

## **Attuali conoscenze sull’evoluzione recente di corsi d’acqua del Bacino Padano ed implicazioni per la gestione e riqualificazione fluviale**

**Massimo Rinaldi<sup>1\*</sup>, Nicola Surian<sup>2</sup>, Luisa Pellegrini<sup>3</sup>, Franca Maraga<sup>4</sup>, Ornella Turitto<sup>4</sup>**

*1 Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, Via S.Marta 3, 50139 Firenze*

*2 Dipartimento di Geografia, Università di Padova, Via del Santo 26, 35123 Padova*

*3 Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, Via Ferrata 1, 27100 Pavia*

*4 Consiglio Nazionale delle Ricerche, Dipartimento Terra e Ambiente, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Strada delle Cacce 73, 10135 Torino*

\* *Autore corrispondente: mrinaldi@dicea.unifi.it*

### **Riassunto**

Viene effettuata una breve rassegna sulle variazioni morfologiche di alcuni corsi d’acqua nel Bacino Padano, in base a riferimenti bibliografici selezionati dal 1967 al 2009. Tale rassegna mette in evidenza come gran parte dei corsi d’acqua in questione abbia subito due principali tipi di variazioni, un abbassamento del fondo ed un restringimento dell’alveo, accompagnati spesso da un accorciamento di percorso per taglio di meandri e da una trasformazione della morfologia complessiva da tipologie a canali intrecciati (o pluricursali) verso tipologie a canale singolo (o monocursali). Vengono successivamente evidenziati i principali risultati di ricerche più recenti su questo argomento condotte nell’ambito di un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (MIUR-PRIN 2005: “Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative”), con riferimento ai casi di studio relativi al Bacino Padano (F. Stura di Lanzo, T. Orco, F. Trebbia, F. Panaro). Tali ricerche hanno permesso una più accurata comprensione e definizione dei trend evolutivi regionali della morfologia fluviale e delle relative cause. Infine si richiamano alcuni concetti che presentano importanti implicazioni ed applicazioni future delle conoscenze sull’evoluzione morfologica degli alvei fluviali, indispensabili per una loro migliore gestione e riqualificazione.

PAROLE CHIAVE: Alvei fluviali / variazioni morfologiche degli alvei / impatto antropico / riqualificazione fluviale.

### **Recent evolution of river channels in the Po basin: implications for management and river restoration**

A synthetic review on morphological changes of rivers in the Po Basin based on available bibliography was carried out. The review highlights how most of these rivers experienced two main types of channel adjustments: bed incision and narrowing of the active channel, often in combination with a shortening of the river course due to meander cutoffs and a change of the overall channel morphology from a braided to a transitional (wandering) or a single-thread. Subsequently, the main results of more recent researches (PRIN 2005 project: “Recent and present dynamics of river channels in Northern and Central Italy: evolutionary trends, causes and management implications”), with reference to the study cases included in the Po Basin (Orco R., Stura di Lanzo R., Trebbia R., Panaro R.). Such research allowed for a better comprehension and definition of the trends of adjustments and their causes. At last, some concepts with important implications and applications of the morphological evolution knowledge needed for a better management and restoration are discussed.

KEY WORDS: alluvial channels / channel adjustments / human impact / river management and restoration.

### **INTRODUZIONE**

Numerosi alvei fluviali italiani, durante gli ultimi decenni, hanno subito considerevoli variazioni della loro forma e stanno tuttora modificandosi a causa di variazioni nel regime delle portate liquide e soprattutto di quelle solide, nella maggior parte dei casi indotte da

fattori antropici. Tali tendenze evolutive determinano numerosi problemi in termini di rischi da dinamica d’alveo (danni a centri abitati e infrastrutture). D’altra parte si è sempre di più accresciuta la consapevolezza che una certa dinamicità dei corsi d’acqua induce

numerosi effetti benefici per gli ecosistemi, promuovendo spontaneamente il funzionamento ecologico e la diversificazione di habitat (BOON *et al.*, 1992; WOHL *et al.*, 2005). In quest'ottica, la conoscenza e la gestione dei processi di dinamica morfologica stanno assumendo sempre maggiore rilevanza.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua del Bacino Padano, a partire dagli anni '60, numerosi sono gli studi riguardanti le variazioni morfologiche sia dell'alveo del Fiume Po (si veda ad es. MARAGA e MORTARA, 1981; DUTTO, 1987; BRAGA e GERVASONI, 1989; TACCONI e BILLI, 1990; GOVI e TURITTO, 1993; LAMBERTI, 1993; DUTTO e MARAGA, 1994; CASTALDINI e PIACENTE, 1995; LAMBERTI e SCHIPPA, 1994; MARAGA, 1999; MARCHETTI, 2002) che dei suoi principali affluenti (PELLEGRINI e ROSSI, 1967; PELLEGRINI *et al.*, 1979a, b; BEZOARI *et al.*, 1984; MARAGA e MORTARA, 1981; MARAGA, 1989, 1992; DUTTO e MARAGA, 1994; PEREGO, 1994; MEISINA, 1997, 1998; CASTALDINI *et al.*, 1999; SIVIGLIA *et al.*, 2004). Tali studi hanno permesso di delineare i caratteri salienti dell'evoluzione morfologica recente degli alvei fluviali, evidenziando nella gran parte dei casi l'esistenza di processi di abbassamento del fondo, restringimento dell'alveo e variazioni della morfologia complessiva, attribuibili in gran parte a fattori antropici. In particolare, si osserva frequentemente il passaggio da alvei a canali intrecciati o pluricursali ad alvei a canale singolo o monocursali. Recenti rassegne sulle variazioni morfologiche di fiumi italiani riportano una casistica basata sui tipi e sull'intensità dei processi di aggiustamento morfologico, a partire dalla morfologia iniziale degli alvei riscontrata su cartografia del XIX secolo (SURIAN e RINALDI, 2003; RINALDI e SURIAN, 2005). Questi studi evidenziano peraltro che, seppure siano disponibili numerose informazioni e documentazioni delle variazioni morfologiche che hanno riguardato vari corsi d'acqua italiani, esse il più delle volte sono di tipo descrittivo e qualitativo, mentre è piuttosto carente la conoscenza dei trend temporali dei principali parametri morfologici (in particolare della larghezza) che hanno subito tali variazioni. Altri studi sono andati in questa direzione, permettendo di ricostruire in maniera sempre più dettagliata tali trend per un numero rappresentativo di casi di studio, consentendo una migliore comprensione delle modificazioni e dei rapporti causali con i vari fattori antropici (SURIAN, 1999, 2006; RINALDI, 2003; SURIAN e RINALDI, 2004; RINALDI *et al.*, 2005; SURIAN *et al.*, 2005; SURIAN e CISOTTO, 2007; PELLEGRINI *et al.*, 2008; RINALDI *et al.*, 2008a; SURIAN *et al.*, 2008, 2009a; SURIAN e RINALDI, 2008) (i più recenti condotti nell'ambito del citato progetto PRIN 2005).

L'obiettivo principale di questo lavoro è di descrivere sinteticamente lo stato dell'arte delle conoscenze

sulle variazioni morfologiche di corsi d'acqua del Bacino Padano, selezionati da una rassegna basata sugli studi esistenti, e di illustrare alcuni dei risultati più significativi delle ricerche più recenti. Infine, si evidenziano alcune delle principali applicazioni di tali conoscenze e di un approccio basato sulla comprensione dei processi evolutivi nel campo della gestione dei corsi d'acqua e del loro possibile recupero morfologico-ecologico.

## STATO DELLE CONOSCENZE NEL BACINO PADANO

In questo paragrafo è presentata una breve rassegna sulle conoscenze relative alle variazioni morfologiche dei corsi d'acqua selezionati nel bacino del Fiume Po, mentre per una trattazione bibliografica più completa a scala nazionale si rimanda a SURIAN e RINALDI (2003, 2008) e RINALDI e SURIAN (2005).

