



Dipartimento di Ingegneria Civile
Università degli Studi di Firenze



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 MOBILITA' FUNZIONALE



SINTESI DELLA RELAZIONE FINALE

SETTEMBRE 2005

Committente: Autorità di Bacino del Fiume Magra

Responsabile del Progetto di Ricerca: Prof. Massimo Rinaldi,
Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze

INDICE

PREMESSA	1
1. INQUADRAMENTO GENERALE DEL BACINO DEL FIUME MAGRA	2
2. FORME E PROCESSI ATTUALI	3
2.1 Suddivisione geomorfologica iniziale	3
2.3 Rilevamento geomorfologico di campo	4
2.4 Carta Geomorfologica	4
2.5 Sedimenti dell'alveo	5
2.6 Trasporto solido	6
3. VARIAZIONI MORFOLOGICHE E TENDENZE EVOLUTIVE	7
3.1 Materiale e dati raccolti	7
3.2 Variazioni morfologiche durante gli ultimi 150 anni	8
3.2.1 Variazioni morfologiche e trend evolutivi	8
3.2.2 Carta delle variazioni planimetriche dell'alveo	11
3.2.3 Classificazione e distribuzione spaziale delle variazioni morfologiche	12
3.2.4 Quadro complessivo delle variazioni e delle cause	15
3.2.5 Tendenze attuali	16
4. FASE APPLICATIVA E LINEE GUIDA DI GESTIONE DEI SEDIMENTI	17
4.1 Incisione ed escavazione di sedimenti	17
4.2 Carte tematiche finalizzate alla gestione	18
4.2.1 Carta della Fascia di Mobilità Funzionale	18
4.2.2 Carta della Fascia di Mobilità e della Fascia di Riassetto Fluviale	18
4.2.3 Carta di sintesi delle tendenze evolutive	18
4.2.3 Carta di sintesi dello stato attuale rispetto al 1950	19
4.2.4 Carta di sintesi dello stato attuale rispetto al 1900	20
4.3 Linee guida e raccomandazioni per la gestione dei sedimenti	21
4.3.1 Questioni chiave	21
4.3.3 Principi, raccomandazioni e linee guida per la gestione dei sedimenti	21
4.3.4 Applicazione al bacino del Fiume Magra	22
4.4 Piano di monitoraggio	24
BIBLIOGRAFIA	25

PREMESSA

Nel mese di Maggio 2004 ha preso avvio, a seguito della stipula di una Convenzione tra Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra e Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze in data 22 Aprile 2004, il progetto di ricerca dal titolo “**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**”.

Obiettivi della ricerca

Gli obiettivi del progetto di ricerca possono essere così sintetizzati:

- ricavare una base conoscitiva dell'evoluzione storica e recente e dei processi geomorfologici attuali lungo i principali fiumi con caratteri di alvei alluvionali mobili del bacino (principalmente fiume Magra e fiume Vara e tratti terminali dei principali affluenti);
- definire una serie di strumenti conoscitivi, strategie e linee guida per la gestione dei sedimenti d'alveo e dei connessi processi di erosione o sedimentazione, con particolare riferimento alla definizione delle fasce di mobilità fluviale e delle problematiche connesse con le richieste di movimentazione di sedimenti d'alveo.

Articolazione della ricerca

L'articolazione dello studio comprende due principali fasi:

- 1) **Fase conoscitiva** dello stato attuale degli alvei del F.Magra e F.Vara e della loro evoluzione recente. Attraverso la raccolta dei dati e materiali disponibili (carte storiche, foto aeree, foto d'epoca, rilievi topografici) ed attraverso rilievi geomorfologici e sedimentologici di campo, viene ricostruita l'evoluzione morfologica recente e vengono classificate le forme ed i processi attuali. Per alcuni tratti rappresentativi studiati più in dettaglio, vengono realizzate la Carta geomorfologica e la Carta delle variazioni planimetriche.
- 2) **Fase applicativa e gestionale**. I risultati della fase precedente si concretizzano innanzitutto in una Carta di sintesi, attraverso la quale si classificano le variazioni storiche e le tendenze evolutive recenti di larghezza e di quota del fondo. Per i tratti di dettaglio viene ricavata la Carta della Fascia di Mobilità Funzionale. Sulla base dei risultati ottenuti, si definiscono una serie di linee guida e raccomandazioni per la gestione dei sedimenti, con particolare riferimento alle problematiche connesse con le richieste di loro eventuali movimentazioni.

Gruppo di ricerca

Il Gruppo di ricerca è costituito come segue:

- Prof. M.Rinaldi, docente di Geologia Applicata presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze: responsabile e coordinatore della ricerca;
- Ing. C.Simoncini, assegnista di ricerca e dottoranda presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze;
- Dr.Geol. D.Sogni, collaboratore per gli aspetti geomorfologici.

Hanno inoltre preso parte al gruppo di lavoro F.Sgorbini e G.Doretta, i quali hanno svolto una tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio (Facoltà di Ingegneria, Università di Firenze) su argomenti connessi al presente progetto di ricerca.

1. INQUADRAMENTO GENERALE DEL BACINO DEL FIUME MAGRA

Il bacino idrografico del fiume Magra è situato nell'Italia centro-settentrionale, ha un'estensione di 1698.5 Km², di cui il 42% si trova all'interno della Regione Liguria ed il 58% invece all'interno della Regione Toscana, ed un perimetro di 238.2 Km. La lunghezza del Fiume Magra è di circa 69.5 km, quella del Fiume Vara di circa 65 km.

All'interno del bacino sono distinguibili tre distinti ambiti geografici (Figura 1): (a) sottobacino del fiume Magra (medio-alto Magra) fino poco a monte della confluenza con il fiume Vara; (b) gran parte del sottobacino del fiume Vara (medio-alto Vara), fino circa a Piana Battolla; (c) bassa Val di Vara – Val di Magra, intesa come porzione di bacino comprendente il tratto finale vallivo del F.Vara ed il tratto finale del F.Magra, da poco a monte la confluenza del Vara alla foce.

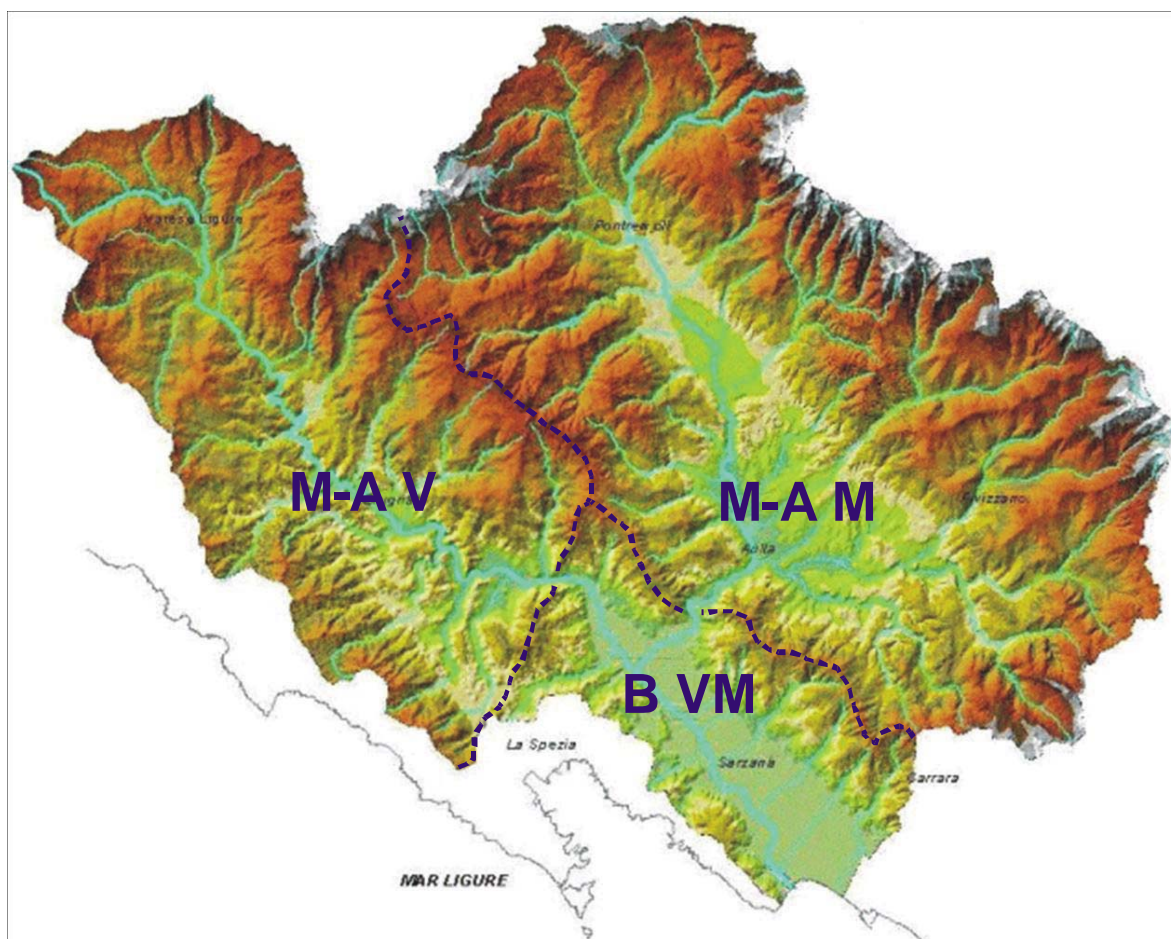


Figura 1 – Suddivisione del bacino del F.Magra in tre ambiti geografici. M-A M: Medio-alto Magra; M-A V: medio-alto Vara; B VM: basso Vara e Magra.

