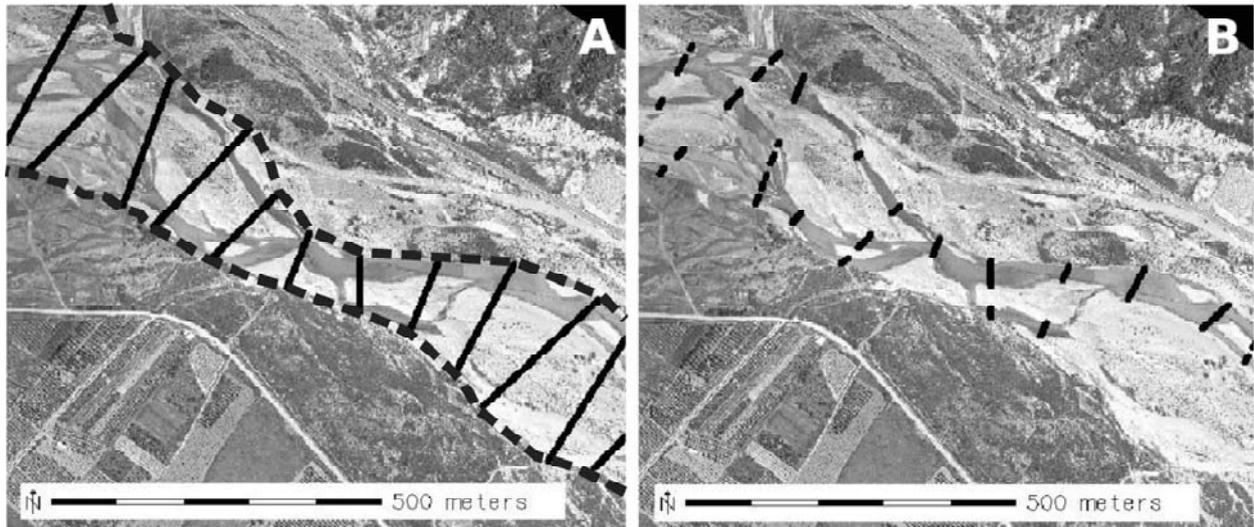


Fig. 4 - Misura dell'indice di intrecciamento. In a) sono riportati i segmenti ed il poligono (linea tratteggiata) che rappresentano l'alveo attivo ; in b) sono riportati i segmenti riferibili ai canali di magra.

Measure of the Braiding Index. The polygon and the segments that represent the active riverbed (a) and the segments related to the low flow channels (b) are highlighted.

3. DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELL'ALVEO

Tramite l'analisi e la fotointerpretazione delle ortofotocarte del 2003 e tramite sopralluoghi speditivi sul terreno è stato possibile individuare e cartografare i principali elementi morfologici, sedimentari ed antropici dell'alveo e della pianura alluvionale e quindi caratterizzare lo stato attuale del corso d'acqua.

In questa fase si è rivelata molto utile la documentazione prodotta nell'ambito della "Ricognizione di attività di Polizia Idraulica e Controllo del Territorio" eseguita dall'Autorità di Bacino della Basilicata, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente dell'Università degli Studi della Basilicata, al fine di analizzare i punti potenzialmente critici del corso d'acqua, quali attraversamenti, canalizzazioni ed in genere tutte le opere trasversali e longitudinali (AUTORITÀ INTERREGIONALE DI BACINO DELLA BASILICATA, 2004). La documentazione, prodotta nell'ambito di tale attività di studio e contenente dati e fotografie inerenti lo stato di conservazione di tutte le opere presenti in alveo, è stata utilizzata come base per verificare sul campo l'intensità dei processi erosivi ed in particolare l'entità dei fenomeni di incisione.

Inoltre, sempre l'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata, nell'anno 2003, ha portato a termine un campionamento dei sedimenti d'alveo del F. Sinni, i cui dati sono stati messi gentilmente a disposizione degli autori. Questo campionamento, consistito complessivamente nel prelievo dall'alveo di 293 campioni, 94 dei quali all'interno del tratto oggetto di studio e riferibili al canale principale, ha permesso di definire la distribuzione granulometrica dei sedimenti (Fig. 5) e, in assenza di misure specifiche di trasporto solido di fondo, costituisce un importante punto di riferimento per la definizione dei caratteri sedimentari del corso d'acqua.

Sulla base dei dati acquisiti, la porzione del fiume oggetto di studio è stata suddivisa in tre tratti omogenei dal punto di vista morfologico-sedimentario (Fig. 1).

Nel dettaglio, gli elementi che hanno maggiormente influito nell'individuazione dei tratti sono:

- l'estensione e la configurazione della pianura alluvionale;
- la configurazione morfologica dell'alveo;
- la distribuzione granulometrica dei sedimenti del canale.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei tratti individuati.

3.1 Tratto 1

In questo tratto il F. Sinni è caratterizzato da una morfologia monocanale a barre alternate e presenta una debole tendenza a formare meandri: la sinuosità media è pari a 1,45 (Fig. 6).

Per quasi tutto il tratto il fiume è confinato in una stretta valle alluvionale la cui larghezza varia tra un minimo di 100 m ed un massimo di 490 m; a valle della dorsale Valsinni - Colobrarò, la pianura alluvionale si fa più ampia (in media 800 m) ma il fiume rimane monocanale e meandriforme.

I dati granulometrici indicano che i sedimenti del fondo dell'alveo sono estremamente grossolani ed eterogenei: il diametro medio dei clasti (ottenuto utilizzando tutti i campioni prelevati in questo tratto dall'AdB della Basilicata) è pari a circa 58 mm e numerosi campioni evidenziano la presenza di massi di notevoli dimensioni (Fig. 5).

In realtà, per i primi 7 km, dallo sbarramento fino alla confluenza con il F. Sarmento, la portata è molto modesta e coincide col deflusso minimo vitale imposto in uscita dall'invaso; l'alveo risulta stretto (mediamente misura appena 30 m) e fortemente vegetato.