Numerose sono state le variazioni planimetriche del tracciato del Fiume Po nel corso dei secoli, ricostruite attraverso vari studi da cartografie storiche e dalle interpretazioni da foto aeree degli alvei abbandonati presenti nella pianura (si veda ad es. BRAGA e GERVASONI, 1989; CASTALDINI e PIACENTE, 1995; CASTIGLIONI, 1997). Tali variazioni di tracciato sono continuate numerose anche durante gli ultimi due secoli, molto spesso legate ad interventi antropici quali pennelli, canalizzazioni, tagli di meandro, ecc. (GOVI e MARAGA, 1973; MARAGA, 1983, 1999; DUTTO, 1987; GOVI e TURITTO, 1993; MARAGA e MASINO, 1993; DUTTO e MARAGA, 1994; BERETTA, 1996; BERETTA *et al.*, 1997; MARAGA *et al.*, 2003; VASSALLO e GODONE, 2003).

Nella tabella I sono riassunte le principali variazioni avvenute negli ultimi 150 anni circa. Essa mette in evidenza innanzitutto come le variazioni morfologiche più comunemente osservate nel corso dell'ultimo secolo siano dovute a modificazioni di lunghezza del percorso fluviale, abbassamento del fondo, restringimento e variazione di configurazione dell'alveo, in genere da canali intrecciati a morfologie transizionale (o *wandering*) o a canale singolo.

Per quanto riguarda le variazioni della lunghezza del tracciato del Fiume Po, lo studio di GOVI e TURITTO (1993), condotto sul percorso di pianura da Casalgrasso (TO) a Ostiglia (MN) a partire dagli anni 1822/33 fino agli anni 1988/89, mette in evidenza i seguenti principali risultati: (a) nel primo tratto di oltre 300 km fino a Cremona si registra, dopo un incremento di lunghezza, un cambiamento di tendenza che si manifesta attraverso una sensibile riduzione a partire dagli anni '50 del XX sec.; (b) nel tratto seguente di circa 90 km a valle di Cremona si osserva un costante leggero incremento di lunghezza; (c) nell'ultimo tratto di circa 40 km, fino a Ostiglia, non sono presenti significative

Tab. I. Stato delle conoscenze sulle variazioni morfologiche di alvei fluviali nel bacino del Fiume Po.

Fiume	Variazioni morfologiche	Localizzazione ed intervallo di tempo	Cause	Intervallo di tempo degli impatti antropici	Riferimenti bibliografici
Po	Spostamenti laterali Variazioni di lunghezza del tracciamento Restringimento alveo, riduzione di sinuosità, incisione (1-6 m); riduzione lunghezza alveo; tagli di meandro; restringimento; variazioni di morfologia	1822 - 1989 1920 - 1950 da 1960 ad oggi	Sistemazioni idrauliche Variazioni nel regime portate di piena; escavazione di ghiaia e sabbia; canalizzazioni; interventi a scala di bacino	1930 fino ad oggi A partire da epoca Romana, ma particolarmente intenso da 1950 ad oggi	BERETTA (1996); BERETTA <i>et al.</i> (1997); BRAGA e GERVASONI (1989); CASTALDINI e PIACENTE (1995); DUTTO (1987); DUTTO e MARAGA (1994); GOVI e MARAGA (1973); GOVI e TURITTO (1993); LAMBERTI (1993); LAMBERTI e SCHIPPA (1994); MARAGA (1983, 1999); MARAGA e MORTARA (1981); MARAGA e MASINO (1993); MARAGA <i>et al.</i> (2003); MARCHETTI (2002); TACCONI e BILLI (1990); VASSALLO e GODONE (2003)
Dora Riparia	Restringimento alveo (localmente superiori al 50%), incisione (fino a 5-7m nel tratto inferiore del fondovalle); variazioni morfologia alveo (da canali intrecciati a monoursale rettilineo, sinuoso o meandriforme)	Fondovalle da Susa ad Alpignano; 1920-1950 1950-1980	Sistemazioni idraulico-fondovalle e restali e invasi nel bacino montano; derivazioni, difese spondali e attività estrattiva in alveo nel fondovalle	Derivazioni nel fondovalle a fine '800; sistemazioni idraulico-forestali anni 1930-70; invasi nel bacino montano 1920-1930; difese spondali e attività estrattiva in alveo anni '50-'80	FRANCESCETTI <i>et al.</i> (1990)
Sesia	Restringimento alveo, incisione (1-2 m); variazioni morfologia alveo (da canali intrecciati a monoursale)	Tratti pedemontani e di pianura; 1954-1994; da Yercelli al Po per la trasformazione in monoursale sinuoso	Escavazione sedimenti		MARAGA (1989, 1992); GIAMPANI e RAMASCO (1998)
Tanaro	Incisione fino a 6 m	1973 - 2002			SVIGLIA <i>et al.</i> (2004)
Altri vari affluenti del Po in Piemonte (Stura L., Gesso, Chisone, Sangone, Maira, Varaita, Stura D., Pellice, Orco)	Restringimento alveo (in molti casi superiore al 50 %); incisione (fino a 5-8 m); riduzione indice di intrecciamento; variazioni morfologia alveo (da canali intrecciati a transizionale)	1950 - 1980	Escavazione sedimenti; canalizzazioni	1950 - ?	MARAGA e MORTARA (1981); MARAGA (1989, 1992); DUTTO e MARAGA (1994)
Trebbia	Incisione; restringimento alveo; variazioni di morfologia in alcuni tratti	da Perino al Po	Escavazione sedimenti		BEZOARI <i>et al.</i> (1984); RINALDI <i>et al.</i> (2005); PELLEGRINI <i>et al.</i> (2008)
Panaro	Incisione da 4 a 10 m, riduzione larghezza e passaggio da canali intrecciati a canale singolo (tratto mediano)	da 1967 ad oggi	Briglie, difese di sponda Escavazione sedimenti	1930 - 2000 1950 - 1990	PELLEGRINI e ROSSI (1967); PELLEGRINI <i>et al.</i> (1979 a, b); CASTALDINI e BALOCCHI (2006); RINALDI <i>et al.</i> (2008a)
Staffora	Restringimento alveo; abbassamento fondo; sedimentazione ed erosione localizzate in corrispondenza di briglie	1977 - 1990	Estrazione inerti, difese di sponda, opere trasversali		MEISINA (1998)
Altri affluenti Po in destra idrografica in Emilia Romagna (Taro, Secchia, Enza, Tidone)	Incisione (in media 3-4 m, fino a 12-13 m lungo il Secchia); restringimento alveo; variazioni di morfologia (da canali intrecciati a canale singolo)	da 1950 a 1980 (particolarmente intense negli anni '70)	Escavazione ghiaia, dighe, briglie	da 1950 a 1980	MEISINA (1997); PELLEGRINI <i>et al.</i> (1979 a, b); PEREGO (1994, 1998); CASTALDINI <i>et al.</i> (1999)

variazioni di lunghezza. L'accorciamento massimo è stato rilevato in un tratto mediano di 150 km circa da confluenza Scrivia fino a Cremona, con una riduzione di lunghezza pari a ben il 12% rispetto alla lunghezza misurata prima degli anni '50 del XX sec., quindi in poco più di trenta anni. Nel periodo di osservazione 1882-1979, dopo un precedente allungamento, viene segnalato un accorciamento del percorso del Fiume Po anche a monte di Torino nel tratto di circa 70 km dallo sbocco in pianura, dove si è verificato un accorciamento del 12% a partire dagli anni '60 del XX sec. (MARAGA, 1983).