Le caratteristiche geomorfologiche del bacino ed il regime pluviometrico conferiscono ai corsi d'acqua un regime torrentizio, con forti magre estive alle quali seguono improvvise e forti piene in autunno e primavera. In questi periodi il coefficiente di deflusso raggiunge valori prossimi all'unità, mentre in estate scende fino a valori attorno a 0.3, cioè le piogge estive, particolarmente diffuse nelle parti alte del bacino, hanno una scarsa incidenza sulle portate. L'andamento mensile delle portate mette in evidenza un regime tipicamente appenninico, con un minimo estivo (Luglio per il F.Magra, Agosto per il F.Vara) ed un massimo autunnale nel mese di Novembre.

2. FORME E PROCESSI ATTUALI

2.1 SUDDIVISIONE GEOMORFOLOGICA INIZIALE

È stata realizzata una prima suddivisione geomorfologica funzionale alle successive fasi di studio delle variazioni morfologiche. Sulla base di una prima osservazione delle foto aeree e di una ricognizione di campo iniziale generale, il corso dei fiumi Magra e Vara è stato suddiviso in una serie di tratti con caratteristiche morfologiche relativamente omogenee, con particolare riferimento ai due seguenti aspetti: (a) morfologia del fondovalle (ampiezza, direzione della valle e grado di confinamento del fiume); (b) morfologia planimetrica dell'alveo. In particolare, sono stati in primo luogo distinti i principali **tratti**, in base prevalentemente alla morfologia del fondovalle. Successivamente, ogni tratto è stato ulteriormente suddiviso in **sottotratti** (Figure 2 e 3) considerando con maggior dettaglio la forma planimetrica dell'alveo e le discontinuità idrologiche naturali in relazione alla presenza dei maggiori affluenti.

B

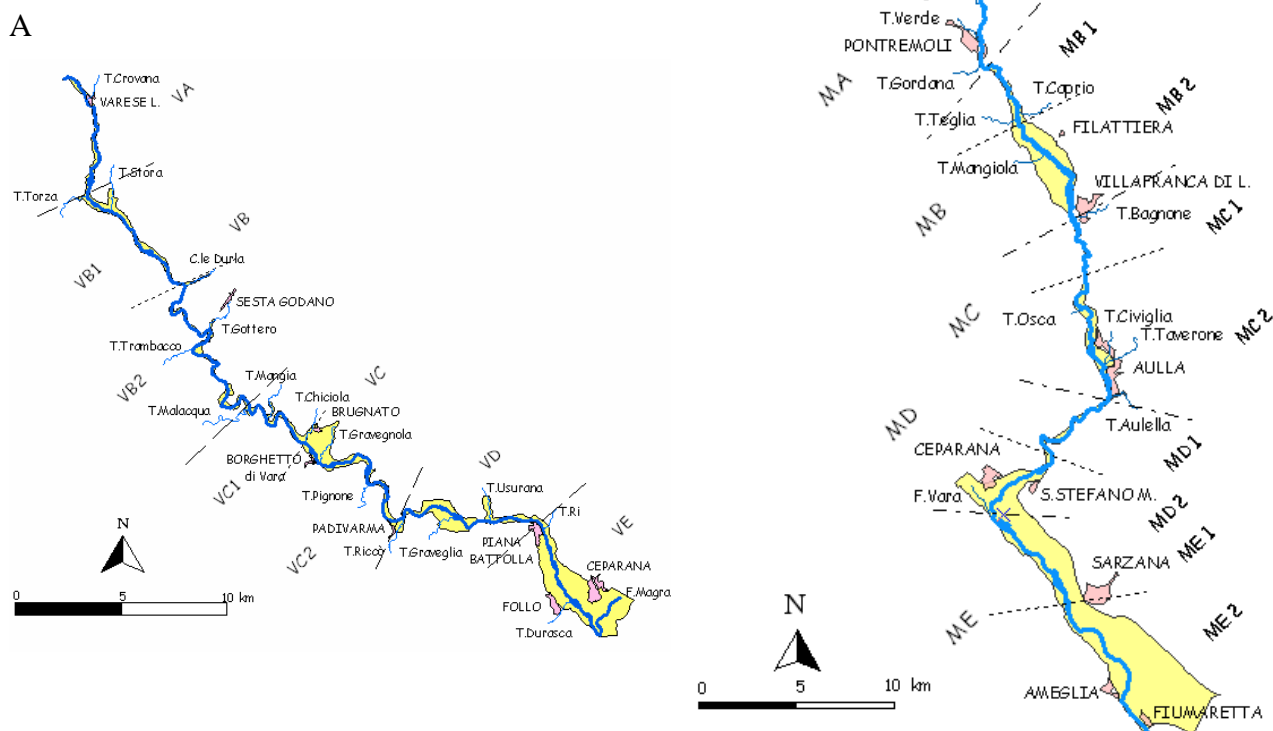


Figura 2 - Suddivisione del F.Vara (A) e del F.Magra (B) in tratti e sottotratti.

Contemporaneamente, è stata realizzata una seconda suddivisione funzionale al diverso grado di approfondimento con il quale è stato condotto lo studio. In particolare, vengono distinti due diversi livelli di approfondimento:

- a) **F.Magra (Pontremoli – foce) e F.Vara (Varese L. – Piana Battolla):** per questi tratti è stato effettuato uno studio più generale principalmente finalizzato alla realizzazione della Carta di sintesi delle tendenze evolutive;
- b) **Tratti di dettaglio,** per i quali sono state effettuate analisi e cartografie tematiche di maggior dettaglio (Carta geomorfologia dell'alveo, Carta delle variazioni planimetriche dell'alveo, Carta della Fascia di Mobilità Funzionale). Questi tratti sono scelti in modo da essere rappresentativi di diversi contesti morfologici degli alvei dei fiumi Magra e Vara, con particolare riferimento a tratti non confinati e con maggiore mobilità planimetrica.

2.2 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI CAMPO

Nel periodo compreso tra Maggio ed Ottobre 2004, è stato effettuato un rilevamento geomorfologico di campo sistematico, al fine di descrivere e classificare le attuali morfologie dell'alveo nei vari tratti e definirne i processi dominanti. Per la descrizione e la classificazione delle forme e dei processi si sono utilizzate apposite schede di rilevamento geomorfologico adatte per tali scopi, in modo da permettere una raccolta sistematica ed omogenea di informazioni, corredate da documentazione fotografica dei siti di rilevamento. A tal fine, partendo dai metodi proposti recentemente in letteratura (con particolare riferimento alla scheda ed alla procedura di rilevamento proposte da Thorne, 1998), sono stati messi a punto ed utilizzati due tipi di schede:

1. **Scheda di rilevamento geomorfologico.** Si tratta di una versione più estesa della scheda geomorfologica, che raccoglie informazioni sulle forme fluviali, le sponde, la vegetazione, le opere in alveo e contiene una serie di osservazioni interpretative relative alle variazioni morfologiche e le tendenze in atto. Sono state compilate in totale 37 schede di questo tipo.

2. **Scheda di rilevamento sintetico.** Data la lunghezza rilevante dei tratti di studio, è stato messo a punto un secondo tipo di scheda che possa essere compilata in maniera più speditiva e da ogni punto di accesso all'alveo, o anche laddove non si abbia un accesso diretto ma una buona visibilità del fiume stesso (in particolare in corrispondenza dei ponti). Sono state compilate in totale 37 schede sintetiche.

Un aspetto fondamentale indagato durante la fase di rilievi geomorfologici di campo è quello dei processi di tipo distribuito. Essi sono suddivisi in due categorie: a) variazioni planimetriche (variazioni della larghezza o della posizione dell'alveo attivo); b) variazioni altimetriche (di quota del fondo). Nell'ambito di queste due categorie, viene effettuata una importante distinzione in base alla **scala temporale**. In primo luogo si fa riferimento alla **media scala temporale**, corrispondente ad un orizzonte temporale dell'ordine **dei 100 anni** (quella indicata in geomorfologia fluviale come *graded time*). Si forniscono quindi informazioni su come l'alveo fluviale risulta essere oggi rispetto ad una situazione precedente di circa 100 anni fa, sia dal punto di vista planimetrico (se cioè l'alveo si è allargato, ristretto o è rimasto stabile) che altimetrico (se il fondo è inciso, aggradato o è rimasto stabile). Per definire le attuali tendenze evolutive, si fa invece riferimento ad un **intervallo di 10-20 anni** (Shields et al., 2003). In questo caso si cerca di definire se l'alveo, negli ultimi 10-20 anni (e presumibilmente tuttora), è instabile dal punto di vista altimetrico (in incisione o in sedimentazione) o se è in equilibrio dinamico.

Per quanto riguarda le variazioni altimetriche, si sono utilizzate varie **evidenze di campo**, quali: (a) dislivelli tra superfici omologhe, abbandonata ed attiva (in particolare dislivello tra piana inondabile attiva o incipiente e terrazzo); (b) dislivelli tra depositi attuali e sedimenti affioranti in scarpate fluviali in erosione attribuibili alle stesse facies; (c) esposizione di pile di ponti. Per quanto riguarda le attuali tendenze evolutive, si sono utilizzati altri tipi di evidenze di campo, soprattutto per distinguere le situazioni in incisione da quelle in sedimentazione. Le osservazioni di campo si concentrano in questo caso sui seguenti aspetti: dislivelli tra barre attive e piana inondabile; evidenze sulla frequenza di inondazione della piana inondabile; numero ed estensione delle barre attive; caratteristiche granulometriche dei sedimenti (corazzamento, assortimento, strutture sedimentarie e forme di fondo grossolane); caratteristiche morfologiche, processi che interessano le sponde (erosione, movimenti di massa) e condizioni della vegetazione riparia (radici esposte o sepolte, ecc.).

