

STUDI PRELIMINARI SU DEGRADAZIONE FISICA E STABILITA' DELL'ALVEO DEL F. CECINA

P. Billi - I. Chiaverini - D. Ostuni

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze

RIASSUNTO - *Studi preliminari su degradazione fisica e instabilità dell'alveo del F. Cecina* - Il Quaternario 7(1), 1994, 311-316 - Vengono riportati i primi dati sull'evoluzione morfologica dell'alveo del F. Cecina in seguito alla cessazione dell'estrazione di inerti avvenuta alcuni anni fa. Al fine di studiare le fasi di recupero di condizioni più prossime a quelle naturali, ed i fenomeni di instabilità ad essa collegati, sono state adottate specifiche tecniche speditive di rilievo aereofotografico ed è stato individuato un tratto sperimentale in cui vengono ripetuti rilievi a terra prima e dopo il passaggio di eventi di piena con particolare attenzione a quelli formativi o al colmo. La metodologia impiegata ha consentito di individuare alcuni dei processi attraverso i quali si modificano le principali unità fisiografiche che insieme costituiscono la configurazione d'alveo di un fiume ghiaioso pseudomeandriforme come il Cecina.

ABSTRACT - *Preliminary studies on the degradation and instability of the Cecina River streambed* - Il Quaternario 7(1), 1994, 311-316 - Preliminary data on the morphological evolution of the Cecina riverbed, following the cessation of bed material extraction, are reported. Recovery phases and related instability phenomena are studied employing specific aerial photographic techniques and experimental ground surveys are carried out before and after floods. The methodology allows the observation of a number of processes affecting the main physiographic units making up a gravel streambed and a pseudo-meandering stream like the Cecina River.

Parole chiave: Dinamica fluviale, morfologia fluviale, Fiume Cecina, Toscana

Key-words: Fluvial dynamics, fluvial morphology, Cecina River, Tuscany, Italy

1. INTRODUZIONE

L'ambiente fluviale ha da sempre svolto un ruolo importante nell'evoluzione dell'uomo che, soprattutto in passato, ha saputo trarre beneficio da un appropriato sfruttamento di questa importante risorsa naturale.

Anche nelle moderne società più avanzate il fiume continua ad essere un supporto importante per il loro sviluppo; in molti casi, però, un'eccessiva accelerazione dell'antropizzazione, verificatasi negli ultimi anni, ha prodotto delle profonde trasformazioni, talora irreversibili, alle quali si è cercato di porre rimedio solo recentemente. Il degrado che caratterizza molti dei corsi d'acqua italiani non riguarda solo l'ambiente biologico, ma anche quello fisico e molto spesso l'alterazione degli equilibri fisici ha gravi ed immediate ripercussioni anche sull'*habitat* acquatico.

Ciò è potuto avvenire non solo perché in un certo periodo della nostra storia recente gli ideali di sviluppo economico hanno ampiamente prevalso su quelli ambientali, ma anche perché effettivamente poco si sapeva, e per molti versi ancora poco si sa, sui processi che governano la dinamica di un fiume ghiaioso come il Cecina oggetto di questa nota.

Il F. Cecina non presenta attualmente gravi problemi di inquinamento chimico, mentre è invece andato soggetto ad un forte degrado fisico, connesso principalmente con le escavazioni di ingenti quantità di materiali d'alveo. Da alcuni anni sono state sospese le escavazioni ed il fiume si presta perciò ottimamente ad essere studiato proprio in questa fase in cui sta probabilmente procedendo al recupero di una nuova configurazione d'equilibrio.

Nella presente nota verranno perciò presentati in forma preliminare gli studi effettuati e le metodologie adottate per il rilievo delle tendenze evolutive in atto.

Le applicazioni riguardanti le diverse metodologie di rilievo non si limitano esclusivamente al campo cartografico, ma spaziano in modo multiforme interessando anche diversi settori geologico-territoriali. In queste discipline il contributo scientifico offerto dall'indagine delle tipologie e metodologie di acquisizione topografico-fotogrammetriche si rivela assai ampio, anche in virtù del fatto che gli approfondimenti derivano dall'analisi sistematica di ogni singola fase esecutiva. Le strumentazioni da utilizzare e l'approccio metodologico possono risultare assai diversificati in funzione di problemi specifici del rilievo e in funzione della precisione necessaria; questi importanti aspetti operativi sono tra l'altro costantemente portati in evidenza dai continui sviluppi offerti dall'elaborazione numerica dei dati. Nel campo dei rilevamenti ambiente/territorio sono di fatto sempre più utilizzate le applicazioni offerte da queste metodologie; esse risultano essenziali per risolvere con la dovuta precisione i problemi riguardanti le rilevazioni di elementi territoriali indispensabili per lo studio approfondito delle problematiche ambientali.