Per quanto riguarda le variazioni di quota del fondo, abbassamenti di 3-4 m sono comuni, ma in alcuni casi sono stati osservati abbassamenti di oltre 10 m, soprattutto negli affluenti emiliani in destra Po quali i fiumi Secchia e Panaro (PELLEGRINI *et al.*, 1979a, b; CASTALDINI e BALOCCHI, 2006). Il restringimento dell'alveo è stato osservato in numerosi fiumi, ma solo in alcuni di questi il fenomeno è stato quantificato (è il caso di vari fiumi del Piemonte, con restringimento in vari casi maggiore del 50%). Riguardo alla localizzazione delle variazioni lungo i corsi d'acqua ed ai periodi in cui queste si sono verificate, le informazioni non sono sempre disponibili. In generale, comunque, le variazioni sono state osservate nei tratti pedemontani e di pianura ed hanno avuto luogo con una certa contemporaneità e con migrazione dei processi lungo il corso del fiume, almeno per i corsi d'acqua del sistema padano-occidentale (PELLEGRINI *et al.*, 2008).

Per quanto riguarda le cause, esiste un sostanziale accordo nel ritenere i fattori antropici come i principali responsabili di variazioni così rilevanti avvenute nel corso degli ultimi 100-150 anni. Vari sono i tipi di fattori antropici causali sia a scala di bacino (rimboschimenti e sistemazioni idraulico-forestali a partire dalla fine del XIX secolo), che in alveo (dighe, pennelli, difese di sponda, ecc. a partire dalla prima metà del XX secolo). Quasi tutti gli autori concordano nel ritenere l'escavazione di sedimenti, soprattutto durante i decenni dello sviluppo economico, insediativo ed infrastrutturale del secondo dopoguerra, come la causa principale (GOVI e TURITTO, 1993).

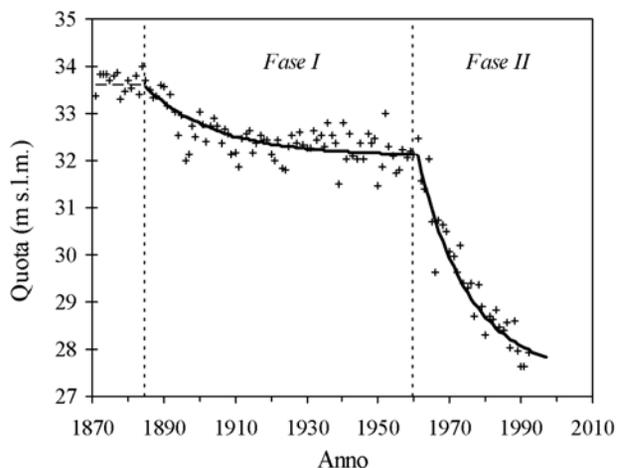
Riguardo al regime dei deflussi si ha generalmente una diminuzione più o meno consistente delle portate di magra, lungo gli idrometri del Po. In riferimento alla stazione idrometrica di Moncalieri-Meirano (TO), dove sono state condotte analisi anche sulla sequenza delle portate giornaliere massime annuali dal 1920 al 1985, è stato segnalato un cambiamento di regime delle portate di piena, caratterizzato dall'aumento dei valori e della frequenza, a partire dagli anni '50 del XX sec., che possono aver indotto effetti di accorciamento ed approfondimento degli alvei (DUTTO e MARAGA, 1994).

Per contro non sono state documentate finora modificazioni delle portate massime, in particolare di quelle "formative", almeno nel caso di bacini padano-veneti (si veda ad esempio SURIAN e CISOTTO, 2007).

Per quanto riguarda l'andamento temporale dei processi di aggiustamento morfologico, da questa rassegna scaturiscono pochi esempi relativi alla quota del fondo, tutti riferiti al caso del Fiume Po. A tal proposito si riporta in figura 1 l'andamento temporale delle quote di fondo del fiume in corrispondenza alla stazione idrometrica di Cremona che, seppure non si possa considerare generalizzabile a tutto il corso d'acqua, ben rappresenta un andamento osservato anche per altri fiumi italiani, in particolare per il F. Arno (RINALDI e SIMON, 1998). Da tale diagramma è chiaro come l'abbassamento del fondo si sia verificato in due periodi: (I) il primo, con abbassamenti di entità minore, è iniziato attorno alla fine del XIX secolo-inizio XX secolo ed è attribuibile agli interventi a scala di bacino (rimboschimenti, briglie, ecc.); (II) il secondo, di maggiore entità, è iniziato negli anni '50-'60 del secolo scorso ed è principalmente riconducibile all'intensa escavazione di materiale in alveo.

## RISULTATI RECENTI

Durante gli ultimi anni, nell'ambito del progetto nazionale citato (PRIN 2005), sono stati approfonditi alcuni aspetti riguardanti le variazioni passate ed attuali di alcuni corsi d'acqua rappresentativi dell'Italia centro-settentrionale. I casi di studio esaminati sono undici, di cui quattro afferenti al Bacino Padano (F. Stura di Lanzo e T. Orco di provenienza alpina in sinistra Po, F. Trebbia e F. Panaro di provenienza appenninica in destra Po), tre rappresentativi del versante tirrenico



**Fig. 1.** Trend temporale della quota del fondo del Fiume Po a Cremona, con evidenziate le fasi di abbassamento (modificato da LAMBERTI e SCHIPPA, 1994).

appenninico (F. Cecina, F. Vara e F. Magra) ed infine quattro corsi d'acqua dell'alto Adriatico (F. Piave, F. Brenta, F. Tagliamento e T. Torre). Tali casi di studio rappresentano quindi un'ampia varietà di situazioni, con aree dei bacini sottesi variabili tra 570 e 3900 km<sup>2</sup> e lunghezze di corsi d'acqua variabili tra 65 e 220 km. Si tratta in prevalenza di alvei a fondo ghiaioso, con morfologia a canali intrecciati, almeno prima che intervenissero le modifiche degli ultimi decenni. Alcuni risultati di questi studi sono stati recentemente pubblicati (PELLEGRINI *et al.*, 2008; RINALDI *et al.*, 2008a, 2008c; SURIAN *et al.*, 2008, 2009a).

Per ogni corso d'acqua analizzato, sono stati presi in considerazione uno o più tratti, con lunghezze variabili tra i 10 e 50 km circa, che presentassero le seguenti caratteristiche: (1) alvei alluvionali a fondo mobile senza significative costrizioni naturali da parte dei versanti (alvei non confinati); (2) tratti fluviali limitatamente controllati da opere idrauliche.

I dati raccolti e le metodologie di analisi adottate sono stati omogenei per tutti i casi di studio e possono essere riassunti in tre punti principali.

(1) Cartografie storiche, foto aeree, talora immagini satellitari, con analisi GIS delle variazioni planimetriche. Le foto aeree sono state elaborate attraverso il software GIS, il quale ha permesso di georeferenziare le immagini in modo da poterle sovrapporre tra loro ed effettuare le misure di parametri morfologici planimetrici di interesse. Questi ultimi sono rappresentati dalla larghezza dell'alveo, dall'indice di intrecciamento e, in alcuni casi (per alvei a canale singolo), dall'indice di sinuosità. È stata misurata sia la larghezza totale, comprensiva cioè di eventuali isole vegetate, che la larghezza dell'alveo escluse le isole. Tale parametro è stato

misurato utilizzando tracce di sezione con una scansione omogenea lungo ogni tratto di studio, variabile da caso a caso ma compresa tra 0,5 e 2 volte la larghezza attuale dell'alveo, ad eccezione del F. Stura di Lanzo, dove le larghezze sono state mediate dalla misura di aree e relative lunghezze lungo l'asse fluviale, per tratti morfologicamente omogenei. Per tutti i casi di studio sono state utilizzate anche carte storiche le quali, seppure con un margine di errore superiore rispetto alle foto aeree, sono state ritenute sufficientemente attendibili, nonché fondamentali per la comprensione dei trend di larghezza di più lungo termine.

(2) Confronto di rilievi topografici ed analisi delle variazioni di quota del fondo. Sono stati recuperati rilievi topografici passati e recenti, quali sezioni trasversali e profili della quota del fondo, e sono stati utilizzati per ricavare delle stime delle variazioni altimetriche degli alvei.