Il F. Sarmento svolge un ruolo molto importante nella dinamica morfologico-sedimentaria del F. Sinni, soprattutto se si considerano le condizioni in cui si trova il corso d'acqua dopo la costruzione dell'invaso di M. Cotugno. Il Sarmento, infatti, non soltanto è l'affluente principale (il suo bacino rappresenta circa il

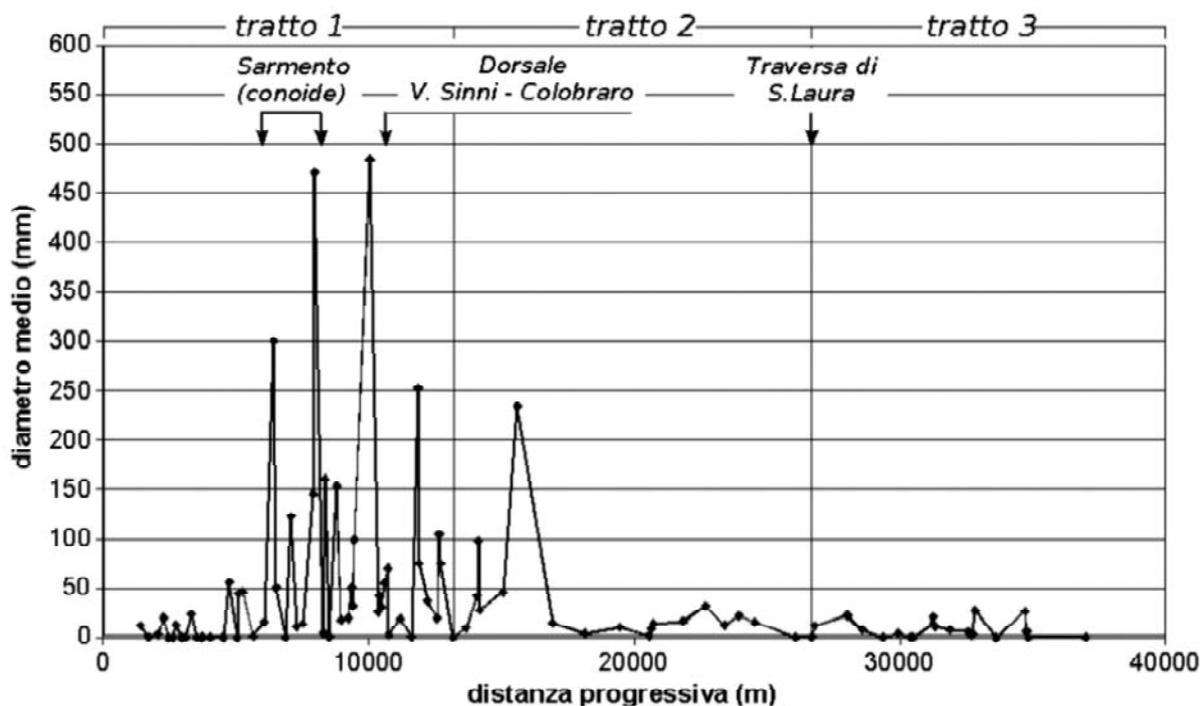


Fig. 5 - Variazione del diametro medio dei sedimenti d'alveo. Le distanze progressive sono misurate a partire dalla diga di M. Cotugno. *Variation of the mean diameter of the riverbed sediments. The progressive distances are measured starting from the Mt. Cotugno dam.*

22% dell'intero bacino idrografico del Sinni), ma presenta anch'esso un alveo ghiaioso, caratterizzato da un trasporto solido molto elevato; forma infatti un ampio conoide in corrispondenza della confluenza ed è caratterizzato da portate idriche paragonabili a quelle del suo recipiente.

Quanto detto si riflette sulla granulometria dei sedimenti d'alveo: il grafico di figura 5 mostra come il diametro medio dei sedimenti del canale subisca un incremento molto consistente proprio in corrispondenza della conoide del F. Sarmento.

Il valore massimo dello stesso grafico si riferisce al campione prelevato in corrispondenza della sezione denominata SZ-SB 167, localizzata nel punto in cui il fiume attraversa la dorsale Valsinni - Colobraro e lambisce i versanti su cui affiorano le formazioni terrigene cretaceo-mioceniche del Flysch Numidico e della Formazione di Serra Palazzo (Fig. 7): la vicinanza dei versanti, caratterizzati dall'affioramento delle suddette formazioni litoidi, spiega l'elevata frequenza di massi arenacei di notevoli dimensioni che si riscontrano nell'alveo e nel canale.

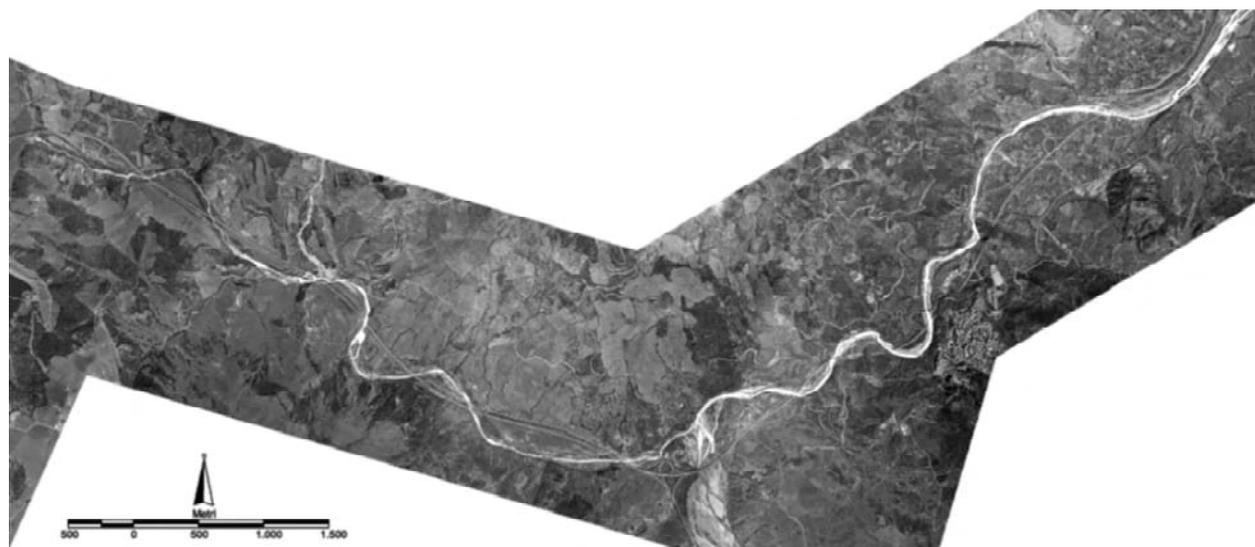


Fig. 6 - Rappresentazione planimetrica del tratto 1. In bianco sono evidenziati i canali di magra (la base topografica è l'ortofotocarta del 2003).