2.3 CARTA GEOMORFOLOGICA

Per i tre tratti di dettaglio è stata realizzata una Carta Geomorfologica dell'alveo e della pianura (scala 1:10.000). Tale carta è stata ottenuta soprattutto attraverso fotointerpretazione: pur disponendo per i tratti rientranti in Toscana le ortofoto del 2003, si è scelto di utilizzare per omogeneità sempre il Volo Italia 2000 (anno 1999), il quale presenta una copertura completa dei tre tratti di studio. La fotointerpretazione è stata integrata con le osservazioni effettuate in questi tratti

durante la fase di rilevamenti geomorfologici di campo e da successivi sopralluoghi per verificare punti incerti. La cartografia è stata realizzata attraverso l'impiego del software ArcView (ver.8.1) e contiene la rappresentazione delle principali forme e delle opere antropiche esistenti (Figura 3).



Figura 3 – Legenda della Carta Geomorfologica.

2.4 SEDIMENTI DELL'ALVEO

Contemporaneamente alla fase di rilevamento geomorfologico, è stata condotta una campagna di misure granulometriche finalizzata alla caratterizzazione ed allo studio della variabilità in senso spaziale (da monte verso valle) dei sedimenti presenti in alveo. Sono stati effettuati campionamenti di tipo superficiale, attraverso il metodo statistico (*pebble counts*) (Bunte & Abt, 2001), considerato il più adatto per ricavare la distribuzione granulometrica delle barre (Kellerhals & Bray, 1971; Church et al., 1987), sia per la sua riproducibilità e precisione che per essere in grado di ricoprire superfici relativamente ampie ed evitare di campionare in situazioni locali scarsamente rappresentative.

In totale sono state effettuate 27 misure granulometriche lungo F.Magra e F.Vara (14 e 13 rispettivamente), quindi con una scansione media di un punto di misura per ogni 3.2 km circa. Inoltre il campionamento è stato condotto per i seguenti 8 affluenti, ritenuti più importanti dal punto di vista del trasporto solido, in prossimità della loro confluenza (T.Gordana, T.Bagnone, T.Taverone, T.Aulella per il F.Magra e T.Stora, T.Gottero, T.Mangia e T.Usurana per il F.Vara). Contemporaneamente alla nuova campagna di misure granulometriche, si è proceduto ad una acquisizione di tutti i dati precedentemente raccolti (rilievi del 1991, 1999, 2000, 2001). I risultati di

questi rilievi sono discussi congiuntamente ai risultati della campagna di rilievi effettuata durante questo studio nel paragrafo seguente.

Si riporta a titolo di esempio l'andamento del diametro medio (D_{50}) relativo a tutti i campionamenti effettuati lungo il Fiume Magra (Figura 4). Le principali osservazioni che si possono effettuare sono le seguenti: (a) per quanto riguarda la parte a monte di Sarzana, sia il campionamento del 1991 che quello del 2004 (nell'ambito del presente studio) mettono in evidenza una progressiva riduzione del diametro dei sedimenti verso valle; (b) i diametri medi del campionamento 2004 risultano in generale inferiori rispetto a quelli del 1991, compresi i quattro affluenti, probabilmente in conseguenza di una rialimentazione di materiale più assortito granulometricamente (e mediamente meno grossolano) verificatasi durante le piene più recenti ed in concomitanza dell'attuale tendenza generale alla sedimentazione; (c) dai dati del 1991, a valle di Sarzana si osserva una netta discontinuità caratterizzata dal passaggio da fondo ghiaioso a fondo prevalentemente sabbioso.

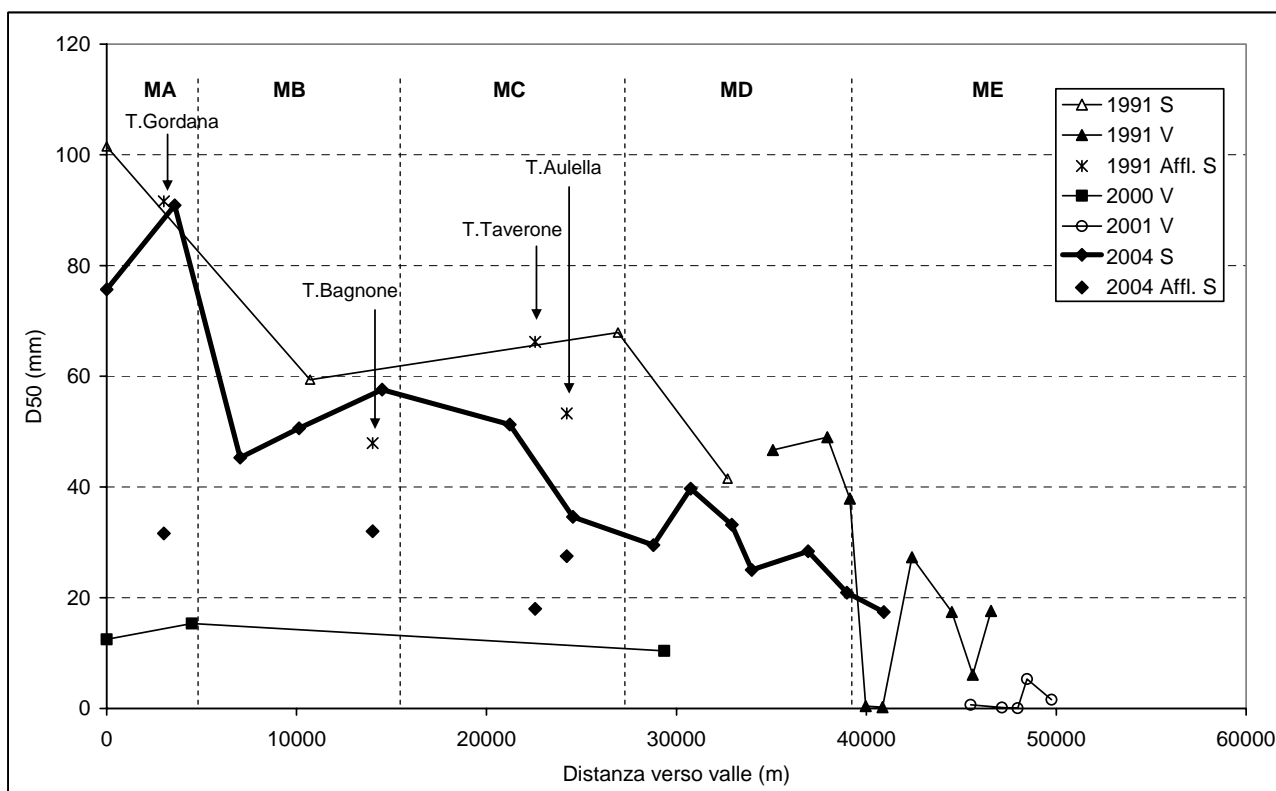


Figura 4 – Fiume Magra: diagramma del D_{50} delle granulometrie d'alveo in funzione delle distanze verso valle, con riportati i dati relativi alle misure effettuate in questo studio confrontati con quelli relativi ai precedenti studi. 1991 S: campioni superficiali del rilievo 1991; 1991 V: campioni volumetrici del rilievo 1991; 1991 Affl. S: campioni superficiali affluenti del rilievo 1991; 2000 V: campioni volumetrici del rilievo 2000; 2001 V: campioni volumetrici del rilievo 2001; 2004 S: campioni superficiali del rilievo 2004; 2004 Affl. S: campioni superficiali affluenti del rilievo 2004.

2.5 TRASPORTO SOLIDO

E' stata effettuata una rassegna degli studi precedenti che hanno trattato, valutato ed eventualmente misurato il trasporto solido, ai fini di verificare qual è l'attuale stato delle conoscenze e per verificare se si dispone di stime indicative sull'entità del trasporto solido dei due fiumi studiati. Si riporta un scheda riepilogativa delle stime e/o misure di trasporto solido ricavabili dall'analisi degli studi esistenti (Tabella 1).

Sintesi Relazione Finale

Elettroconsult (1972)	
Stima Trasporto Solido totale	
Calamazza	850.000 m ³ /a
Valle confluenza Vara	1.400.000 m ³ /a
Trasporto torbido (da dati Servizio Idrografico Genova)	
Calamazza	490.000 m ³ /a
Foce	476.000 m ³ /a
Cavazza (1977)	
Stima su base di bilancio di sedimenti 1958-1973 (da variazioni sezioni) tra confluenza Vara e foce:	
Alla foce:	
Trasporto in sospensione	425.000 – 475.000 m ³ /a
da cui ricava un Trasporto solido al fondo	72.000 – 338.000 m ³ /a
Cavazza & Pregliasco (1981)	
Stima trasporto solido al fondo (ponte Aurelia presso Battifollo):	
Formula di Shields	51.151 m ³ /a
Formula di Meyer-Peter Muller	64.628 m ³ /a
Stima indiretta materiale lapideo estratto :	
24.4000.000 m ³ nel quindicennio 1958-1973	
Stima su base di bilancio di sedimenti (modificata da Cavazza, 1977):	
Alla foce:	
Trasporto in sospensione	476.000 m ³ /anno
Trasporto solido al fondo	35.800 m ³ /anno
Apporto terrigeno totale	511.800 m ³ /anno
Tecnosviluppo et al. (1991)	
Presso la foce	
Stima Capacità di trasporto (formule trasporto solido)	140.851 m ³ /a
Trasporto torbido annuo (basato su dati Servizio Idrografico)	668.000 m ³ /a
Cooperativa Mediterranea Prospezioni (2000)	
Trasporto in sospensione (in base a misure)	
Piccatello	8375 t/a
Santa Giustina	20.646 t/a
Calamazza	1.008.042 t/a
Hydrodata et al. (2003)	
Alla foce:	
Stima volume sedimenti trasportato durante piena 1999:	2.000 m ³

Tabella 1 – Scheda sintetica riepilogativa delle stime di trasporto solido del Fiume Magra desumibili dagli studi esistenti.