Il tracciamento della configurazione morfologica del terreno costituisce uno degli elementi più importanti per quantificare parametri fondamentali come quelli connessi con l'intrinseca mobilità di un alveo; operazioni come la verifica della stabilità di un corso d'acqua necessitano ad esempio di un controllo periodico della situazione in atto, soprattutto dove è indispensabile in monitoraggio continuato della configurazione dinamica finalizzato ad eventuali interventi. Queste acquisizioni hanno spesso come prodotto finale la realizzazione di una carta degli elementi fisiografici dell'alveo, un elaborato base necessario per qualsiasi razionale intervento ingegneristico o di recupero ambientale.

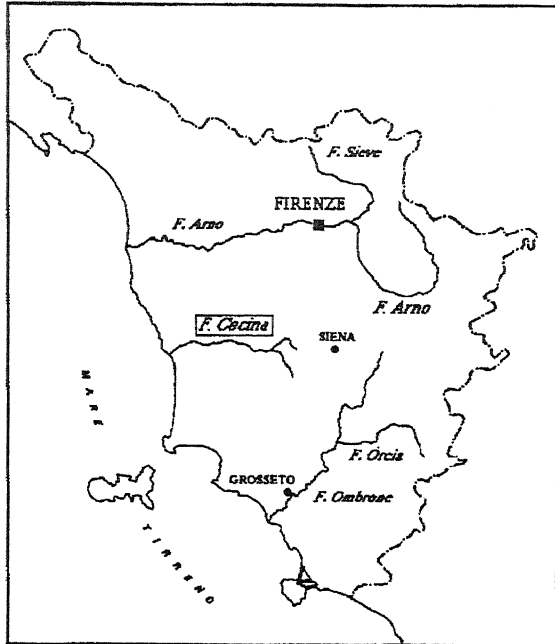


Fig. 1 - Ubicazione del F. Cecina.
Location map of the Cecina River.

affioranti nella parte più estrema della testata del bacino; b) formazioni argillitico-marnose, comprendenti anche termini calcarei e sili-
cei e ofiolti, della Successione Ligure che affiorano soprattutto nella parte meridionale del bacino e, per una piccola parte nel margi-
ne settentrionale in prossimità della foce.

2) Complesso Neogenico, rappresentato dai depositi lacustri e marini del Miocene superiore e da quelli marini del Pliocene, che occupano la parte centrale del bacino.

3) Complesso Quaternario, costituito dai sedimenti marini della fascia costiera e dai depositi fluviali terrazzati delle valli maggiori.

I rilievi principali sono costituiti da una dorsale interna e da una dorsale costiera entrambi allungate in direzione appenninica, che rappresentano due strutture positive in gran parte erose. I rilievi delle Cornate, insieme al tratto compreso tra Castelnuovo Val di Cecina e Monte Verdi Marittimo prendono origine da un sollevamento locale dovuto ad intrusioni magmatiche al di sotto delle Colline Metallifere (Raggi & Bicchi, 1985).

In tutta la parte centrale del bacino, rappresentata da sedimenti del complesso neogenico, le forme del terreno sono ondulate e le valli molto aperte. Talvolta questa morfologia è interrotta da brevi e ripidi salienti costituiti da bancate ghiaioso-sabbiose intercalate alle argille.

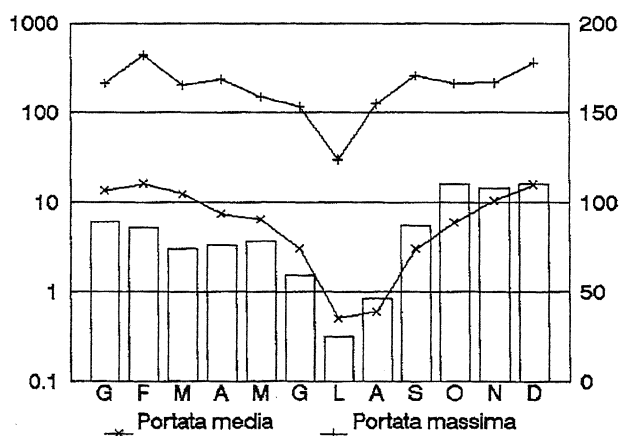


Fig. 2 - Fiume Cecina: precipitazioni e portate medie mensili relative ai periodi 1935-42, 1951-63 e 1969-70.