(3) Rilievi geomorfologici sul terreno. Sono state utilizzate le schede di rilevamento geomorfologico sviluppate appositamente nel corso del progetto e riportate in RINALDI (2008). Tali schede, oltre ad una descrizione generale delle caratteristiche morfologiche attuali, hanno permesso di classificare le variazioni altimetriche e di valutare le tendenze attuali, in base a differenze di quota tra superfici omologhe e ad altre evidenze morfologiche e sedimentologiche di campo.

I risultati qui riportati e brevemente discussi riguardano gli affluenti del Fiume Po, ma sono coerenti con i risultati ottenuti anche per gli altri casi di studio. In figura 2 sono riportati i trend temporali delle larghezze dell'alveo attivo, queste ultime mediate sull'intera lunghezza dei tratti di studio. I risultati mostrano con evidenza dei trend temporali simili a quelli delineati per

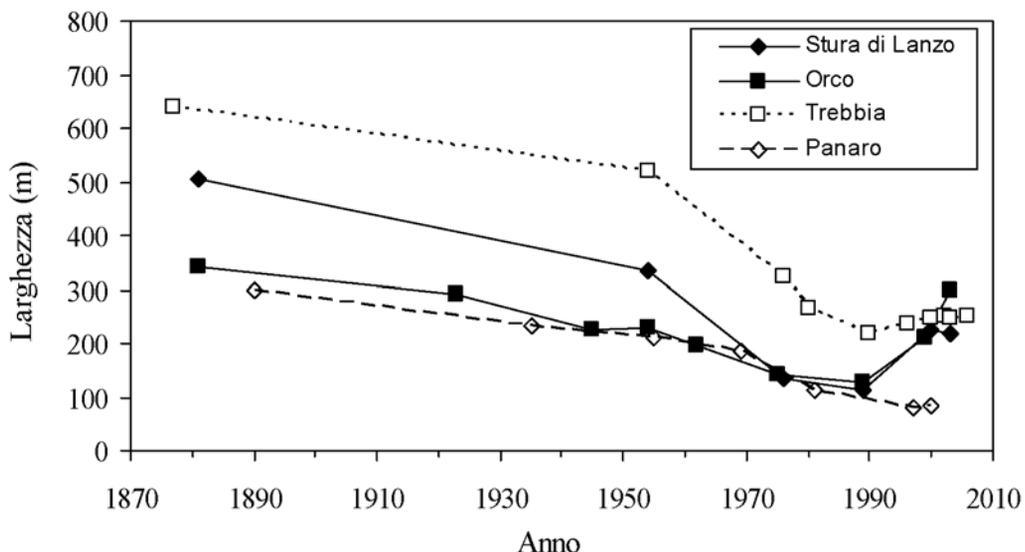


Fig. 2. Trend temporali di larghezza per i fiumi Stura di Lanzo, Orco, Trebbia, Panaro.

le quote del fondo alveo del F. Po a Cremona (Fig. 1), con successive tre fasi principali di aggiustamento morfologico.

(1) Prima fase di restringimento (fase 1). È caratterizzata da un restringimento molto significativo, verificatosi nella maggior parte dei casi tra la fine del XIX sec.-inizi XX sec. e gli anni '50-'70. Il restringimento complessivo, rispetto alla larghezza iniziale (fine XIX sec.), è dell'ordine del 36% per il F. Stura di Lanzo, 33% per il T. Orco, 19% per il F. Trebbia e 38% per il F. Panaro. Nonostante questo restringimento significativo, gli alvei tendono a mantenere ancora una morfologia a canali intrecciati o talvolta transizionale (*wandering*).

(2) Seconda fase di restringimento (fase 2). È caratterizzata da un restringimento altrettanto significativo ma, essendosi manifestato in un intervallo di tempo inferiore (dagli anni '60-'70 agli anni '80-'90), è avvenuto con tassi di variazione in genere più elevati. Il restringimento alla fine di questa fase è pari al 68% rispetto alla larghezza iniziale (fine XIX sec.) per il F. Stura di Lanzo, 44% per il T. Orco, 58% per il F. Trebbia e 73% per il F. Panaro. A seguito di tale restringimento, gli alvei tendono a perdere, in alcuni tratti, la loro originaria morfologia a canali intrecciati, modificandosi in una configurazione *wandering*, ad esempio nel fiume Trebbia, (PELLEGRINI *et al.*, 2008) o addirittura a canale singolo, come nel caso di alcuni sottotratti del F. Stura di Lanzo (PELLEGRINI *et al.*, 2008) e del F. Panaro (RINALDI *et al.*, 2008a).

(3) Fase di allargamento (fase 3). Nella gran parte dei casi si osserva una recente inversione di tendenza, iniziata negli anni '90 e caratterizzata da un aumento di larghezza, con tassi, in alcuni casi, anche molto significativi. Va osservato che sulla tendenza recente dei corsi d'acqua piemontesi (Stura di Lanzo e Orco) ha senza dubbio influito la massima piena storica, verificatasi nell'ottobre 2000, a seguito della quale la larghezza del T. Orco ha addirittura quasi raggiunto i valori di inizio '900 (TURITTO *et al.*, 2008), ma tale tendenza era già iniziata prima ed è comunque osservata anche per altri casi non interessati da piene analoghe per intensità.

In merito alle variazioni altimetriche, si sottolinea che per i quattro casi qui riportati non esistevano

confronti sistematici di rilievi topografici di anni diversi. Le stime di variazioni di quota del fondo, sintetizzate in tabella II, si riferiscono quindi a dati bibliografici ed evidenze sul terreno. In Stura di Lanzo e Orco gli abbassamenti già misurati negli anni '70 su 31 e 20 siti d'indagine, rispettivamente, dal 1936 in Stura e dal 1945 in Orco (GOVI, 1976) erano risultati in prevalenza compresi tra 3 m e 4,5 m nel primo caso e tra 1 m e 2 m nel secondo, e si erano manifestati con maggior diffusione e intensità dopo gli anni '60. Gli effetti di incisione si sono registrati ancora fino a tutti gli anni '80 (GODONE *et al.*, 2004). Parimenti si può osservare come tutti i corsi d'acqua analizzati abbiano manifestato forme di abbassamento del fondo rispetto a fine 1800, con i valori più intensi (fino a 10 m) registrati per il F. Panaro, mentre le tendenze attuali prevalenti sono di equilibrio e/o sedimentazione.

Le cause delle fasi di restringimento ed abbassamento del fondo sono riconducibili a quelle, di natura antropica, descritte nel paragrafo precedente, con fattori a scala di bacino (rimboschimenti, sistemazioni idraulico-forestali), unitamente a realizzazione di alcune dighe, pennelli e difese di sponda, prevalenti nella fase 1, mentre l'intensa estrazione di sedimenti è indicato come il fattore responsabile dell'accelerazione dei processi di aggiustamento che ha caratterizzato la fase 2. Per quanto riguarda l'inversione di tendenza e le attuali condizioni prevalenti di allargamento-sedimentazione degli ultimi 15 anni circa, gli autori concordano nel ritenere che esse siano legate ad una rinnovata disponibilità di sedimenti che ha fatto seguito, con un certo ritardo, al termine della fase di intensa attività di escavazione in alveo, e che in alcuni casi (ma non necessariamente) è stata accentuata da eventi di piena di forte intensità. Analoghe e pressoché contemporanee situazioni sono state osservate recentemente anche per alcuni fiumi pedevalpini francesi (LIÉBAULT, 2003; ROLLET, 2007).

I casi di studio qui esaminati, dunque, si possono considerare rappresentativi di un tipo di evoluzione che ha coinvolto presumibilmente gran parte degli altri affluenti padani, oltre allo stesso Fiume Po, seppure con possibili variazioni rispetto a questi trend generali legate a cause o situazioni locali. Rimangono alcuni punti aperti, in particolare la conoscenza delle attuali

**Tab. II.** Stima delle variazioni di quota del fondo rispetto a fine 1800 e delle tendenze attuali per i quattro affluenti del Fiume Po analizzati.