3. VARIAZIONI MORFOLOGICHE E TENDENZE EVOLUTIVE

3.1 MATERIALE E DATI RACCOLTI

Si descrivono di seguito sinteticamente tutti i tipi di informazioni e di dati che si sono ricercati, consultati o acquisiti ai fini di una ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica dei fiumi oggetto dello studio.

Cartografia storica. Sono stati consultati studi precedenti (in particolare quello effettuato da Storti, 2000) contenenti documentazione cartografica storica a partire dal XVI secolo. Per quanto riguarda il XIX secolo, si è fatto particolare riferimento alle seguenti cartografie storiche: (a) Carta Topografica degli Stati Sardi in Terraferma, in scala 1:50.000, degli anni 1816-1830 e l'aggiornamento del 1852; (b) Tavole IGM serie storica 1877 ed aggiornamenti degli anni 1904-1908 (scale 1:25.000 o 1:50.000).

Foto d'epoca. Sono state acquisite numerose pubblicazioni (Antonelli et al., 1981; Benelli et al. 1998; De Nevi, 2000, ecc.) contenenti varie cartoline d'epoca e/o altre informazioni di interesse per le finalità del presente studio. Inoltre sono state acquisite foto d'epoca conservate presso l'Archivio Fotografico della Provincia di La Spezia.

Foto aeree. L'acquisizione ed analisi delle foto aeree ha rappresentato una parte fondamentale dello studio delle variazioni planimetriche degli alvei oggetto dello studio. Sono stati acquisiti o consultati i seguenti voli: (a) Volo del 1937 (scala 1:18.000); (b) Volo GAI del 1954 (scala 1:33.000); (c) Volo IGM del 1971 (scala 1:66.000); (d) Volo IGM del 1981 (scala 1:66.000); (e) Volo AIMA del 1995; (f) Volo Italia 2000 (scala 1:40.000); (g) Ortofoto del 2003, relative alla parte del bacino rientrante in Toscana.

Rilievi topografici dell'alveo. E' stato acquisito il seguente materiale: (a) profili altimetrici del 1914 e del 1958 per alcuni tratti del F.Magra e Vara; (b) sezioni 1989 (PAI AdB); rilievi 1999-2000 (studio DIAM, Università di Genova); (d) rilievo del 2003 relativo ad un breve tratto dell'alto Vara.

3.2 VARIAZIONI MORFOLOGICHE DURANTE GLI ULTIMI 150 ANNI

3.2.1 Variazioni morfologiche e trend evolutivi

Si sintetizzano di seguito i risultati dello studio delle variazioni morfologiche degli alvei del Fiume Magra e del Fiume Vara, basati sull'analisi del materiale e dei dati raccolti (principalmente foto aeree e rilievi topografici).

Per quanto riguarda le **variazioni di larghezza** dell'alveo attivo, sono state effettuate misure relativamente alle cartografie e foto aeree utilizzate per la Carta di sintesi (1877, 1995, 1999/2003), a cui si è aggiunto il volo del 1937, ritenuto particolarmente utile per definire i trend evolutivi. Per quanto riguarda invece i tratti di dettaglio, per i quali è stato effettuato uno studio più approfondito (Carta geomorfologica e Fascia di mobilità funzionale), le misure di larghezza sono state effettuate anche per i voli aerei intermedi (1954, 1971, 1981, 1992) in modo da definire con maggiore completezza i trend evolutivi. Le misure di larghezza sono state effettuate attraverso il software ArcView, il quale ha permesso di rettificare le immagini e di assegnare un sistema di riferimento assoluto (georeferenziare) in modo da poterle sovrapporre tra loro. I risultati ottenuti sono analizzati in due modi: (a) confronto delle larghezze per i diversi anni analizzati in funzione delle distanze lungo l'alveo; (b) trend temporali delle variazioni di larghezza in un singolo km di alveo.

Per quanto riguarda il **confronto delle larghezze**, i risultati relativi al Fiume Magra sono riportati in Figura 5. Dall'analisi di tali dati si possono trarre le seguenti considerazioni generali: (1) la larghezza del 1877 è quasi sempre maggiore di tutte quelle successive; (2) le riduzioni di larghezza nel tempo, come era lecito aspettarsi, sono molto più marcate nei tratti non confinati, in particolare lungo il basso Magra (tratti MD2, ME); (3) negli ultimi 10 anni si osserva come prevalga un'inversione di tendenza, con un aumento di larghezza del 1999-2003 rispetto a quella del 1995.

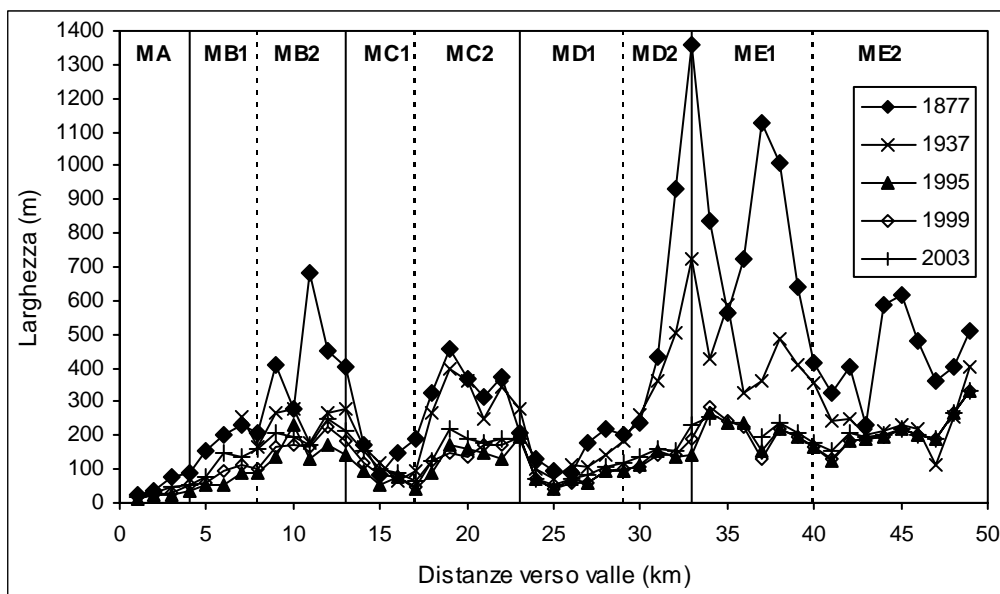


Figura 5 – Fiume Magra: andamenti delle larghezze per gli anni in cui sono state effettuate le misure in funzione delle distanze verso valle.

Maggiori informazioni sull'evoluzione temporale della larghezza si possono ricavare riportando la larghezza in funzione del tempo. I **trend evolutivi di larghezza** sono stati ricavati per ogni km dei due corsi d'acqua. A titolo di esempio, si riporta in Figura 6 il trend evolutivo medio del sottotratto MD del F.Magra.

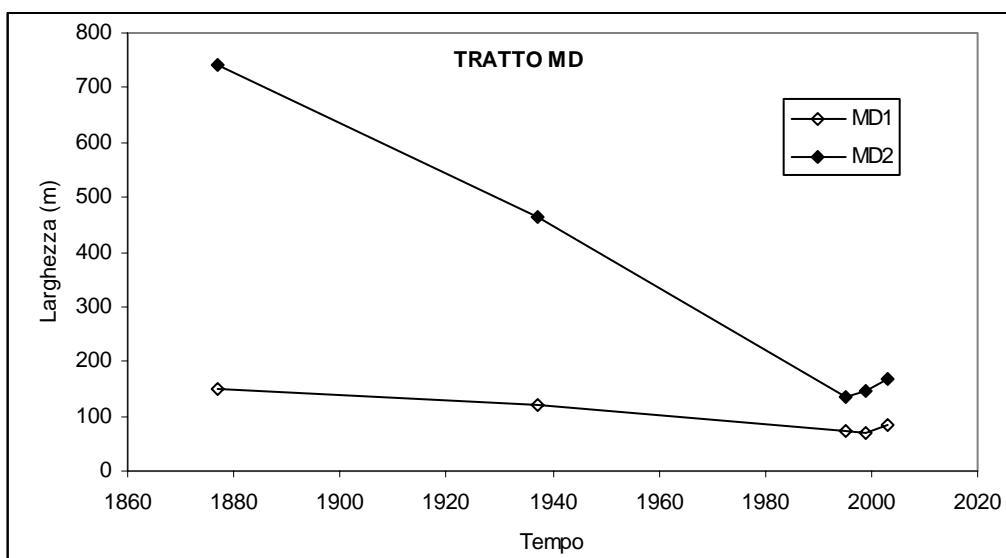


Figura 6 - Trend evolutivo di larghezza relativo al sottotratto MD del F.Magra.