Planimetric view of the reach 1. The white line highlights the low flow channels. (the topographic map is the orthorectified aerial map, 2003).

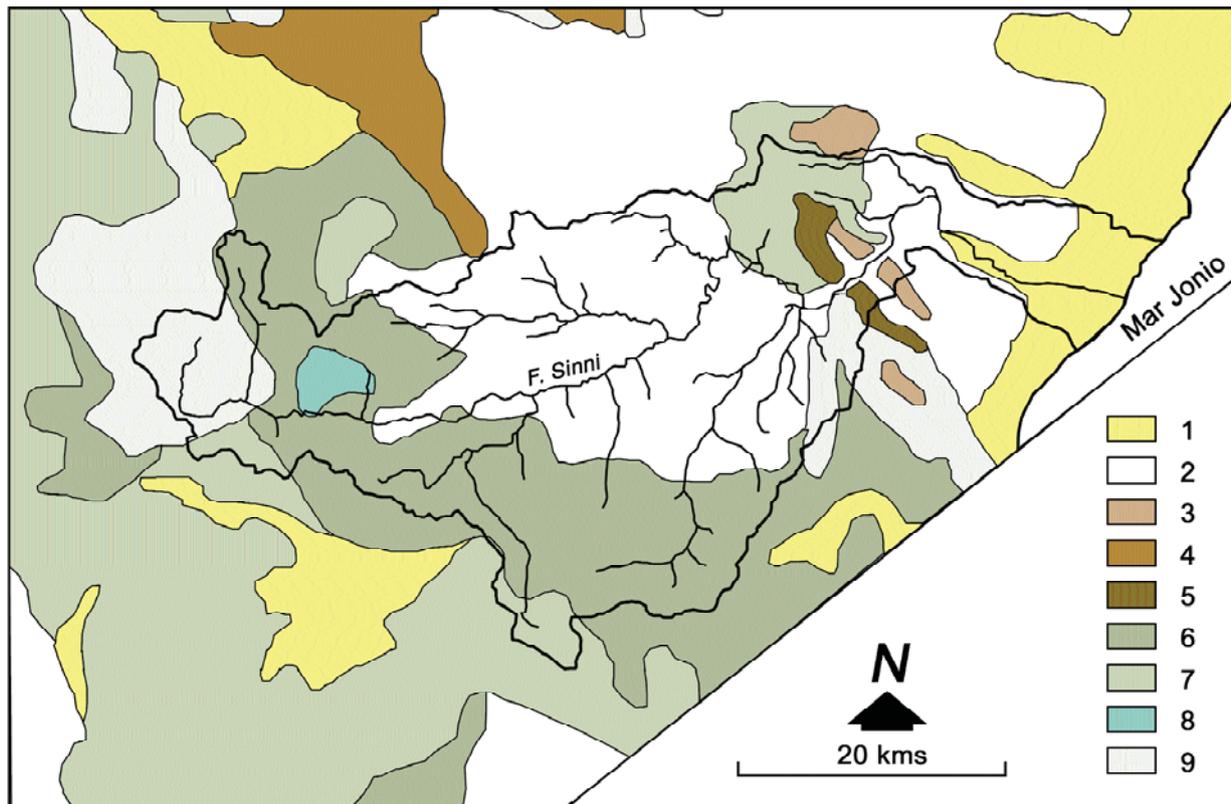


Fig. 7 - Schema litologico-formazionale dell'area del bacino del F. Sinni. *Legenda:* 1) Alluvioni recenti ed attuali (Olocene); 2) Sedimenti clastici continentali (Pliocene-Pleistocene); 3) Formazione di Serra Palazzo (Miocene inferiore-medio); 4) Flysch di Gorgoglione (Miocene inferiore-medio); 5) Flysch Numidico (Miocene inferiore); 6) Unità Liguridi (Cretaceo-Miocene inferiore); 7) Piattaforma appenninica (Trias-Miocene inferiore); 8) Piattaforma apula (Trias-Paleogene); 9) Successioni Lagonegresi (Trias-Cretaceo). Da AUTORITÀ INTERREGIONALE DI BACINO DELLA BASILICATA, 2007 (ridisegnato e semplificato).

Lithological-formational sketch of the area including the watershed of Sinni River. Legenda: 1) Recent and present alluvial sediments (Olocene); 2) Continental clastic sediments (Pliocene-Pleistocene); 3) Serra Palazzo Formation (Lower-Middle Miocene); 4) Gorgoglione Flysch (Lower-Middle Miocene); 5) Numidic Flysch (Lower Miocene); 6) Ligurides Units (Cretaceous - Lower Miocene); 7) Apenninic Platform (Triassic - Lower Miocene); 8) Apul Platform (Triassic - Paleogene); 9) Lagonegro Successions (Triassic - Cretaceous). From AUTORITÀ INTERREGIONALE DI BACINO DELLA BASILICATA, 2007 (redrawn and simplified).

Nella prima parte del tratto, dallo sbarramento alla confluenza con il Sarmento, si rileva una debole tendenza all'approfondimento del fondo dell'alveo (evidenziata, ad esempio, dallo scalzamento della fondazione di un viadotto). Questo fenomeno, dovuto in genere ad un deficit sedimentario, è comunque poco marcato, in quanto le portate idriche sono mantenute piuttosto basse dall'esercizio dell'invaso situato a monte.

A valle della confluenza con il Sarmento il corso d'acqua si presenta in condizioni migliori dal punto di vista morfologico-sedimentario: l'alveo è in equilibrio con la pianura alluvionale (sponde basse) e non si riscontrano fenomeni di incisione. Tutto ciò è senza dubbio dovuto ai consistenti apporti sedimentari dello stesso Sarmento.