Fiume	Variazioni stimate rispetto a fine 1800	Tendenze attuali (ultimi 10 anni circa)
Stura di Lanzo	Abbassamento tra 0 e 5 m	Equilibrio o Incisione
Orco	Abbassamento tra 1 e 3 m	Equilibrio/Sedimentazione
Trebbia	Abbassamento tra 2 e 4 m	Sedimentazione
Panaro	Abbassamento tra 4 e 10 m	Equilibrio

tendenze evolutive (quelle che si stanno verificando nella scala temporale degli ultimi 10 anni circa) non è ancora sufficientemente dettagliata e distribuita ai fini di una proiezione futura, che tenga conto anche delle eventuali modificazioni e fruizioni dell'ambiente fluviale. Pertanto sono in corso approfondimenti nell'ambito di un nuovo progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale avviato nel 2008 (MIUR-PRIN 2007: "Tendenza evolutiva attuale e possibile dinamica futura degli alvei fluviali in Italia centro-settentrionale").

### APPLICAZIONI ALLA GESTIONE E RIQUALIFICAZIONE

In questo paragrafo si intendono richiamare alcuni concetti che presentano importanti implicazioni ed applicazioni future delle conoscenze sull'evoluzione morfologica degli alvei fluviali ritenute indispensabili per la loro gestione e riqualificazione. Recentemente è aumentata la consapevolezza che la dinamicità geomorfologica di un corso d'acqua, legata al flusso di sedimenti ed ai processi di erosione e sedimentazione connessi, è essenziale per la creazione, il mantenimento e l'evoluzione degli habitat fisici negli ecosistemi acquatici e ripariali (BOON *et al.*, 1992; GOODSON *et al.*, 2002; WOHL *et al.*, 2005; FLORSHEIM *et al.*, 2008), dal momento che il funzionamento naturale di un fiume in equilibrio dinamico promuove spontaneamente la diversità e la disponibilità di habitat (PALMER *et al.*,

2005). Seppure ancora di rado le conoscenze geomorfologiche vengono messe in pratica in Italia nel campo della gestione dei corsi d'acqua, si possono individuare alcune rilevanti eccezioni che dimostrano una accresciuta sensibilità verso gli aspetti geomorfologici da parte degli enti preposti alla gestione dei corsi d'acqua. Due esempi significativi sono rappresentati dalle Autorità di Bacino del Fiume Magra e del Fiume Po, le quali hanno da tempo intrapreso un approccio mirato alla comprensione dei processi fisici per la definizione di strategie di recupero morfologico ed ambientale e per la gestione dei sedimenti (RINALDI, 2007; RINALDI e SIMONCINI, 2006; AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2006, 2008).

L'evoluzione morfologica delineata nei precedenti paragrafi è sintetizzata in figura 3, dove è rappresentato un modello evolutivo concettuale (RINALDI *et al.*, 2008a) che ripercorre quello originariamente proposto da SURIAN e RINALDI (2004); si distinguono: (1) Stadio I: morfologia iniziale a canali intrecciati di fine XIX sec.-inizi XX sec.; (2) Stadio II: alveo parzialmente inciso e ristretto del periodo 1950-1970 circa, a seguito della prima fase di aggiustamento; (3) Stadio III: alveo con incisione e restringimento massimi degli anni '90 o ancora in atto, a seguito della fase 2 di variazioni più intense; (4) Stadio IV: alveo con inizio di inversione di tendenza e parziale recupero morfologico. A seconda dell'intensità delle variazioni relative allo stadio III,

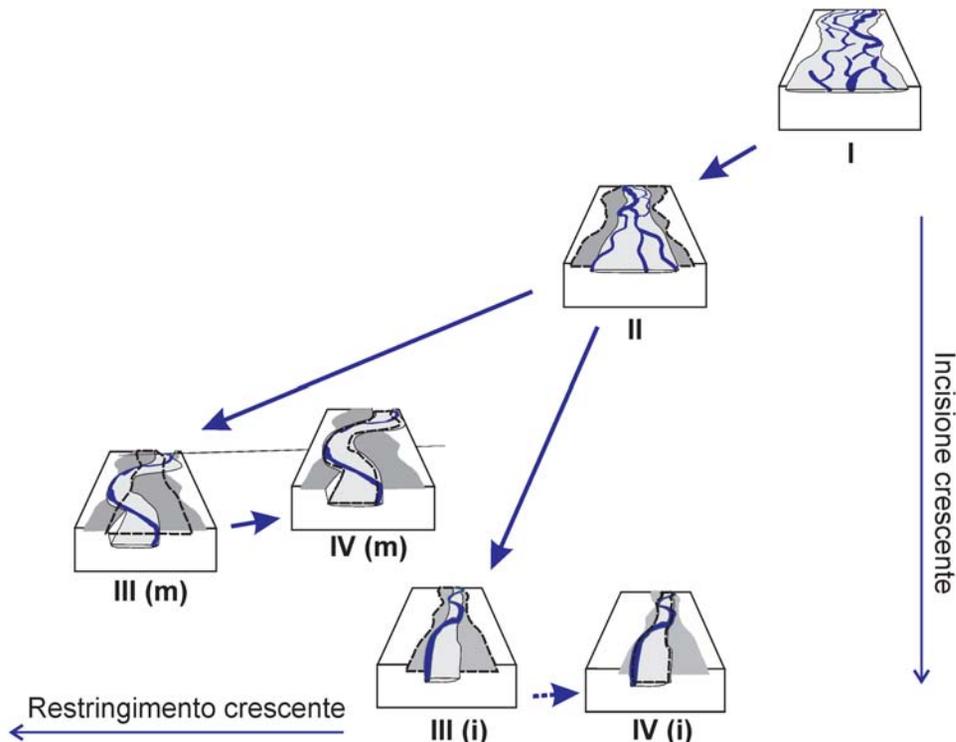


Fig. 3. Modello morfologico evolutivo dei corsi d'acqua del bacino Padano.

si distingue tra una incisione più moderata (m) (ad es. quella che ha interessato il T. Orco) da una incisione intensa (i) (è il caso ad esempio del F. Panaro).

L'utilizzo di un approccio di classificazione basato sulle variazioni e sulle tendenze evolutive (SIMON, 1995) piuttosto che sulle forme (ROSGEN, 1996) permette di ricavare alcune indicazioni di massima sulla funzionalità geomorfologica, le priorità e strategie di gestione da adottare, una volta identificato lo stadio di evoluzione, come esemplificato in tabella III. Le schede di rilevamento geomorfologico proposte da RINALDI (2008), integrate opportunamente con altri tipi di analisi (in particolare analisi GIS delle variazioni morfologiche da foto aeree), permettono di ricavare tutti gli elementi (variazioni morfologiche passate e tendenze attuali) utili per tale tipo di classificazione. Questa risulterebbe anche funzionale alle esigenze di classificazione e monitoraggio dei corsi d'acqua ai fini del recepimento della Direttiva Quadro Acqua 2000/60, la quale richiede di classificare il fiume in base al suo scostamento da un dato stato di riferimento. A tal proposito, recentemente è sempre più condiviso il fatto che sia inappropriato considerare come stato di riferimento una situazione naturale e primitiva (si veda ad es. KONDOLF *et al.*, 2007; DUFOUR e PIÉGAY, 2009), dal momento in

cui i regimi delle portate liquide e soprattutto di quelle solide che determinavano la morfologia fluviale erano profondamente diversi rispetto alle condizioni attuali. Tuttavia, la conoscenza della traiettoria di evoluzione morfologica di un certo alveo fluviale (cioè da che morfologia proviene e quali siano le tendenze attuali e future) rappresenta un elemento conoscitivo fondamentale per una valutazione dello stato morfologico di un corso d'acqua e per orientarne la gestione (BRIERLEY e FRYIRS, 2005; BRIERLEY *et al.*, 2008; RINALDI *et al.*, 2008c; SURIAN *et al.*, 2009b).