Per quanto riguarda le **variazioni di quota del fondo**, i dati sono risultati molto disomogenei, in quanto si dispone di una buona sequenza di profili solo per i tratti più vallivi del F.Magra (ME e MD2) (primo profilo disponibile del 1914), ed in parte per il tratto vallivo del F.Vara (VE) (primo profilo del 1958).

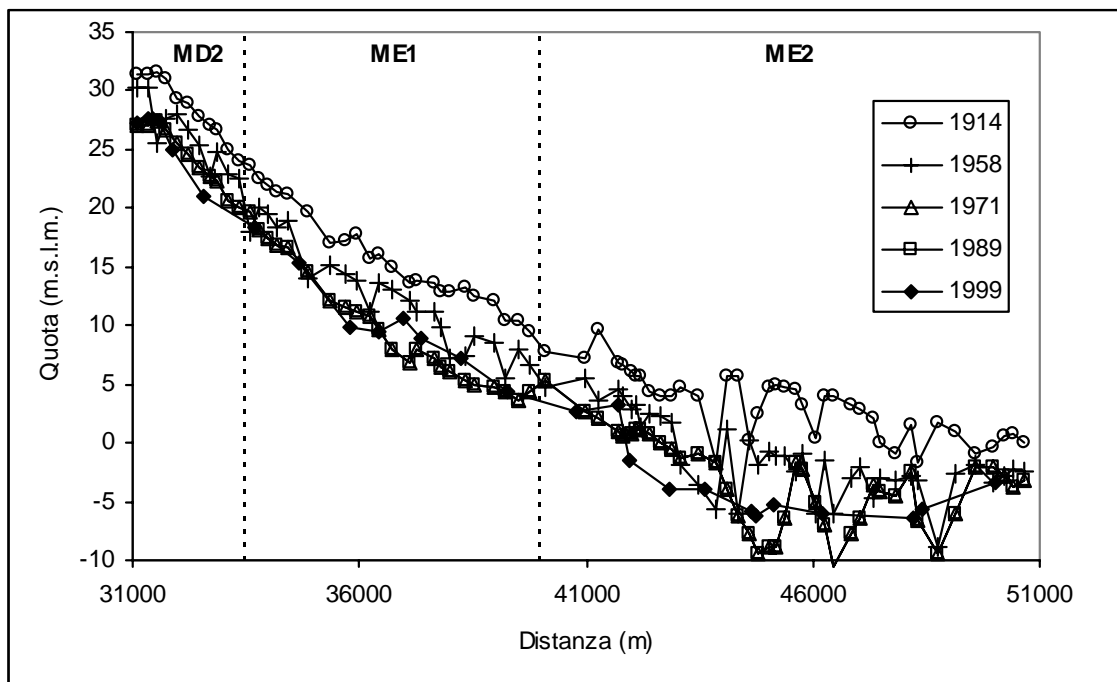


Figura 7 – Fiume Magra: confronto dei profili del fondo nei tratti MD2 ed ME (Ponte Caprighiola – foce).

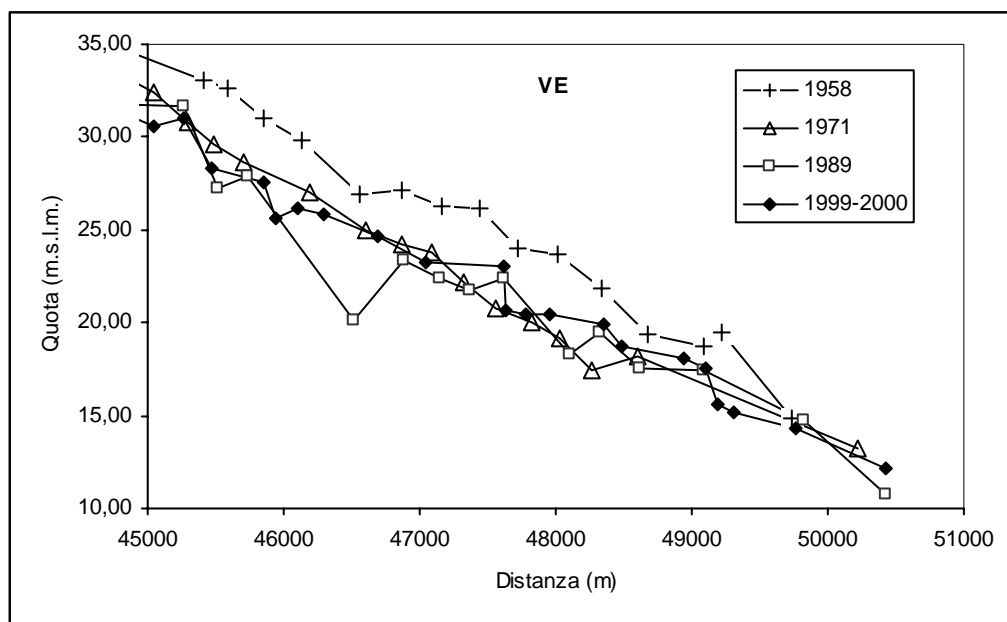


Figura 8 –Confronto dei profili del fondo del F.Vara nel tratto VE (Piana Battolla – confluenza Magra).

Dal confronto dei profili del fondo del basso Magra (Figura 7), è evidente il notevole e progressivo abbassamento del fondo a partire dal primo profilo del 1914. In particolare, nei tratti MD2 ed ME1 l'andamento dei profili è relativamente più regolare, con abbassamenti del fondo complessivi fino ad oltre 7 m (nel sottotratto ME1). Nel tratto prefociale (ME2), i profili sono più irregolari, denotando un'alternanza di scavi e dossi legati all'intensa attività estrattiva. In quest'ultimo sottotratto gli abbassamenti sono maggiori rispetto ai precedenti, raggiungendo anche valori dell'ordine dei 10 m. Per quanto riguarda il basso Vara, il confronto dei profili disponibili (Figura 8) mostra una simile evoluzione del fondo, con una generale significativa incisione

soprattutto tra 1958 e 1989 (dell'ordine di qualche metro, fino localmente a circa 6 m), tendenza che si va attenuando verso valle avvicinandosi alla confluenza nel F.Magra, mentre tra 1989 e 1999 si osserva la presenza di alcuni punti in sedimentazione, favorita dalla presenza di 5 soglie realizzate proprio a partire dalla fine degli anni '80.

I **trend evolutivi di quota del fondo** sono stati ricostruiti solo per quei tratti in cui si disponeva di almeno tre profili longitudinali di anni diversi, vale a dire: a) sottotratti MD2, ME1 ed ME2 per il Fiume Magra; b) porzione finale del tratto VD e tratto VE per il Fiume Vara. Si riportano a titolo di esempio i trend di quota del fondo del F.Magra nei sottotratti MD2 ed ME1 (Figura 9).