Cecina River: monthly mean rainfall and discharge for the periods 1935-42, 1951-63 and 1969-70.

L'esperienza operativa illustrata di seguito riguarda un intervento locale di monitoraggio a piccolo denominatore di scala ideato per il rilievo delle variazioni stagionali assunte da un tratto del fiume Cecina che, per le sue peculiari caratteristiche risulta essere particolarmente rappresentativo per lo studio dell'evoluzione morfologica e sedimentologica del fiume; il rilievo ha comportato un utilizzo integrato di metodologie topografiche convenzionali e acquisizioni fotogrammetriche aeree.

2. ASSETTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DEL F. CECINA

Il bacino del F. Cecina ha un'area di circa 900 km² ed è ubicato a Sud del F. Arno (Fig. 1). E' compreso tra il bacino del F. Era a Nord, le Colline Metallifere a Sud, che ne costituiscono anche lo spartiacque principale, e la Montagnola Senese ad Est.

Il F. Cecina nasce dalle Cornate di Gerfalco ed è lungo circa 70 chilometri. Il suo corso è caratterizzato da due direzioni principali: un tratto Nord-Sud, rappresentato da quello più a monte e uno Est-Ovest, compreso tra Saline di Volterra e il Mar Tirreno dove sfocia in prossimità dell'omonima città di Cecina.

Nel bacino del Cecina affiorano terreni appartenenti a tre complessi sovrapposti così distinti (Raggi & Bicchi, 1985):

1) Complesso Antico, costituito da due gruppi di formazioni: a) formazioni calcareo-argillitico-arenacee della Successione Toscana,

b) formazioni argillitico-marnose, comprendenti anche termini calcarei e sili-
cei e ofiolti, della Successione Ligure che affiorano soprattutto nella parte meridionale del bacino e, per una piccola parte nel margi-
ne settentrionale in prossimità della foce.

2) Complesso Neogenico, rappresentato dai depositi lacustri e marini del Miocene superiore e da quelli marini del Pliocene, che occupano la parte centrale del bacino.

3) Complesso Quaternario, costituito dai sedimenti marini della fascia costiera e dai depositi fluviali terrazzati delle valli maggiori.

I rilievi principali sono costituiti da una dorsale interna e da una dorsale costiera entrambi allungate in direzione appenninica, che rappresentano due strutture positive in gran parte erose. I rilievi delle Cornate, insieme al tratto compreso tra Castelnuovo Val di Cecina e Monte Verdi Marittimo prendono origine da un sollevamento locale dovuto ad intrusioni magmatiche al di sotto delle Colline Metallifere (Raggi & Bicchi, 1985).

In tutta la parte centrale del bacino, rappresentata da sedimenti del complesso neogenico, le forme del terreno sono ondulate e le valli molto aperte. Talvolta questa morfologia è interrotta da brevi e ripidi salienti costituiti da bancate ghiaioso-sabbiose intercalate alle argille.

Su tutta l'asta, esiste una sola stazione di misura del deflusso superficiale, ubicata in località Ponte di Monterufoli a 2 km a monte dalla confluenza con il T. Sterza e a circa 18 km dalla foce, per la quale esistono dati che coprono un lungo arco di tempo. La stazione di Ponte di Monterufoli sottende un'area di 634 km² (Servizio Idrografico, 1980) su una superficie totale di 905 km². I dati pubblicati dal Servizio Idrografico si riferiscono ai vari periodi di funzionamento dello strumento (1935-42, 1951-63 e 1969-70) e da questi risulta una precipitazione media annua di circa 980 mm con portate di picco intorno agli 800-1000 m³/s (Fig. 2).

3. METODOLOGIE DI RILIEVO IMPIEGATE

Una volta individuato il tratto di alveo rappresentativo dei fenomeni evolutivi da indagare, si è provveduto ad una prima operazione di rilevamento, collimando punti cartografici, predisponendo un'adeguata segnalizzazione in opportuni

punti di controllo e materializzando il vertice della stazione principale in modo tale da poter effettuare i rilievi successivi con il medesimo orientamento e garantire un preciso riscontro dei dati rilevati anche rispetto alla cartografia ufficiale.