3.2 Tratto 2

In questo tratto, che si estende complessivamente per circa 12,7 km sino alla traversa di S. Laura, il tracciato del F. Sinni assume una morfologia spiccatamente multicanale (*braided*) con un elevato grado di intrecciamento e si espande notevolmente nella pianura alluvionale: la larghezza dell'alveo misura in media 270

m ed in alcuni punti supera i 700 m (Fig. 8).

Anche la valle è molto ampia (in media 2 km) ed è delimitata da blandi versanti collinari su cui affiorano i litotipi argillosi e sabbiosi del Plio-Pleistocene.

I sedimenti dell'alveo sono molto eterogenei (dal limo alla ghiaia), ma nettamente meno grossolani rispetto al tratto precedente: il diametro medio dei clasti, ottenuto utilizzando i dati di tutti i campioni prelevati in questo tratto, è pari a circa 32 mm.

L'alveo è caratterizzato da sponde non eccessivamente alte (da 1,5 a 4 m) ed anche in questo caso non si rilevano evidenti segni di incisione ed approfondimento del fondo. Ciò è messo in evidenza dalle condizioni delle pile del "ponte tubo" in località Caramola, che non mostrano segni di scalzamento delle loro fondazioni.

Nei tre chilometri terminali la pendenza diminuisce bruscamente, per effetto della presenza della traversa di S. Laura, realizzata nel 1953 e, allo stato attuale, completamente interrita. Il rallentamento della corrente e la conseguente deposizione dei sedimenti più fini hanno favorito l'attecchimento della vegetazione che ricopre l'alveo quasi completamente.

3.3 Tratto 3

L'ultimo tratto si estende a partire dalla traversa di S. Laura fino alla foce nel mar Ionio ed è lungo complessivamente 10,7 km (Fig. 9).

In questo tratto il corso d'acqua torna ad assumere una morfologia monocanale a barre alternate (*wandering*). È caratterizzato da una sinuosità piuttosto bassa (1,15) e si restringe notevolmente, mostrando una larghezza dell'alveo attivo mediamente pari a 37,5 m.

Dopo circa 2,5 km, l'alveo lambisce il versante in destra idrografica, costituito dalle formazioni plio-pleistoceniche che, più a valle, lasciano il posto ai terrazzi marini del Pleistocene superiore. Nel tratto in prossimità della foce il corso d'acqua scorre attraversando la pianura costiera, costituita dai depositi marini olocenici.

Le foto aeree del volo G.A.I. (1954) ed anche la carta IGM (1875-1900) evidenziano come, sulla pianura alluvionale in sinistra idrografica, fosse presente un bosco planiziale ormai relitto (Bosco del Pantano). Attualmente gran parte di quest'area boschiva è stata sostituita da campi coltivati; un'ultima traccia rimane oggi solo nei pressi della foce.

Per quanto riguarda la granulometria dei sedimenti d'alveo, si assiste ad un ulteriore decremento delle dimensioni dei clasti (Fig. 5). Ciò è dovuto principalmente alla bassa pendenza del fondo, considerata la prossimità della foce: il diametro medio dei sedimenti del canale (ottenuto utilizzando tutti i campioni prelevati in questo tratto) è pari a circa 8,5 mm. Va considerato, inoltre, l'effetto della traversa di S. Laura che ha trattenuto totalmente il trasporto solido di fondo, sino al suo completo interrimento. Allo stato attuale la briglia non svolge più questa funzione di interruzione del *continuum* sedimentario; tuttavia i materiali più grossolani vengono comunque depositati nel tratto a monte, a causa della netta diminuzione di pendenza dell'alveo.

In questo tratto si rileva un grado di incisione e di approfondimento del fondo molto marcato, evidenziato dagli stessi caratteri morfologico-sedimentari dell'alveo: i corpi sedimentari sono frequentemente occupati da vegetazione arborea e spesso sospesi; inoltre, le sponde dell'alveo sono alte e soggette a processi di erosione laterale diffusi. Lo stato di conservazione dei manufatti presenti in alveo costituisce un'ulteriore indicazione

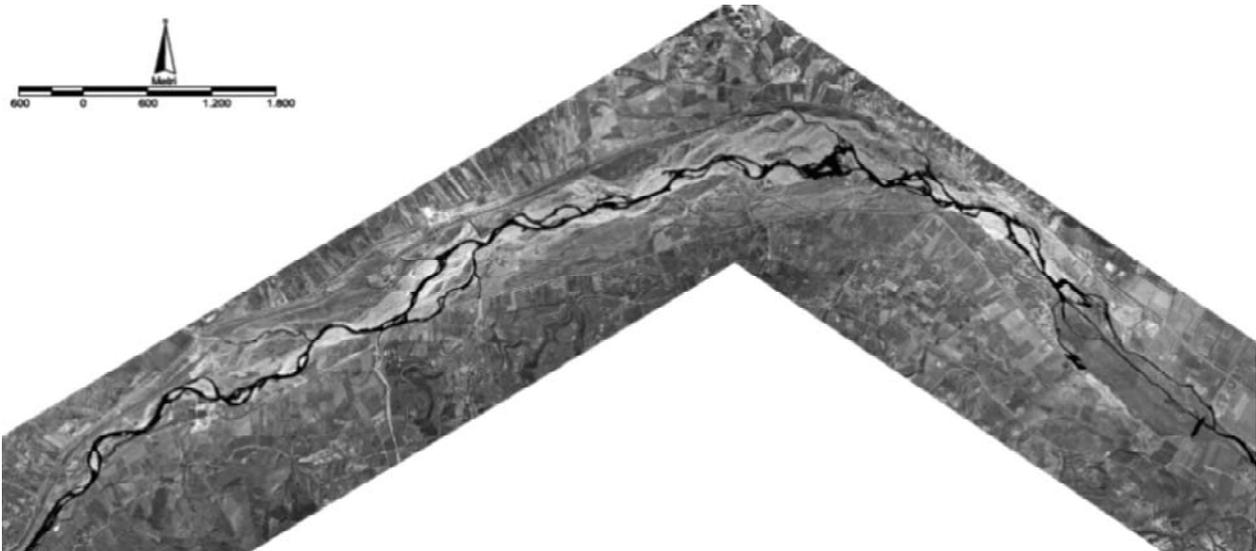


Fig. 8 - Rappresentazione planimetrica del tratto 2. In nero sono evidenziati i canali di magra (la base topografica è sempre l'ortofotocarta del 2003).