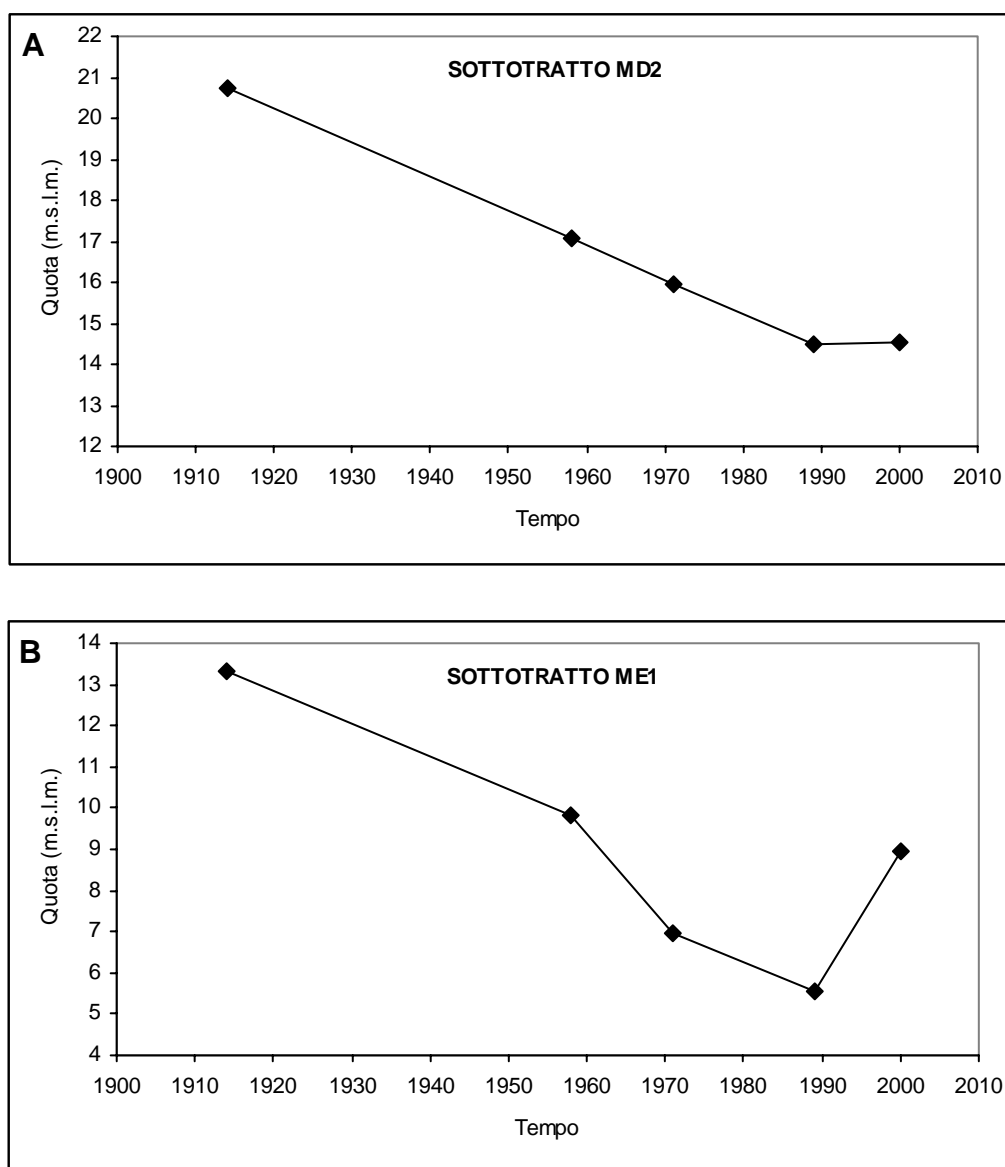


Figura 9 - Esempi di trend evolutivi della quota del fondo del Fiume Magra. A) Sottotratto MD2 (km 34); B) sottotratto ME1 (km 37).

3.2.2 Carta delle variazioni planimetriche dell'alveo

Per i tre tratti di dettaglio (Piana di Filattiera e confluenza Vara – foce per il Magra, località Casette – confluenza C.le Durla per l'alto Vara) è stata realizzata la **Carta delle variazioni planimetriche dell'alveo** (scala 1:10.000). A tale scopo, è stata utilizzata la cartografia storica del 1877 e tutti i voli aerei acquisiti. Anche tale cartografia è stata realizzata attraverso l'impiego del software ArcView (ver.8.1), in modo da consentire di georeferenziare le immagini e di effettuare le correzioni ortografiche necessarie per poter sovrapporre tra loro i diversi rilievi.

3.2.3 Classificazione e distribuzione spaziale delle variazioni morfologiche

I risultati basati sulle variazioni di larghezza e di quota del fondo precedentemente descritti sono stati integrati con le interpretazioni della fase di rilevamento geomorfologico di campo (soprattutto per quanto riguarda le variazioni altimetriche), per ricavare una serie di classificazioni delle variazioni morfologiche e delle tendenze evolutive degli alvei studiati. Tali classificazioni sono funzionali sia all'ottenimento della Carta di sintesi che ad un'analisi complessiva delle variazioni e della loro distribuzione spaziale alla scala di bacino.

Per effettuare la **classificazione delle variazioni di larghezza** nella media scala temporale, si sono distinte tre situazioni (alveo allargato, stabile o ristretto), definendo in totale 9 classi di variazioni, sulla base dell'entità della variazione di larghezza avvenuta tra 1877 e 1999, espressa in % rispetto alla larghezza originaria del 1877: (1) Allargamento molto intenso (>70%); (2) Allargamento intenso (tra 50 e 70%); (3) Allargamento moderato (tra 20 e 50%); (4) Allargamento limitato (tra 5 e 20%); (5) Stabile (tra -5 e 5%); (6) Restringimento limitato (tra -5 e -20%); (7) Restringimento moderato (tra -20 e -50%); (8) Restringimento intenso (tra -50 e -70%); (9) Restringimento molto intenso (<-70%). In Figura 10 si riportano sinteticamente le variazioni di larghezza tra 1877 e 1999 (in modo da avere una visualizzazione immediata alla scala di bacino). E' immediato riconoscere come il tipo di variazione dominante sia stato il restringimento dell'alveo attivo, eccetto qualche situazione locale (lungo il medio Vara) di stabilità o di allargamento. Si osserva inoltre che, in linea generale, il restringimento aumenta verso valle.

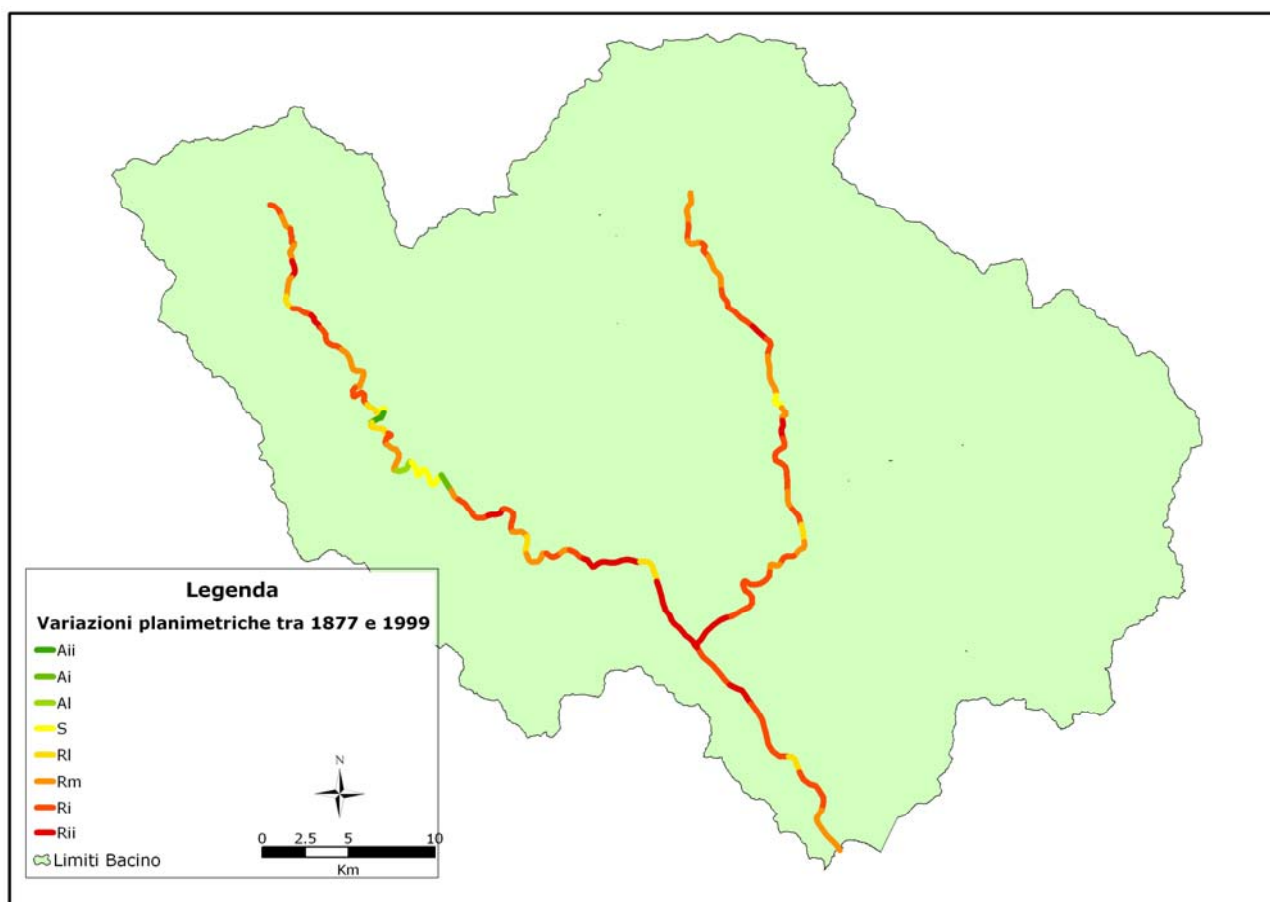


Figura 10 - Variazioni di larghezza del F. Magra e del F. Vara tra il 1877 ed il 1999. Aii: allargamento molto intenso (>70%); Ai: allargamento intenso (tra 50 e 70%); Am: allargamento moderato (tra 20 e 50%); Al: allargamento limitato (tra 5 e 20%); S: stabile (tra -5 e 5%); Rl: Restringimento limitato (tra -5 e -20%); Rm: restringimento moderato ((tra -20 e -50%); Ri: restringimento intenso (tra -50 e -70%); Rii: restringimento molto intenso (<-70%).

Per quanto riguarda le **variazioni altimetriche** nella media scala temporale, non essendosi mai riscontrate, sulla base dei profili disponibili e delle interpretazioni di campo, situazioni in cui il fondo del 2004 risultasse più alto di quello del 1900 (aggradazione), la classificazione delle variazioni è ristretta ai casi di incisione e stabilità: (1) Stabile (variazioni tra 0.5 e -0.5 m); (2) Incisione limitata (tra -0.5 e -1 m); (3) Incisione moderata (tra -1 e -2 m); (4) Incisione intensa (tra -2 e -4 m); (5) Incisione molto intensa (<-4 m, vale a dire abbassamento maggiore di 4 m). In Figura 11 si riporta la sintesi delle variazioni altimetriche tra 1900 e 2004. Si osserva con immediatezza che il tipo dominante di variazione è l'incisione (abbassamento del fondo), con alcuni tratti sostanzialmente stabili o con limitata incisione, corrispondenti ai tratti semiconfinati impostati sul substrato roccioso, mentre è del tutto assente il caso in cui il fondo si sia innalzato. Si osserva inoltre che l'incisione è crescente verso valle, con i tratti vallivi di entrambi gli alvei fluviali soggetti ad un abbassamento del fondo da intenso a molto intenso.