Per l'acquisizione è stata utilizzata la stazione totale Geodimeter 440 utilizzata in modalità di rilievo celerimetrico ritenuta più che sufficiente per il conseguimento delle precisioni richieste. Attraverso le misure angolari e il distanziometro integrato, lo strumento fornisce direttamente le coordinate dei punti collimati per mezzo dell'apposita palina telescopica munita di prisma risponditore, con la possibilità di registrazione e riversamento dei dati in ambienti C.A.D.

I dati sono stati opportunamente registrati in file differenziati in modo tale da poter effettuare una selezione tematica per un confronto più agevole attraverso la stazione videografica. L'acquisizione codificata è stata suddivisa in: sezioni trasversali, linea del pelo dell'acqua, delimitazione morfologica dei sedimenti accumulati ed altri elementi integrativi riguardanti la configurazione fisiografica dell'alveo.

Una seconda acquisizione dei dati di campagna è stata effettuata dopo la piena del Novembre 1992, dopo che si erano constatate anche a vista notevoli variazioni morfologiche dell'alveo in generale e nel tratto sperimentale in particolare. In questa seconda fase è risultata particolarmente utile una funzione caratteristica dello strumento Geodimeter 440 denominata *tracking*; essa consente attraverso indicazioni luminose tricolori inviate all'operatore con il prisma di ritrovare agevolmente le coordinate planimetriche di precedenti punti isolati o allineamenti di sezioni e quindi di registrarne con precisione le relative variazioni altimetriche.

I nuovi dati tridimensionali, introdotti insieme ai precedenti con codifica differenziata in ambiente AUTOCAD, forniscono una chiara visione dei mutamenti che hanno interessato l'alveo del fiume e di intuire la relativa dinamica con la quale gli stessi si sono verificati.

Parallelamente alla seconda campagna di misure è stato effettuato un volo sulla zona con l'acquisizione di una serie di fotogrammi stereoscopici con una macchina fotografica Hasselblad semimetrica formato 6x6 focale nominale 80 mm. In base alla quota di volo intorno ai 500 m, la scala dei fotogrammi è risultata di circa 1:4000. Sono stati sufficienti pochi ingrandimenti controllati delle diapositive per evidenziare con chiarezza molti dettagli della zona in oggetto. I vantaggi nel poter disporre di foto aeree stereoscopiche della zona sono più che evidenti; nei casi nei quali è richiesta una valutazione in un'ordine di grandezza compatibile con le precisioni in oggetto, è sufficiente la semplice fotointerpretazione metrica utilizzando lo stereoscopio e la barra di parallasse.

In casi simili a quello in esame, questi semplici strumenti consentono di determinare facilmente pendenze, affioramenti, tracciametri di profili altimetrici, con precisione inferiore a quella proveniente da un rilievo diretto ma tuttavia sufficiente agli scopi prefissati. Oltre a ciò, la possibilità di integrare e correlare per via informatica i dati provenienti dalle campagne topografiche e di ricognizione terrestri con quelli ottenuti dalle fotografie aeree, consente una lettura della situazione esauriente ed affidabile.

3. ANALISI DEI DATI E PRIME OSSERVAZIONI SULLA DINAMICA MORFOLOGICA DEL F. CECINA

Attualmente il Cecina presenta una morfologia dell'alveo caratterizzata da un singolo canale a bassa sinuosità con barre laterali alternate. Analizzando la Carta Topografica del Granducato di Toscana realizzata nel 1851 alla scala di 1:86400 (Fig. 3) è facile osservare come a quell'epoca il fiume avesse una morfologia molto diversa da quella attuale. Nella carta granducale sono infatti chiaramente riconoscibili soprattutto due elementi di diversità: la maggior larghezza media dell'alveo e la presenza in molti tratti di un tracciato pluricursale con numerosi canali intrecciati. Ciò è perfettamente coerente in quanto gli alvei a canali intrecciati sono generalmente molto più ampi di quelli a singolo canale (Leopold *et al.*, 1964; Billi, 1988).