Planimetric view of the reach 2. The black line highlights the low flow channels. (the topographic map is the orthorectified aerial map, 2003).

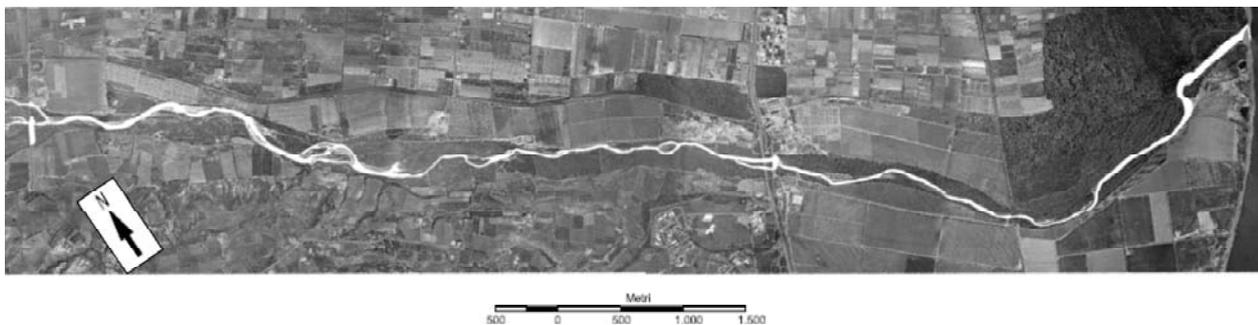


Fig. 9 - Rappresentazione planimetrica del tratto 3, in bianco sono evidenziati i canali (base topografica ortofoto 2003).

Planimetric view of the reach 3. The white line highlights the low flow channels. (The topographic map is the orthorectified aerial map 2003).

di tale tendenza all'approfondimento: la platea di fondazione della traversa di S. Laura e le pile del "ponte tubo" in località Pantanello, ad esempio, appaiono scalzate per oltre un metro (Fig. 10).

4. RISULTATI E INTERPRETAZIONE DEI DATI

L'analisi storico-cartografica dell'alveo del F. Sinni a valle della Diga di M. Cotugno ha consentito di quantificare le variazioni planimetriche verificatesi 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 altro cambiamento molto evidente 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 si è praticamente triplicata: nel 1954 queste occupavano soltanto il

28,3 % dell'alveo, mentre nel 2003 ne occupavano l'83,3 % (Fig. 11).

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 (Fig. 12). L'analisi delle carte IGM (1875-1900) che, sebbene non forniscano indicazioni sulla vegetazione, permettono di determinare larghezza e grado di intrecciamento dell'alveo, in quanto sono riportati i corpi sedimentari (Fig. 2), dimostra come questi cambiamenti siano iniziati successivamente al 1954.

Quest'ultimo dato, vale a dire la velocità dei processi evidenziati dall'analisi storica, costituisce un primo importante indizio sulla natura antropica delle cause che li hanno prodotti, in quanto i fattori naturali, tranne rare eccezioni che rientrano comunque nella categoria degli eventi catastrofici, agiscono in maniera estremamente lenta tanto che, spesso, le modificazioni



Fig. 10 - Effetti dei processi di erosione ed incisione nell'ultimo tratto del F. Sinni. 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.

Effects of the erosional processes in the final reach of Sinni River. On the left the S. Laura check dam is shown; on the right the down-cutting is highlighted by the critical conditions of a bridge pylon left.

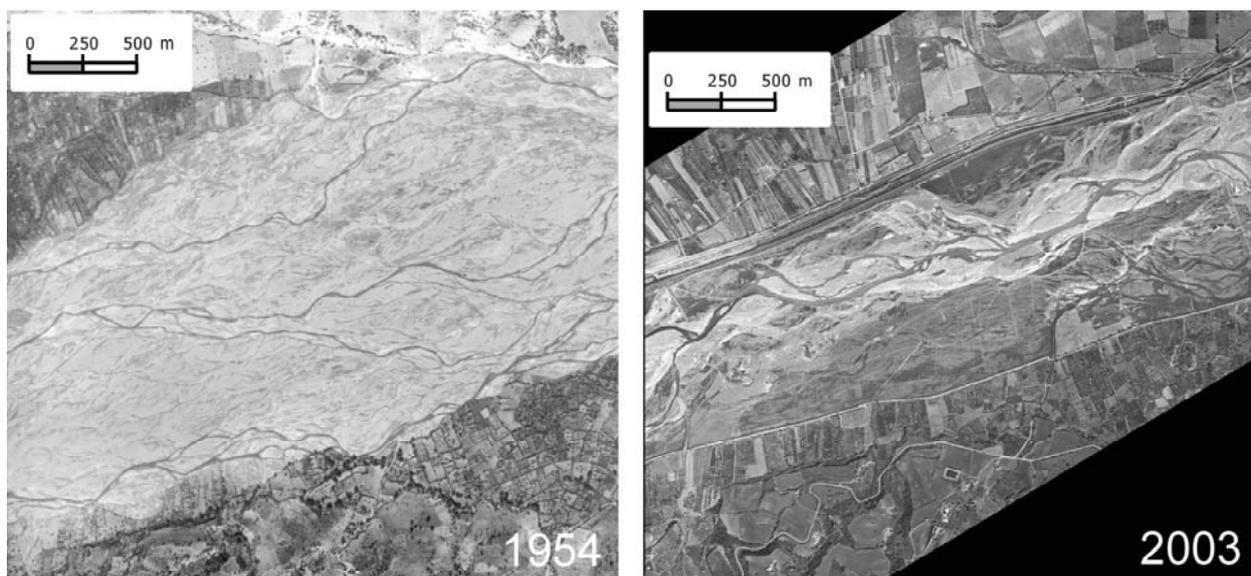


Fig. 11 - Confronto storico relativo ad una porzione dell'alveo a monte della traversa di S. Laura.

Historical comparison related to a reach upstream the S. Laura check dam.