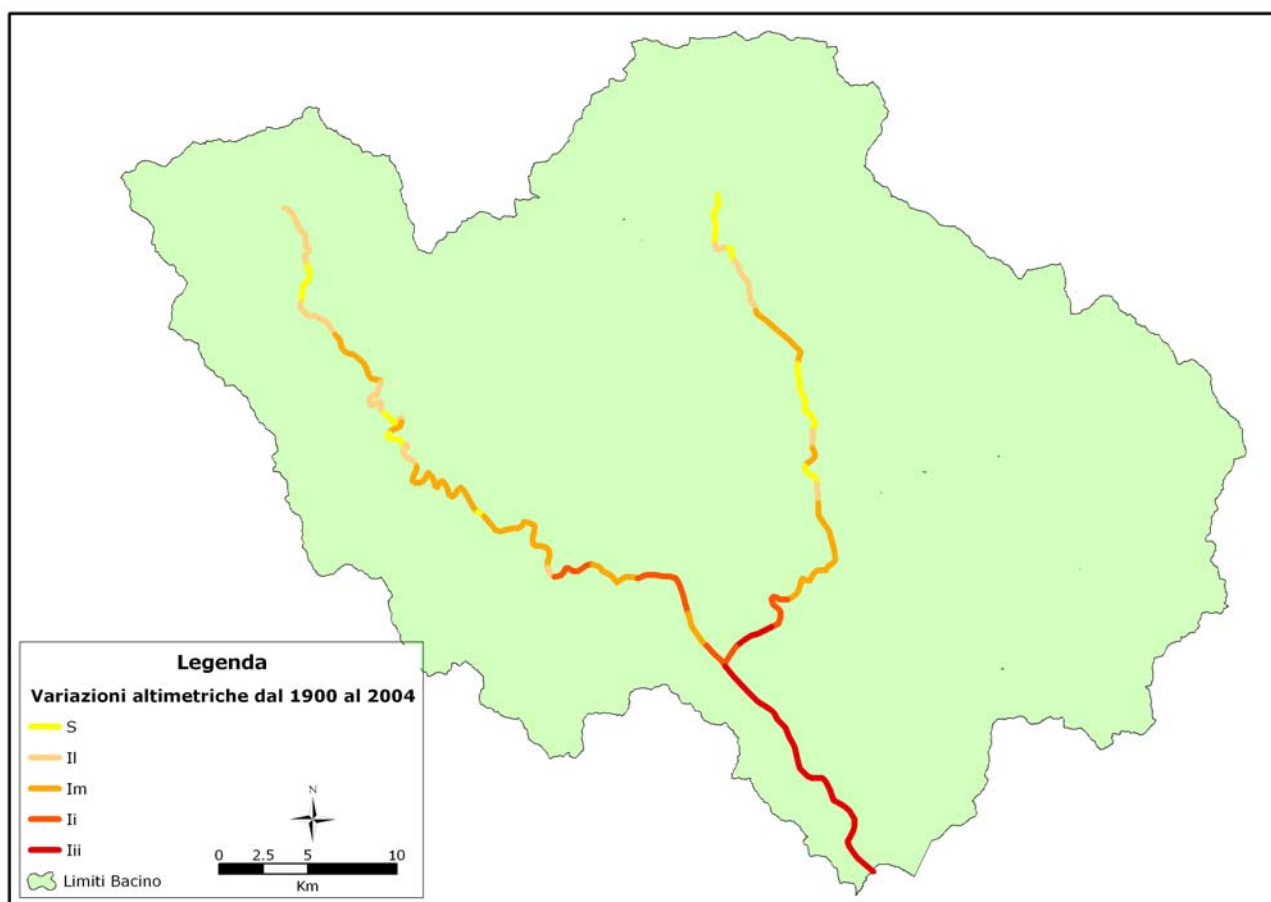


Figura 11 - Variazioni altimetriche del fondo del F. Magra e del F. Vara tra il 1900 ed il 2004. S: stabile (variazioni tra 0.5 e -0.5 m); II: incisione limitata (tra -0.5 e -1 m); Im: incisione moderata (tra -1 e -2 m); Ii: incisione intensa (tra -2 e -4 m); Iii: incisione molto intensa (<-4 m, vale a dire abbassamento maggiore di 4 m).

Per quanto riguarda la **tendenza recente della larghezza**, tra i voli disponibili relativi agli ultimi 10-20 anni circa, sono state distinte le seguenti 7 classi: (1) In allargamento intenso (>20%); (2) In allargamento moderato (tra 10 e 20%); (3) In allargamento limitato (tra 5 e 10%); (4) In equilibrio (tra -5 e 5%); (5) In restringimento limitato (tra -5 e -10%); (6) In restringimento moderato (tra -10 e -20%); (7) In restringimento intenso (<-20%). In Figura 12 si riporta la sintesi delle tendenze recenti di variazione di larghezza. Si osserva come la tendenza dominante sia quella di un allargamento dell'alveo, più accentuata nelle porzioni medie dei due corsi d'acqua, con rari tratti ancora in restringimento e con alcuni tratti in sostanziale stabilità.

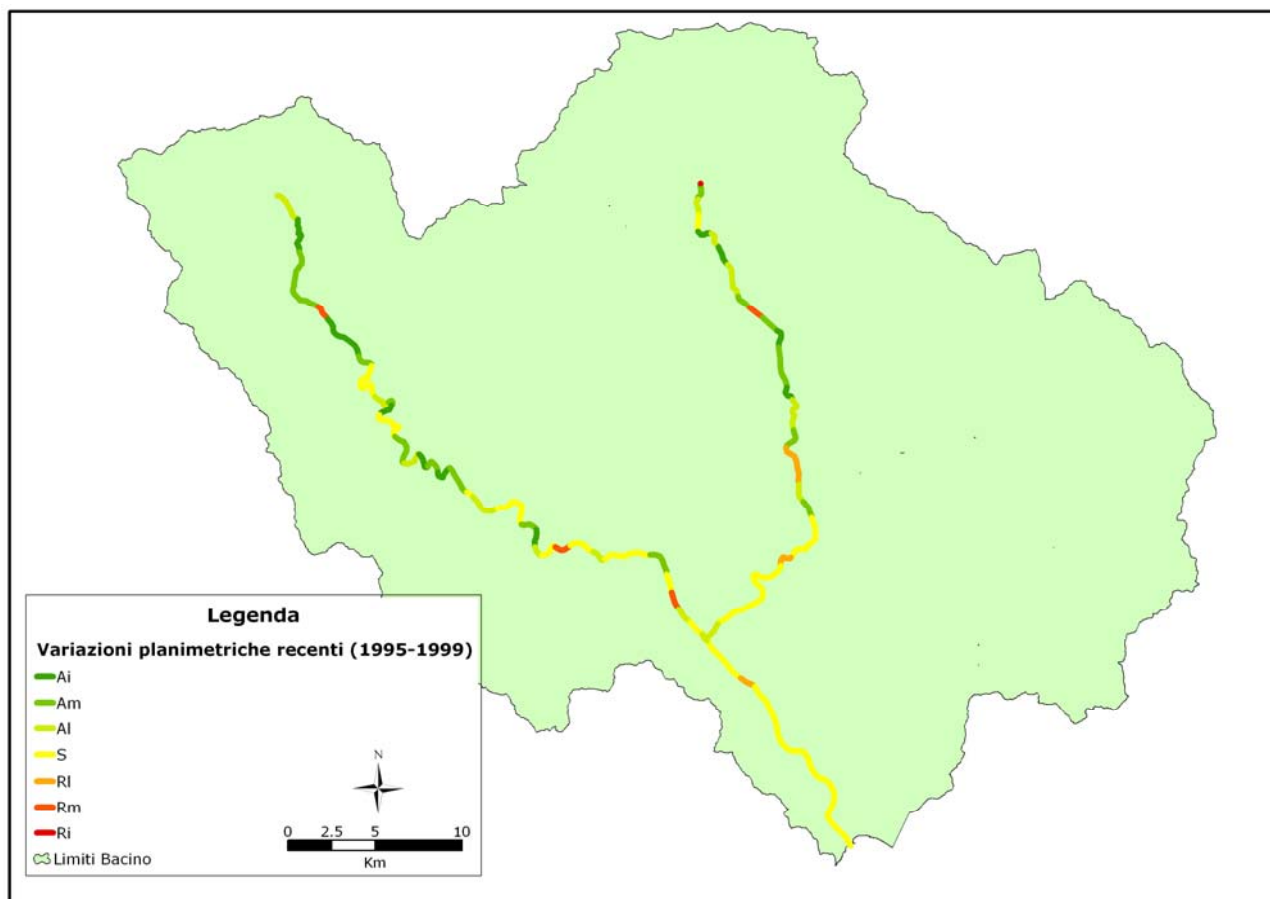


Figura 12 - Tendenza recente delle larghezze del F. Magra e F. Vara sulla base delle variazioni tra il 1995 ed il 1999. Ai: in allargamento intenso (>20%); Am: in allargamento moderato (tra 10 e 20%); Al: in allargamento limitato (tra 5 e 10%); S: in equilibrio (tra -5 e 5%); Rl: in restringimento limitato (tra -5 e -10%); Rm: in restringimento moderato ((tra -10 e -20%); Ri: in restringimento intenso (<-20%).