Non è facile individuare le cause di tale cambiamento; tra quelle possibili però possono sicuramente essere annoverate un diverso uso del suolo e gli ingenti prelievi di materiali d'alveo susseguitisi ininterrottamente sin dagli inizi degli anni sessanta fino a pochi anni fa. Se da un lato la riduzione dello sfruttamento intensivo dei boschi ha comportato il ripristino di condizioni di maggiore stabilità sui versanti, dall'altro si è verificata una inversione di tendenza nella produzione dei sedimenti con diminuzione dell'alimentazione e quindi del trasporto degli stessi. Questa situazione deficitaria in lenta progressione ha subito poi una forte accelerazione ad opera delle cospicue estrazioni in alveo avvenute nell'ultimo trentennio. Il risultato di tutto ciò è un notevole degrado dell'alveo individuabile in un abbassamento medio, nella parte centrale, stimato dell'ordine di circa 2 m (in questa fase iniziale della ricerca non è ancora stata completata la raccolta di dati attendibili sulle quote di fondo).

L'abbassamento del letto ha presumibilmente comportato una diminuzione di pendenza (almeno nel tratto centrale del Cecina) e lo sviluppo di sponde in sedimenti più coesivi che hanno favorito l'attuale morfologia pseudomeandriforme (Hickin, 1969).

I fiumi pseudomeandriiformi o "*wandering rivers*" (Church, 1983) sono poco studiati, nonostante rappresentino una delle configurazioni fluviali più comuni almeno nell'Appennino settentrionale. Le osservazioni effettuate sugli ultimi 40 km di corso del F. Cecina ed i rilievi di dettaglio eseguiti nel tratto sperimentale posto a monte di Saline di Volterra, hanno consentito di individuare alcuni aspetti della dinamica morfologica di questo fiume ghiaioso, grazie anche ad un evento di piena di notevole entità (stimato intorno ai 400 m³/s all'altezza della stazione di Ponte di Monterufoli) verificatosi nell'autunno del 1992.

Durante questo evento è avvenuta una notevole mobilitazione di materiale di fondo che ha prodotto una evoluzione morfologica dei principali elementi fisiografici dell'alveo quali il canale, le sponde e le barre. In generale si è verificata una progradazione sottocorrente delle barre che ha però mostrato quasi sempre anche una chiara componente verso la stessa sponda alla quale la barra è unita (Fig. 4). Anche il canale ha mostrato una certa mobilità laterale che, là dove il fiume scorreva in aderenza alle sponde, ha prodotto erosione delle stesse, mentre nei tratti trasversali rispetto all'allineamento generale delle sponde si è manifestata con una traslazio-