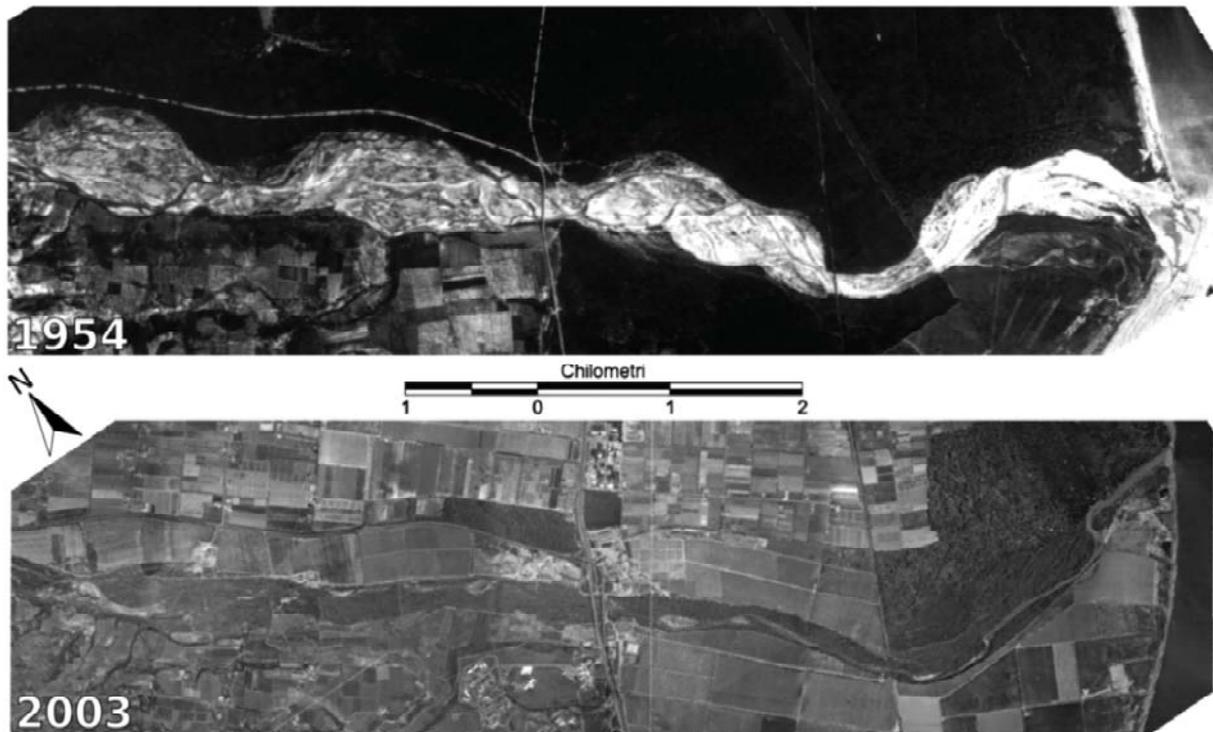


Fig. 12 - Confronto storico relativo ad una porzione dell'alveo a valle della traversa di S. Laura.
 Historical comparison related to a reach downstream the S. Laura check dam.

prodotte non sono apprezzabili alla scala della vita umana.

Entrando nel dettaglio e 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 attivo è dovuto alla riduzione delle portate liquide che ha comportato il progressivo abbandono dei corpi sedimentari e la loro progressiva stabilizzazione (barre arborate), ma non si riscontrano fenomeni di erosione verticale e di incisione.

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 un deficit sedimentario; la loro assenza, nel caso in esame, va considerata indicativa di una condizione di sostanziale stabilità dell'alveo del F. Sinni.

L'analisi storica ed il rilevamento dell'alveo evidenziano, in sintesi, come nel tratto a valle della confluenza con il T. Sarmento sino alla traversa di S. Laura, si sia ridotta in maniera consistente l'area di pertinenza del corso d'acqua e come questo sia avvenuto senza che si sia instaurata alcuna condizione di instabilità e disequilibrio del sistema fluviale. Come già detto, tutto ciò è imputabile essenzialmente ad una consistente riduzione delle portate liquide del corso d'acqua.

Sebbene non sia possibile escludere che tale riduzione delle portate possa essere connessa ad una variazione del regime pluviometrico e, quindi, più in generale ad un fattore di carattere climatico, è ragionevole affermare che tale causa possa essere ritenuta trascurabile rispetto all'impatto che la realizzazione di un invaso da 530 milioni di m³ ha avuto sul regime idrologico del F. Sinni.

Le buone condizioni morfologico-sedimentarie dell'alveo in questo tratto sono dovute 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 laterale, che hanno comportato e comportano tuttora una generale condizione di dissesto dell'alveo (Fig. 10).

Infatti è stato prodotto, 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.

Soprattutto in questo caso la velocità con la quale la trasformazione si è verificata denota senz'altro una causa antropica: si può affermare che le foto aeree del volo G.A.I. (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).

La trasformazione subita dal corso d'acqua in questo tratto si inserisce in un'ampia letteratura che riguarda le variazioni morfologiche dei fiumi europei e, in particolare, dei fiumi italiani. Numerosi studi, infatti, hanno messo in evidenza come processi quali l'abbassamento del fondo, il restringimento dell'alveo nonché il cambiamento della configurazione morfologica abbiano interessato, soprattutto nel corso degli ultimi decenni, la gran parte dei fiumi italiani (MARAGA & MORTARA, 1981; GENTILI & PAMBIANCHI, 1987; BECCHI & PARIS, 1989; BRAGA & GERVASONI, 1989; TACCONI & BILLI, 1990; CENCETTI *et al.*, 1991, 1994, 2002, 2004; COLTORTI *et al.*, 1991; CANUTI *et al.*, 1992, 1994; MARAGA, 1992; LAMBERTI, 1993; DUTTO & MARAGA, 1994; BILLI *et al.*, 1994; SABATO, 1994; CASTALDINI & PIACENTE, 1995; CAPELLI *et al.*, 1997; SURIAN, 1999; AUCELLI & ROSSKOPF, 2000; MARCHETTI, 2002; BURNELLI *et al.*, 2003; SURIAN & RINALDI, 2003).

In particolare, facendo riferimento allo schema (Fig. 13) proposto da SURIAN & RINALDI (2003), la trasformazione dell'alveo nell'ultimo tratto corrisponde al passaggio dalla tipologia C, ossia dei fiumi a canali intrecciati, alla tipologia transizionale F (alvei sinuosi a barre alternate).