Oltre che ai fini della classificazione e della definizione di strategie di gestione, le conoscenze dell'evoluzione morfologica degli alvei fluviali rivestono un ruolo determinante in progetti di riqualificazione fluviale il cui obiettivo principale è quello di promuovere una maggiore naturalità del corso d'acqua e/o favorirne un recupero morfologico/ecologico. In Italia, tranne rari esempi in fase di attuazione o in progetto (come sui fiumi Ticino e Po), non si possono ancora annoverare interventi sistematici di riqualificazione fluviale che includano azioni di tipo morfologico, come invece esistono in altri stati; basti citare i numerosi interventi di recupero morfologico e sedimentologico nelle aree pedemontane austriache e francesi (PIÉGAY e RINALDI,

**Tab. III.** Caratteristiche, funzionalità, priorità e strategie di riqualificazione associabili ai diversi stadi di evoluzione morfologica.

Stadio di evoluzione	Caratteristiche morfologiche	Funzionamento geomorfologico	Priorità e strategie di riqualificazione
<b>Stadio I</b>	Variazioni non significative; equilibrio dinamico o leggera sedimentazione	<b>A.</b> Livello ottimo (connessione laterale, continuità longitudinale nel flusso di sedimenti)	Preservazione di processi naturali (possibile 'immagine guida')
<b>Stadio II</b>	Variazioni limitate; prossimo ad equilibrio dinamico	<b>B.</b> Livello buono (connessione laterale, continuità longitudinale nel flusso di sedimenti)	Preservazione e/o promozione di processi naturali (possibile 'immagine guida')
<b>Stadio III (m)</b>	Variazioni moderate, ancora in incisione e/o restringimento; terrazzo disconnesso	<b>D.</b> Livello basso (disconnessione laterale, deficit di sedimenti, ecc.)	Promuovere incremento alimentazione di sedimenti
<b>Stadio III (i)</b>	Variazioni drastiche, ancora in incisione e/o restringimento; terrazzo molto disconnesso	<b>F.</b> Livello peggiore (drastica disconnessione laterale, deficit persistenti di sedimenti, mancanza di ghiaia, instabilità sponde, ecc.)	Incrementare alimentazione di sedimenti, fino a ricarica artificiale; in alcuni casi ricostruzione morfologica (ricreazione piana inondabile)
<b>Stadio IV (m)</b>	Recupero parziale dopo una fase di variazioni moderate; porzioni di piana inondabile incipiente	<b>C.</b> Livello intermedio (recupero iniziale, riduzione della disconnessione laterale e del deficit di sedimenti)	Assecondare il recupero naturale (permettere mobilità laterale, recupero del fondo e ricreazione di piana inondabile)
<b>Stadio IV (i)</b>	Recupero iniziale dopo intense variazioni; localmente porzioni di piana inondabile incipiente	<b>E.</b> Livello molto basso (disconnessione laterale ancora molto elevata; deficit di sedimenti ma probabile inizio di inversione del trend)	Promuovere il recupero naturale, in qualche caso attraverso una parziale ricostruzione morfologica

2006; HABERSACK e PIÉGAY, 2008). Tuttavia gli studi che prendono in esame gli aspetti geomorfologici, insieme a quelli ecologici, per fornire possibili proposte di interventi di riqualificazione sono in crescita. RINALDI e GUMIERO (2008a, 2008b) hanno svolto una breve rassegna di alcuni progetti di ricerca nell'ambito dei quali sono stati analizzati gli aspetti geomorfologici per pervenire a proposte di riqualificazione e/o gestione degli alvei fluviali che ne favoriscano il recupero della funzionalità geomorfologica ed ecologica. Tali progetti riguardano corsi d'acqua ubicati nell'Appennino Tosco-Emiliano, caratterizzati da dimensioni estremamente variabili, ma tutti accomunati da problematiche simili (incisione del fondo, deficit di trasporto solido, restringimento dell'alveo attivo, ecc.). La conoscenza delle caratteristiche morfologiche passate dell'alveo e della loro evoluzione, così come le condizioni ed i processi attuali (incisione, equilibrio, sedimentazione) hanno rappresentato fasi di studio indispensabili per affrontare adeguatamente i problemi di gestione e per proporre eventuali misure di riqualificazione fluviale basate sul ripristino dei processi fisici e dell'equilibrio geomorfologico.

Pertanto, le strategie di gestione e riqualificazione che vengono proposte, ad esempio mobilitazione di sedimenti accumulati a monte di briglie, ricreazione di piana inondabile e rami secondari, rialimentazione naturale dalle sponde e creazione di una fascia di mobilità entro la quale consentire le libere divagazioni laterali del corso d'acqua, tengono conto dell'evoluzione passata e sono compatibili con le tendenze naturali dei corsi d'acqua. In vari casi, dovrebbe essere considerata la strategia di non intervenire, ossia di lasciare o promuovere la tendenza naturale del corso d'acqua, dato che

interventi di rimodellazione morfologica costituiscono il più delle volte importanti disturbi degli ecosistemi esistenti, possono essere dannosi e vanno quindi limitati solo ai casi indispensabili.

Tra i vari progetti, in particolare è da evidenziare quello relativo al tratto mediano del F. Panaro (RINALDI *et al.*, 2008b, 2008c) che, come evidenziato precedentemente, rappresenta uno dei casi con maggiore abbassamento del fondo, restringimento e persistente deficit di sedimenti, favorito anche dalla presenza di numerose briglie a loro volta realizzate per ostacolare gli effetti dell'incisione. Facendo riferimento alla tabella III, il F. Panaro nel tratto di progetto rientra quindi negli stadi III (i) o IV (i), con i livelli più bassi di funzionalità geomorfologica. In questo caso le priorità e strategie di intervento dovrebbero favorire la mobilitazione di sedimenti accumulati a monte di briglie, la reimmissione in alveo di sedimenti provenienti dalla ricreazione di piana inondabile e rami secondari, rialimentazione naturale dalle sponde. Il recupero di alcune funzionalità (ad esempio connessione laterale con la pianura) in tempi compatibili con le aspettative del progetto potrebbe essere ottenuto solo attraverso interventi di ricostruzione morfologica (ad esempio ricreazione di piana inondabile).

### Ringraziamenti

Ricerca finanziata dal MiUR nell'ambito del progetto PRIN 2005 "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative" (Responsabile nazionale e U.O. Padova: N. Surian; Responsabili U.O. Firenze e Pavia: M. Rinaldi e L. Pellegrini rispettivamente). Si ringrazia l'Ing. A. Colombo (Autorità di Bacino del Fiume Po) per le informazioni fornite.

### BIBLIOGRAFIA

- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2006. *Direttiva tecnica per la programmazione degli interventi di gestione dei sedimenti degli alvei dei corsi d'acqua*. Adottata con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 9/2006.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008. *Il recupero morfologico ed ambientale del Fiume Po. Il contributo del Programma generale di gestione dei sedimenti del Fiume Po*. Edizioni Diabasis, 50 pp.
- BERETTA E., 1996. *Cartografia ufficiale (1852-1969) relativa alle trasformazioni del fiume Po nel Comune di Settimo Torinese*. CNR-IRPI, Torino, Rapporto interno R.T. 96/8, 8 pp.
- BERETTA E., MARAGA F., MASINO A., VIOLA E., 1997. *Fiume Po: evoluzione del percorso fluviale nel territorio cremonese in rapporto alle interferenti opere antropiche (1955-1995)*. CNR-IRPI, Torino, Rapporto interno R.I. 97/2.
- BEZOARI G., BRAGA G., GERVASONI S., LARCAN E., PAOLETTI A., 1984. *Effetto dell'estrazione di inerti sull'evoluzione dell'alveo del fiume Trebbia*. 2° Convegno di Idraulica Padana, Parma, 15-16 giugno 1984: 165-182.
- BOON P.J., CALOW P., PETTS G.E., 1992. *River Conservation and Management*. Wiley, 470 pp.
- 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: 113-126.
- BRIERLEY G.J., FRYIRS K.A., BOULTON A., CULLUM C., 2008. Working with change: the importance of evolutionary perspectives in framing the trajectory of river adjustment. In: Brierley G.J., Fryirs K.A. (eds.), *River Futures: An*