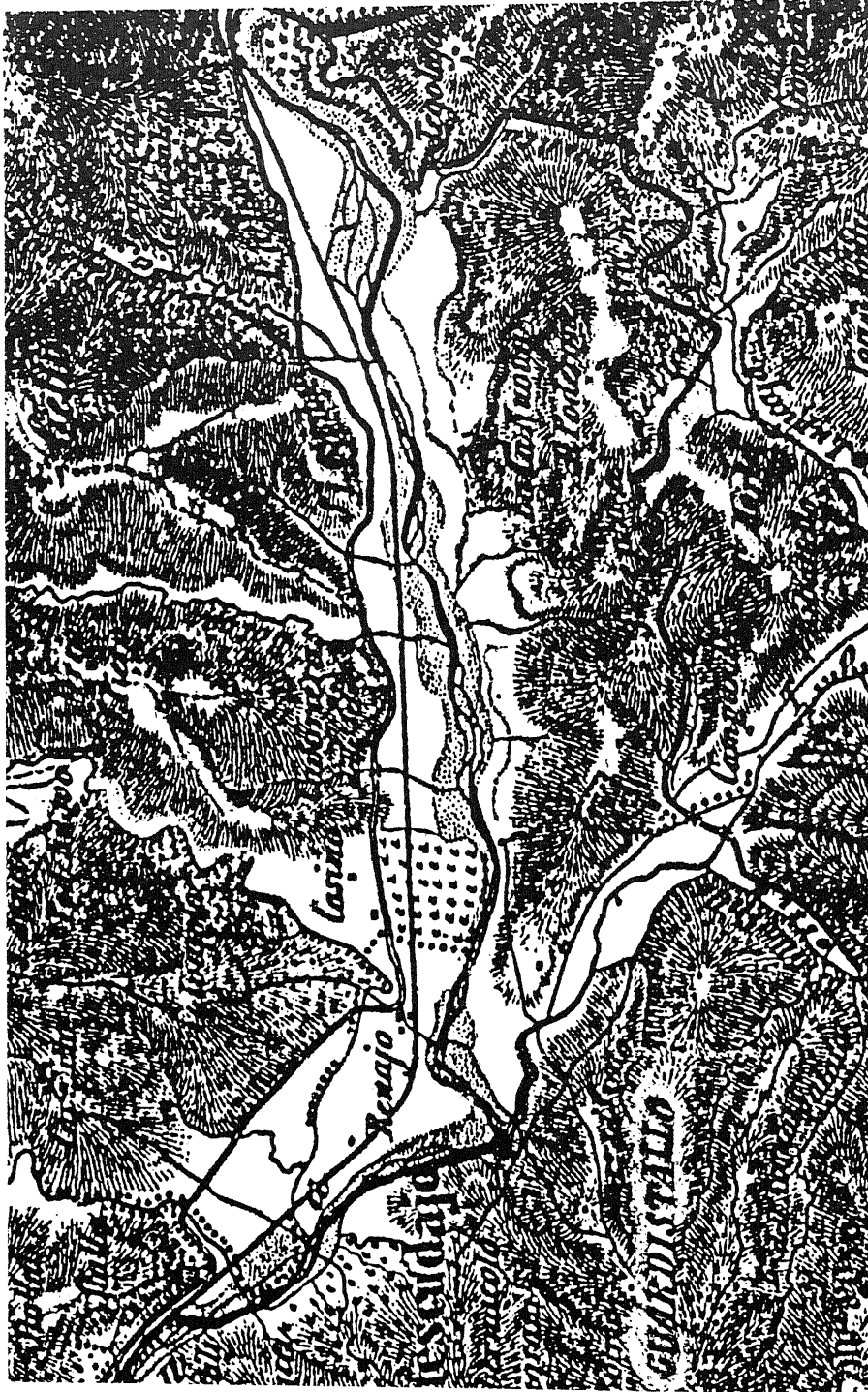


Fig. 3 - Carta topografica granducale del 1851. Tratto del F. Cecina a monte di Guardistallo e Montescudato. Si noti la morfologia dell'alveo a canali intrecciati.
1851 topographic map of the Grand-Duchy of Tuscany. Stretch of the Cecina River upstream of Guardistallo and Montescudato. Note the braided stream morphology.

ne verso valle con conseguente arretramento della parte sopracorrente della barra (Fig. 4). Queste variazioni geometriche nel loro insieme hanno comportato, nel tratto sperimentale, una generale migrazione della configurazione d'alveo che si è perciò spostata verso valle di alcune decine di metri, modificandosi leggermente.

In alcuni tratti si è osservato anche un fenomeno inaspettato e scarsamente citato in letteratura, cioè l'accrescimento con migrazione sopracorrente del margine di monte della barra. Purtroppo ciò è avvenuto al di fuori del tratto sperimentale monitorato e non sono quindi attualmente disponibili rilievi di dettaglio. L'evidenza di tale aggiunta di materiale sopracorrente deriva dalla comparazione di immagini fotografiche riprese da terra in tempi diversi e dalla constatazione diretta sul terreno.

Un ulteriore elemento d'interesse riguarda l'estensione e lo spessore della coltre di sedimenti freschi depositi con l'evento di piena del Novembre 1992 in relazione alle modalità di trasporto. Un'analisi preliminare approssimativa consente di stimare in 60-70 cm lo spessore medio dei nuovi apporti sulle barre del tratto sperimentale, mentre i depositi sottostanti sembrerebbero essere stati interessati da trasporto solo marginalmente. Durante l'evento citato, nel tratto sperimentale, la maggior parte del trasporto al fondo parrebbe quindi essere avvenuta in corrispondenza dell'attuale canale di magra (Fig. 5).

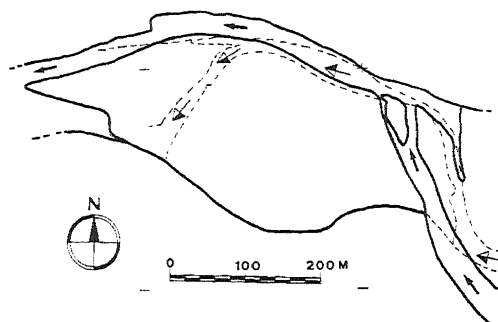


Fig. 4 - Tratto sperimentale del F. Cecina a monte di Saline di Volterra. Il disegno a tratteggio rappresenta la configurazione dell'alveo precedentemente alla piena del Novembre 1992; quello a tratto continuo la situazione attuale.