Le cause che generalmente gli autori individuano come responsabili delle variazioni morfologiche sono essenzialmente di natura antropica e sono riconducibili a interventi localizzabili sia a scala di bacino sia a scala di alveo (o di tratto). Per riassumere sinteticamente si possono citare: le variazioni dell'uso del suolo (dovute al progressivo abbandono delle pratiche agricole o agli interventi di riforestazione), l'estrazione di inerti in alveo e nella pianura alluvionale, la realizzazione di dighe e opere di sbarramento in genere (come briglie e traverse che spesso pervadono diffusamente gli alvei fluviali), la realizzazione di opere di difesa e di canalizzazione del flusso.

Sebbene altri autori abbiano mostrato come anche le variazioni climatiche (ed in particolare l'effetto delle stesse sull'intensità e sulla frequenza degli eventi di piena) possano giocare un ruolo importante sull'instabi-

lità degli alvei (KNOX, 1983; RUMSBY & MACKLIN, 1994), è ben difficile individuarne gli effetti soprattutto in un territorio, come quello italiano, dove le conseguenze dei molteplici impatti antropici perpetrati nel tempo sono molto più evidenti.

Tornando allo specifico del F. Sinni, tra le cause che hanno portato alla situazione attuale e che è stato possibile in prima analisi accertare, vanno citate, 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 m³ (Cocco *et al.*, 1978). A questi possono essere aggiunti altri 2,5 milioni di m³ calcolati, probabilmente per difetto, in base alle autorizzazioni concesse tra il 1978 ed il 1992 (SPILOTRO *et al.*, 2000).

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il personale tecnico dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata ed in particolare il Segretario Generale Ing. Michele Vita, per aver messo gentilmente a disposizione tutti i dati cartografici, topografici e sedimentologici in possesso dell'AdB, risultati utilissimi ai fini del presente studio.

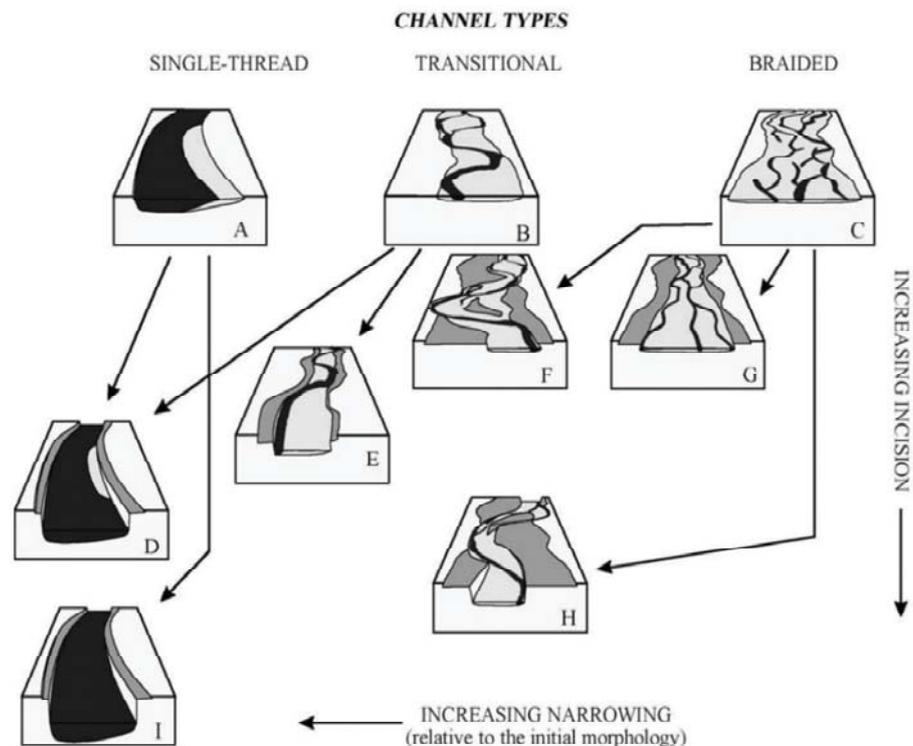


Fig. 13 - Schema di classificazione delle variazioni morfologiche degli alvei dei fiumi italiani (da SURIAN & RINALDI, 2003).

Classification of morphological variations of italian riverbeds (from SURIAN & RINALDI, 2003).