- Integrative Scientific Approach to River Repair*. Society For Ecological Restoration International, Island Press: 65-84.
- BRIERLEY G.J., FRYIRS K.A., 2005. *Geomorphology and river management: applications of the river style framework*. Blackwell, Oxford, UK.
- CASTALDINI D., BALOCCHI P., 2006. Studio Geomorfologico del Territorio di Pianura a Sud di Modena. In: Lodovisi A., *La Bonifica nei Territori di Alta Pianura*. Consorzio della Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro, Tipografia F.G.
- 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.
- CASTALDINI D., PIACENTE S., MALMUSI S., 1999. Evoluzione del F. Secchia in pianura nel XIX e nel XX secolo (Province di Reggio Emilia, Modena e Mantova, Italia settentrionale). In: Orombelli G. (ed.), *Studi geografici e geologici in onore di Severino Belloni*. Glauco Brigati, Genova: 169-187.
- CASTIGLIONI G.B. (a cura di), 1997. *Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. MIUR, S.E.L.C.A. Firenze 3 Tavole, scala 1:250.000.
- DUFOUR S., PIÉGAY H., 2009. From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, **25**: 568-581.
- DUTTO F., 1987. *La piana alluvionale del Po tra il F. Tanaro e il F. Ticino: studio geomorfologico e idrometrico finalizzato alla definizione delle aree allagabili*. Tesi di Laurea inedita. Università di Torino.
- DUTTO F., MARAGA F., 1994. Variazioni idrografiche e condizionamento antropico. Esempi in pianura padana. *Il Quaternario*, **7**: 381-390.
- FLORSHEIM J.L., MOUNT J.F., CHIN A., 2008. Bank erosion as a desirable attribute of rivers. *Bioscience*, **58** (6): 519-529.
- FRANCESCHETTI B., STOPPATO M., TURITTO O., 1990. Le modificazioni del corso della Dora Riparia tra Susa e Alpignano dal 1881 al 1977. Fattori naturali e antropici e riflessi ambientali. *Rivista Geografica Italiana*, **97** (4): 475-505.
- GIAMPANI C., RAMASCO M., 1998. Analisi comparata dell'evoluzione storica dell'alveo del Fiume Sesia e delle piene del novembre 1968 e settembre 1993 finalizzata alla prevenzione degli effetti indotti da eventi alluvionali. Atti del Convegno "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 novembre 1996, Pubbl. GNDICI n. 1600, vol. II: 131-142.
- GODONE F., BALDO M., MARAGA F., 2004. Una foresta nell'alveo del F. Stura di Lanzo (TO). Rilevamenti topografici, cartografia e GIS. *Atti 8ª Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 14-17 Dicembre 2004, 1219-1224.
- GOODSON J.M., GURNELL A.M., ANGOLD P.G., MORRISSEY I.P., 2002. Riparian seed banks along the lower River Dove UK – their structure e ecological implications. *Geomorphology*, **47**: 45-60.
- GOVI M., 1976. Ricerche sui processi di riattivazione delle capacità erosive negli alvei dei Torrenti Stura di Lanzo e Orco. In: Govi M. "Laboratorio di ricerca per la protezione idrogeologica nel bacino padano, Torino. Attività scientifica svolta nel 1975", La Ricerca Scientifica, anno 46, n. 2: 332-334.
- GOVI M., MARAGA F., 1973. Carta delle trasformazioni idrografiche. In: Amministrazione Provinciale di Torino, CNR-IRPI di Torino "Le condizioni idriche del comprensorio chivvassese", Tav. 7.
- GOVI M., TURITTO O., 1993. Processi di dinamica fluviale lungo l'asta del Po. *Acqua-Aria*, **6**: 575-588.
- HABERSACK H., PIÉGAY H., 2008. River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges. In: Habersack H., Piégay H., Rinaldi M. (eds.), *Gravel-bed Rivers VI - From Process Understanding to River Restoration*, Developments in Earth Surface Processes. Elsevier: 703-738.
- KONDOLF M.G., PIÉGAY H., LANDON N., 2007. Changes in the riparian zone of the lower Eygues River, France, since 1830. *Landscape Ecology*, **22**: 367-384.
- LAMBERTI A., 1993. Le modificazioni recenti verificatesi nell'asta principale del Po e problemi connessi. *Acqua-Aria*, **6**: 589-592.
- LAMBERTI A., SCHIPPA L., 1994. Studio dell'abbassamento dell'alveo del Fiume Po: previsioni trentennali di abbassamento a Cremona. *Navigazione Interna*, Suppl. n. 3-4, 23 pp.
- LIÉBAULT F., 2003. *Les rivières torrentielles des montagnes drômoises: évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massifs du Diois et des Baronnies)*. Unpublished PhD thesis, Université Lumière Lyon 2, 358 pp.
- MARAGA F., 1983. Morphologie fluviale et migration des cours d'eau dans la haute plaine du Po (Italie, partie nord-ouest). *Geologisches Jahrbuch*, **71**: 219-236.
- MARAGA F., 1989. Ambiente fluviale in trasformazione: l'alveo-tipo pluricursale verso un nuovo modellamento nell'alta pianura padana. Proceedings of the International Congress on Geoengineering "Suolosottosuolo", Torino, 27-30 September 1989: 119-128.
- 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", Univ. di Ancona, 14-15 Ottobre 1991: 51-62.
- MARAGA F., 1999. Tagli di meandro sul Fiume Po. *Geologia dell'Ambiente*, **7** (1): 3-7.
- MARAGA F., MORTARA G., 1981. Le cave per inerti lungo i corsi d'acqua: rapporti con la dinamica fluviale. *Bollettino Associazione Mineraria Subalpina*, **18** (3-4): 385-395.
- MARAGA F., MASINO A., 1993. *Fiume Po: evoluzione del percorso fluviale nel territorio cremonese in rapporto alle interferenti opere antropiche (1890-1970)*. CNR-IRPI, Torino, Rapporto interno M.I. 93/6, 22 pp.
- MARAGA F., MASINO A., VIOLA E., 2003. *Evoluzioni idrografiche del Fiume Po nel tempo ultrasecolare*. Atti della 7 Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31 Ottobre 2003.
- MARCHETTI M., 2002. Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities. *Geomorphology*, **44**: 361-373.
- MEISINA C., 1997. Incidenza dei fattori antropici sull'evoluzione naturale dell'alveo del T. Tidone (Appennino pavese-piacentino). *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, **39**: 313-327.