The River Cecina experimental stretch upstream of Saline di Volterra. Dashed line: streambed morphology before the November 1992 flood; Solid line: present situation.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le metodologie di rilievo impiegate hanno consentito mettere in evidenza alcuni dei processi che governano la dinamica morfologica di un alveo ghiaioso pseudomeandriforme.

Predisponendo un idoneo supporto informatizzato potranno essere elaborati in più livelli sovrapposti i tematismi codificati in base ad attributi specifici con la possibilità di programmare routine di calcolo grafico numeriche interattive per visualizzare grafici relativi a modelli ipotizzati o per produrre nuovi elaborati tematici provenienti da più informazioni correlate.

Tra l'altro una metodologia che utilizza gli strumenti informatici, appare inoltre in grado di supportare una sistematica catalogazione e pertanto risulta capace di effettuare un continuo monitoraggio con un più efficace e razionale controllo delle informazioni.

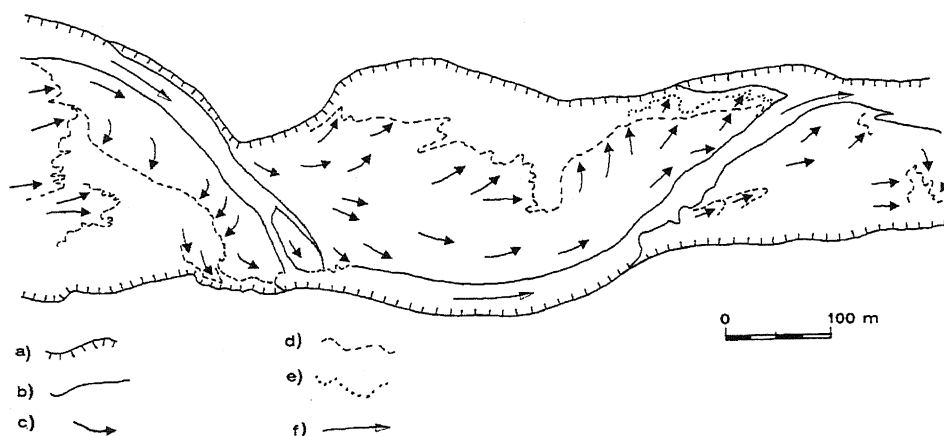


Fig. 5 - Direzioni principali del trasporto solido al fondo nel tratto sperimentale desunto da embriciamento e forme di fondo dopo l'evento al colmo del Novembre 1992: a) sponde dell'alveo di piena; b) sponde dell'alveo di magra; c) direzione del trasporto al fondo; d) fronte di accrescimento di lamine ghiaiose; e) fronte di accrescimento di depositi sabbiosi; f) direzione di flusso nel canale di magra.

Bedload transport directions detected from particle imbrication and coarse-grained bedforms after the bankfull flood of November 1992: a) flood banks; b) base flow channel; c) bedload transport direction; d) gravel sheet accretionary front; e) sandy accretionary front; f) base flow direction.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. P. Canuti per la lettura critica del manoscritto ed il Dr. C. Manieri ed il sig. F. Vannacci per la preziosa collaborazione prestata durante i rilievi di campagna. Lavoro eseguito con contributi MURST 60% e 40% e CNR n. 91.00737.ct05.

LAVORI CITATI

- Billi P., 1988 - *Morfologie fluviali*. Giorn. di Geologia, **50**, 27-38.
- Church M., 1983 - *Pattern of instability in wandering gravel-bed channel*. I.A.S. Spec. Publ. **6**, 169-180.
- Hickin E.J., 1968 - *A newly-identified process of point bar formation in natural streams*. Am Jour. of Sci., **267**, 999-1010.
- Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P. 1964 - *Fluvial processes in geomorphology*. Freeman, San Francisco, 521 pp.
- Raggi G., Bicchi A. R., 1985, - *Studio idrogeologico e geomorfologico dei bacini dei fiumi Cecina e Fine* Quaderni sull'Assetto del Territorio, nuova serie, n.1, Province di Livorno e Pisa, 59 pp.
- Servizio Idrografico, 1980 - *Annali Idrologici*, 1951-1980. Ministero dei Lavori Pubblici, Roma.

*Manoscritto ricevuto il 15. 7. 1993
Inviato all'Autore per la revisione il 9. 3. 1994
Testo definitivo ricevuto il 7. 4. 1994*