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AUCELLI P.P.C. & ROSSKOPF C. (2000) - *Last century valley floor modifications of the Trigno River (Southern Italy): a preliminary report*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **23**, 105-115.
- AUTORITÀ INTERREGIONALE DI BACINO DELLA BASILICATA (2004) - *Ricognizione di attività di Polizia Idraulica e Controllo del Territorio*. Rapporto tecnico, <http://www.adb.basilicata.it/adb/polizia/ciclo2004.asp>.
- AUTORITÀ INTERREGIONALE DI BACINO DELLA BASILICATA (2007) - *Relazione sul Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico*. Segreteria Tecnica Operativa dell'AdB della Basilicata (Potenza), 169 pp. <http://www.adb.basilicata.it/adb/pStralcio/relazione07.asp>
- BECCHI I. & PARIS E. (1989) - *Il corso dell'Arno e la sua evoluzione storica*. Acqua Aria, **6**, 645-652.
- BELL F.C. & VORST P.C. (1981) - *Geomorphic parameters of representative basins and their hydrologic significance*. In Australian Water Resource Council Technical Paper, **58**. Australia Government Publishing Service, Canberra.
- BILLI P., CHIAVERINI I. & OSTUNI D. (1994) - *Studi preliminari su degradazione fisica e stabilità dell'alveo del F. Cecina*. Il Quaternario, **7** (1), 311-316.
- BOVEE K.D. (2004) - *A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology*. Instream Flow Information, Paper 12, FWS/OBS-82/26, Co-operative Instream Group, US Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services.
- BRAGA G. & GERVASONI S. (1989) - *Evolution of the Po River: an example of the application of historic maps*. In: Petts, G.E., Moller, H., Roux, A.L. (Eds.) "Historical change of large alluvial rivers: Western Europe", Wiley, pp. 113-126.
- BRAVARD J., AMORROS C., PATOU G., BORNETTE G., BORNAUD M., CREUZE DES CHATELLIER M., GILBERT J., PEIRY J., PERRIN J., TACHET H. (1997) - *River incision in south-east France: morphological phenomena and ecological effects*. Regulated Rivers: Research and Management, **13**, 75-90.
- BURNELLI A., CENCETTI C. & MARCHESINI I. (2003) - *Il bacino del T. Spina (Umbria centro-orientale): analisi dei caratteri morfologici e sedimentari dell'alveo, interventi antropici e condizioni di rischio geologico-idraulico*. Atti del 1° Congresso Nazionale AIGA (Chieti, 19-20 febbraio 2003), 113-126. Rendina Editori, Roma, ISBN: 88-86698-40-2.
- CANUTI P., CENCETTI C., CONVERSINI P., RINALDI M. & TACCONI P. (1992) - *Dinamica fluviale recente di alcuni tratti dei fiumi Arno e Tevere*. Atti del Convegno "Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali" (Ancona, 14-15 Ottobre 1991), 21-35.
- 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.
- CAPELLI G., MICCADEI E. & RAFFI R. (1997) - *Fluvial dynamics in the Castel di Sangro plain: morphological changes and human impact from 1875 to 1992*. Catena, **30**, 295-309.
- CASTALDINI D. & PIACENTE S. (1995) - *Channel changes on the Po River, Mantova Province, Northern Italy*. In: Hickin, E.J. (Ed.) "River Geomorphology", Wiley, 193-207.
- CENCETTI C. (2002) - *La cartografia storica come strumento per lo studio dell'evoluzione degli alvei fluviali*. Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA "Geomática per l'Ambiente, il Territorio e il Patrimonio culturale" (Perugia, 5-8 novembre 2002), 757-762.
- CENCETTI C., CONVERSINI P., MARTANI C. & NEJAD MASSOUM M. (1991) - *Considerazioni sulla dinamica fluviale del F. Tevere nel tratto tosco-umbro compreso tra l'invaso di Montedoglio e S. Lucia*. Ricerca scientifica ed educazione permanente, Suppl. **93**, 527-536.
- CENCETTI C., TACCONI P. & CONVERSINI P. (1994) - *Attività antropica e dinamica fluviale nell'Alta Val Tiberina*. Atti del "1° Convegno Internazionale per la Protezione e lo Sviluppo dell'Ambiente Montano - Man and Mountain '94" (Ponte di Legno, 20-24 giugno 1994), 631-656.
- CENCETTI C., FREDDUZZI A. & MARCHESINI I. (2002) - *Evoluzione e dinamica dell'alveo del torrente Chiani (Umbria): problemi di rischio geologico-idraulico e di conservazione dell'ambiente fisico*. Atti del Convegno Nazionale "Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico" (Assisi, 11-12 dicembre 2002). CNR-GNDICI, Pubbl. n. 2830, 108-120.
- CENCETTI C., FREDDUZZI A. & MARCHESINI I. (2004) - *Processi di erosione negli alvei ghiaiosi dell'Italia centrale. Il fiume Paglia (bacino del Tevere)*. Atti della 8ª Conferenza ASITA "GEOMATICA - Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie" (Fiera di Roma, 14-17 dicembre 2004), Vol. I, 731-736. ISBN: 88-900943-6-2.
- 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.
- COLTORTI M., NANNI T. & VIVALDA P. (1991) - *La bassa valle del Fiume Musone (Marche): geomorfologia e fattori antropici nell'evoluzione della pianura alluvionale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **14**, 101-111.
- DUTTO F. & MARAGA F. (1994) - *Variazioni idrografiche e condizionamento antropico. Esempi in pianura padana*. Il Quaternario, **7**, 381-390.
- GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - *Morfogenesi fluviale ed attività antropica nelle Marche centro-meridionali*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **10**, 204-217.
- GURNELL A.M., PEIRY J.L., PETTS G.E. (2003) - *Using Historical Data*. In: Kondolf G.M. and Piegay H. (Ed) "Tools in Fluvial Geomorphology". John Wiley & Sons Ltd, 77-101.
- KNOX J.C. (1983) - *Responses of river systems to Holocene climates*. In: Wright, H.E. (Ed) "Late Quaternary Environments of the United States. Vol.2, The Holocene". University of Minnesota Press, Minneapolis, 26-41.
- LAMBERTI A. (1993) - *Le modificazioni recenti verificatesi nell'asta principale del Po e problemi connessi*. Acqua-Aria, **6**, 589-592.
- LEYS F. & WERRITTY A. (1999) - *River channel planform change: software for historical analysis*. Geomorphology, **29**, 107-120.

- MARAGA F. (1992) - *Riduzione del campo di attività fluviale e disponibilità di sedimento nei tratti d'alveo pluricursali: casi di studio nella Pianura Padana*. Atti del Convegno "Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali" (Ancona, 14-15 Ottobre 1991), 51-62.
- MARAGA F. & MORTARA G. (1981) - *Le cave per inerti lungo i corsi d'acqua: rapporti con la dinamica fluviale*. Boll. Ass. Min. Subalp., **18**, 3-4, 385-395.
- MARCHETTI M. (2002) - *Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities*. Geomorphology, **44**, 361-373.
- NETELER M. & MITASOVA H. (2002) - *Open Source GIS a GRASS GIS Approach*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- RUMSBY B.T. & MACKLIN M.G. (1994) - *Channel and floodplain response to recent abrupt climate change; the Tyne basin, northern England*. Earth Surf. Proc. and Land., **19**, 499-515.
- SABATO L. (1994) - *Human impact on alluvial environments in Calabria (southern Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 935-941.
- 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.
- SURIAN N. (1999) - *Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy*. Earth Surf. Proc. and Land., **24**, 1135-1151.
- 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.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2003) - *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. Geomorphology, **50**, 4, 307-326.
- TACCONI P. (1990) - *La dinamica fluviale*. Atti del VII Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi, (Roma, 25-27 ottobre 1990), 29-42.
- TACCONI P. & BILLI P. (1990) - *Indagine sull'abbassamento del fiume Po. Analisi morfometrica dello stato attuale e tendenza evolutiva dell'alveo*. Po AcquAgricolturaAmbiente, vol. **II**: "L'alveo e il delta", Società Editrice Il Mulino, Bologna, 15-111.
- 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.

Ms. ricevuto il 20 febbraio 2008
 Testo definitivo ricevuto il 30 maggio 2008

Ms. received: February 20, 2008
 Final text received: May 30, 2008