- MEISINA C., 1998. Analisi dei processi evolutivi dell'alveo del T. Staffora (affluente destro del F. Po). Atti del Convegno "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5-7 novembre 1996, Pubbl. GNDCI n. 1600, vol. II: 157-167.
- PALMER M.A., BERNHARDT E.S., ALLAN J.D., LAKE P.S., ALEXANDER G., BROOKS S., CARR J., CLAYTON S., DAHM C.N., SHAH J.F., GALAT D.L., LOSS S.G., GOODWIN P., HART D.D., HASSETT B., JENKINSON R., KONDOLF G.M., LAVE R., MEYER J.L., O'DONNELL T.K., PAGANO L., SUDDUTH E., 2005. Standard for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, **42**: 208-217.
- PELLEGRINI L., MARAGA F., TURITTO O., AUDISIO C., DUCI G., 2008. Evoluzione morfologica di alvei fluviali mobili nel settore occidentale del bacino padano. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **21** (1B): 251-266.
- PELLEGRINI M., ROSSI A., 1967. La variazione del profilo d'equilibrio del fiume Panaro e di alcuni affluenti. Estratto da *Atti Soc. Nat. e Mat. di Modena*, **98**, 24 pp.
- PELLEGRINI M., PEREGO S., TAGLIAVINI S., 1979a. *La situazione morfologica degli alvei degli affluenti emiliani del Po*. Convegno di Idraulica Padana, Parma, 19-20 Ottobre 1979, 9 pp.
- PELLEGRINI M., PEREGO S., TAGLIAVINI S., TONI G., 1979b. La situazione morfologica degli alvei dei corsi d'acqua emiliano-romagnoli: stato di fatto, cause ed effetti. Atti del Convegno "La programmazione per la difesa attiva del suolo e la tutela delle sue risorse: i piani di bacino idrografico", Modena, 28-29 Giugno 1979: 169-195.
- PEREGO S., con la collaborazione di Tellini C., 1994. Evoluzione naturale e antropica del medio e basso corso del F. Taro (Prov. di Parma). *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, **30**: 5-27.
- PIÉGAY H., RINALDI M., 2006. Gestione sostenibile dei sedimenti in fiumi ghiaiosi incisi in Francia. Atti Giornate di Studio "Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra", Sarzana, 24-25 Ottobre 2006, Autorità di Bacino del Fiume Magra: 59-80.
- RINALDI M., 2003. Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, **28** (6): 587-608.
- RINALDI M., 2007. *Approfondimenti dello studio geomorfologico dei principali alvei fluviali nel bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità funzionale*. Relazione Finale Convenzione di Ricerca tra Autorità di Bacino del Fiume Magra e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, 154 pp.
- RINALDI M., 2008. Schede di rilevamento geomorfologico di alvei fluviali. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **21** (1B): 353-366.
- RINALDI M., SURIAN N., 2005. Variazioni morfologiche ed instabilità di alvei fluviali: metodi ed attuali conoscenze sui fiumi italiani. In: Brunelli M., Farabollini P. (eds.), *Dinamica Fluviale*, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale, Grottammare, Giugno 2002, Ordine dei Geologi delle Marche: 203-238.
- RINALDI M., SIMONCINI C., 2006. Studio geomorfologico del Fiume Magra e del Fiume Vara finalizzato alla gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità. Atti Giornate di Studio "Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra.", Sarzana, 24-25 Ottobre 2006, Autorità di Bacino del Fiume Magra: 93-109.
- RINALDI M., SIMON A., 1998. Bed-level adjustments in the Arno River, Central Italy. *Geomorphology*, **22** (1): 57-71.
- RINALDI M., GUMIERO B., 2008a. Il recupero dei processi geomorfologici nei progetti di riqualificazione fluviale: problematiche e casi di studio in Italia. *Geologia dell'Ambiente*, **1**: 34-39.
- RINALDI M., GUMIERO B., 2008b. Restoring geomorphic and ecological processes in incised rivers: problems, criteria and approaches in the Northern Apennine (Italy). In: Gumiero B., Rinaldi M., Fokkens B. (Eds), *Proceedings IVth ECRR International Conference on River Restoration 2008*, Venice, 16-22 June 2008: 457-466.
- RINALDI M., SIMONCINI C., SOGNI D., 2005. Variazioni morfologiche recenti di due alvei ghiaiosi appenninici: il F. Trebbia ed il F. Vara. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, Suppl.VII: 313-319.
- RINALDI M., TERUGGI L.B., SIMONCINI C., NARDI L., 2008a. Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **21** (1B): 291-302.
- RINALDI M., GUMIERO B., LENZI D., MONACI M., 2008b. *Studio del Fiume Panaro finalizzato alla riqualificazione ed alla realizzazione di un parco fluviale*. Relazione Finale Convenzione di Ricerca tra Provincia di Modena e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, 383 pp.
- RINALDI M., GUMIERO B., MONACI M., ORI R., LENZI D., BELLACCI L., BELLETTI B., 2008c. The Panaro River (Northern Italy): definition of possible strategies for river restoration. In: Gumiero B., Rinaldi M., Fokkens B. (Eds), *Proceedings IVth ECRR International Conference on River Restoration 2008*, Venice, 16-22 June 2008: 531-540.
- RINALDI M., SIMONCINI C., PIÉGAY H., 2009. Scientific strategy design for promoting a sustainable sediment management: the case of the Magra River (Central - Northern Italy). *River Research and Applications*, **25**, 607-625.
- ROLLET A.J., 2007. *Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage: le cas de la basse vallée de l'Ain*. Unpublished PhD thesis, University of Lyon 3, Lyon, France, 305 pp.
- ROSGEN D.L., 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado, 390 pp.
- SIMON A., 1995. Adjustment and recovery of unstable alluvial channels: identification and approaches for engineering management. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20**: 611-628.
- SIVIGLIA A., FEDERICI B., BECCHI I., RINALDI M., 2004. Sediment transport and morphodynamic of the Tanaro River, north-western Italy. In: *Sediment Transfer through the Fluvial System*, Proceedings Symposium held in Moscow, August 2004, IAHS Publ. 288: 308-315.

- SURIAN N., 1999. Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surf. Process. Landforms*, **24**: 1135-1151.
- SURIAN N., 2006. Effects of human impact on braided river morphology: examples from Northern Italy. In: Sambrook Smith G.H., Best J.L., Bristow C., Petts G.E. (eds.), *Braided Rivers*. IAS Special Publication 36, Blackwell Science: 327-338.
- SURIAN N., CISOTTO A., 2007. Channel adjustments, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy. *Earth Surf. Process. and Landforms*, **32**: 1641-1656.
- SURIAN N., RINALDI M., 2003. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, **50** (4): 307-326.
- SURIAN N., RINALDI M., 2004. Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples from Italian rivers. In: Golosov V., Belyaev V., Walling D.E. (eds.), *Sediment transfer through the fluvial system*. IAHS Publ. 288: 276-282.
- SURIAN N., RINALDI M., 2008. Variazioni morfologiche degli alvei fluviali in Italia: stato dell'arte e prospettive. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **21** (1B): 233-240.
- SURIAN N., PELLEGRINI G.B., SCOMAZZON E., 2005. Variazioni morfologiche dell'alveo del Fiume Brenta indotte da interventi antropici. *Geogr. Fis. e Dinam. Quat.*, Suppl. VII: 339-345.
- SURIAN N., ZILIANI L., CIBIEN L., CISOTTO A., BARUFFI F., 2008. Variazioni morfologiche degli alvei dei principali corsi d'acqua veneto-friulani negli ultimi 200 anni. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **21** (1B): 279-290.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L.B., TURITTO O., ZILIANI L., 2009a. Channel adjustments in Italian rivers: evolutionary trends, causes and management implications. *Geological Society of America Special Paper*, **451**: 83-95.
- SURIAN N., ZILIANI L., COMITI F., LENZI M.A., MAO L., 2009b. Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of north-eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery. *River Research and Applications*, **25**: 551-567.
- TACCONI P., BILLI P., 1990. Indagine sull'abbassamento del fiume Po. Analisi morfometrica dello stato attuale e tendenza evolutiva dell'alveo. In: *Po AcquAgricolturaAmbiente, vol. II: L'alveo e il delta*. Società Editrice Il Mulino, Bologna: 15-111.
- TURITTO O., AUDISIO C., AGANGI A., 2008. Il ruolo svolto da piene straordinarie nel rimodellare la geometria di un alveo fluviale. *Il Quaternario*, **21** (1B): 303-316.
- VASSALLO N., GODONE D., 2003. *Rilevanza attuale della cartografia storica per applicazioni geoambientali: la confluenza Orco-Po negli ultimi 3 secoli*. Atti della 7 Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31 Ottobre 2003: 1829-1834.
- WOHL E., ANGERMEIER P.L., BLEDSOE B., KONDOLF G.M., MACDONNELL L., MERRITT D.M., PALMER M.A., POFF L., TARBOTON D., 2005. River Restoration. *Water Resources Research*, **41**, W10301, doi: 10.1029/2005WR003985.