Per quanto riguarda la **tendenza recente del fondo**, sono state distinte le seguenti classi: (1) In sedimentazione; (2) In equilibrio/sedimentazione (tratti in cui fossero presenti evidenze di entrambe le situazioni); (3) In equilibrio; (4) In incisione. In Figura 13 si riporta la sintesi delle tendenze recenti di variazione di quota del fondo, dalla quale si osserva che: (a) il F. Vara è prevalentemente in sedimentazione nei tratti medio-alti, mentre tale tendenza si riduce verso valle, dove prevalgono condizioni di equilibrio; (b) il F. Magra, nel tratto della Piana di Filattiera, presenta anch'esso una certa tendenza alla sedimentazione (il più delle volte si tratta di situazioni di equilibrio/sedimentazione, cioè situazioni intermedie), seppure in misura meno evidente che non per il Vara; (c) questa tendenza alla sedimentazione tende ad attenuarsi nel tratto intermedio semiconfinato (Villafranca - Aulla), fino alla confluenza del F. Vara; (d) a valle della confluenza Vara, esiste un tratto del Magra di lunghezza significativa con tendenza alla sedimentazione, mentre il tratto finale è in incisione o in equilibrio, in conseguenza probabilmente di interventi di drenaggio effettuati durante questo periodo.

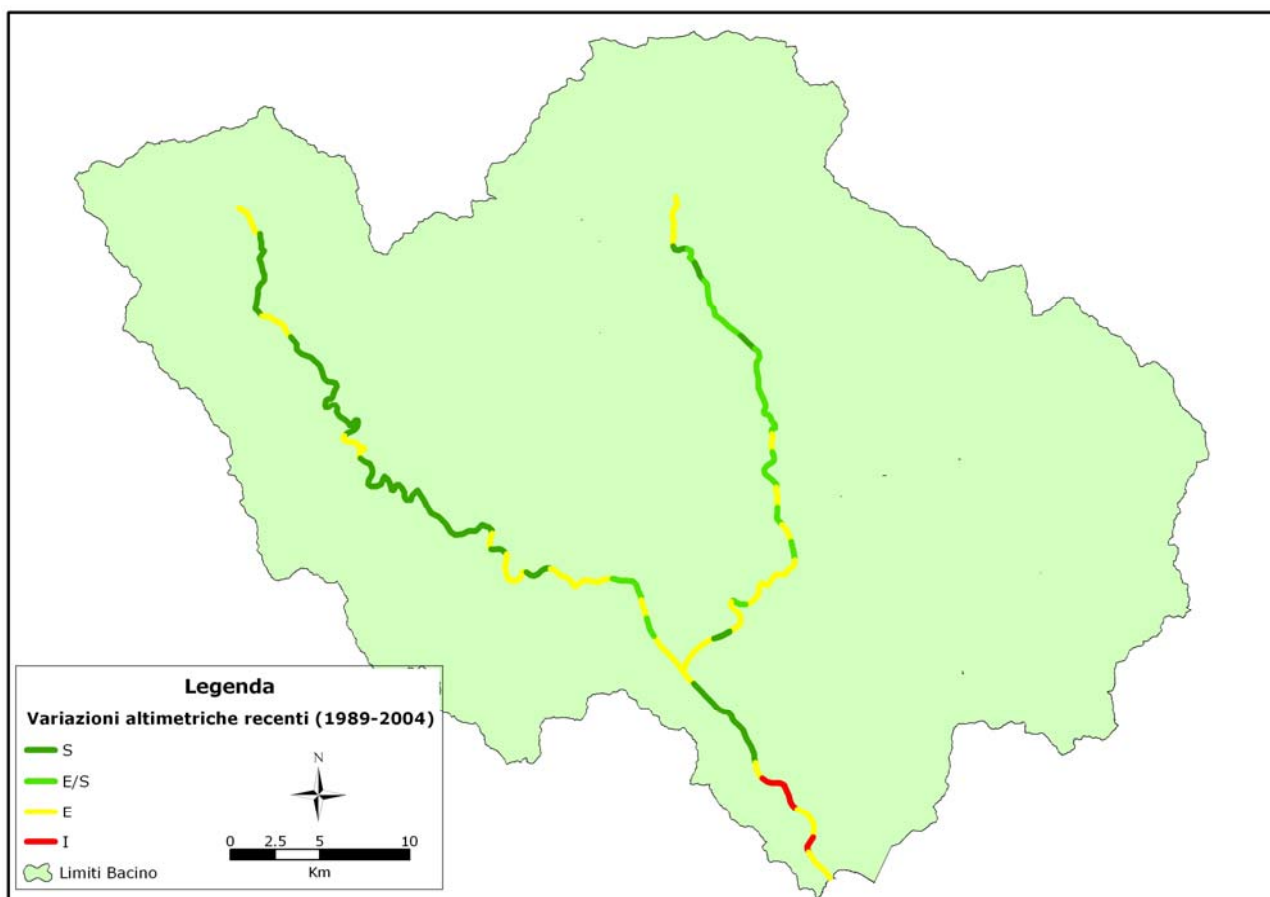


Figura 13 - Tendenza recente delle quote del fondo del F. Magra e F. Vara sulla base delle variazioni tra il 1989 e 2004. S: in sedimentazione; E/S: in equilibrio/sedimentazione; E: in equilibrio; I: in incisione.

3.2.4 Quadro complessivo delle variazioni e delle cause

Integrando tutte le informazioni ed i risultati ottenuti attraverso i vari metodi adottati in questo studio, è stato tracciato un quadro evolutivo complessivo dei due fiumi durante gli ultimi 150 anni, con particolare riferimento ai loro tratti vallivi. Per facilitare la discussione si suddivide tale intervallo in alcuni principali sottoperiodi, cercando di evidenziare i legami con le cause, naturali o antropiche, che abbiano potuto influire sulla dinamica fluviale.

(1) XIX secolo. Intorno al 1830 entrambi i fiumi, almeno nei loro tratti più vallivi ed in particolar modo in prossimità della loro confluenza, presentavano una tipica morfologia a canali intrecciati con un alveo attivo molto largo. Tali morfologie sono da mettere in relazione in primo luogo con la forte alimentazione di sedimenti provenienti dai rilievi montuosi che a quell'epoca erano per ampie zone privi di copertura boschiva, a seguito dell'intenso disboscamento dei secoli precedenti, analogamente a molte altre zone appenniniche (Agnelli et al., 1998; Rinaldi, 2003; Surian & Rinaldi, 2003). Nella seconda metà del secolo furono emanate le leggi del Regno d'Italia (20 marzo 1865 ed in particolare legge forestale 20 giugno 1877) sui rimboschimenti. Tali leggi segnavano un importante cambiamento nella politica di gestione del bacino idrografico e, seppure sembra che nel complesso abbiano avuto poca applicazione ed efficacia in Toscana, risultarono comunque in un rallentamento dell'attività di disboscamento.

(2) Prima metà del XX secolo. La prima metà del XX secolo rappresenta un periodo di significative variazioni morfologiche degli alvei, seppure le modificazioni più intense avverranno nella seconda metà del secolo. I principali tipi di fattori antropici che hanno potuto avere un ruolo significativo nell'evoluzione degli alvei fluviali durante tale periodo possono essere così riepilogati: (1) Variazioni di uso del suolo a scala di bacino (rimboschimenti, sistemazioni idraulico-forestali).

- (2) Pennelli. A partire dagli anni '20 venne intrapresa la realizzazione, nelle aree di fondovalle dei tratti vallivi del Magra e del Vara, di una rete di pennelli.
- (3) Dighe. L'unica diga che interessa direttamente uno dei due fiumi in esame è quella di S.Margherita sul F.Vara, realizzata negli anni '30. Altri tre sbarramenti vennero realizzati successivamente nel bacino del F.Magra, soprattutto intorno alla metà del secolo.
- (4) Escavazione di inerti. Un certo utilizzo dei sedimenti dei due alvei fluviali come materiali inerti esisteva già in questo periodo, ma le quantità che venivano rimosse e le tecniche utilizzate erano incapaci di produrre alterazioni significative.

(3) Periodo compreso tra la metà del XX secolo e gli inizi degli anni '90. Durante i decenni successivi alla seconda guerra mondiale, il volume di materiale estratto dagli alvei aumentò di parecchi ordini di grandezza come conseguenza della ricostruzione del dopoguerra e, più tardi, dell'industrializzazione e dell'urbanizzazione di alcune aree del fondovalle. In particolare il periodo di massima attività fu raggiunto negli anni '60 – '70 in concomitanza con la realizzazione delle autostrade A12 e A15 a poca distanza dai due fiumi. E' facile intuire le profonde modificazioni che tale attività ha provocato sull'equilibrio morfologico degli alvei. E' già stato sottolineato l'intenso abbassamento del fondo nel tratto vallivo del F.Magra, che ha raggiunto complessivamente, tra 1914 e 1999, l'ordine dei 10 m in alcuni punti. Come detto nel punto precedente, parte di questo abbassamento si era già verificato prima dell'inizio dell'attività intensiva di escavazione dei sedimenti, ma si ritiene che i maggiori abbassamenti si siano verificati proprio durante questi decenni. All'incisione del fondo si è abbinato un accentuarsi del restringimento dell'alveo attivo.

(4) Gli ultimi 15 anni circa. Negli ultimi anni si registra un'inversione di tendenza del trend di variazione della larghezza, con l'inizio di una fase di allargamento, combinata anche ad un'inversione del trend del fondo, quest'ultima meno generalizzata e più accentuata lungo il medio-alto Vara e lungo il Magra a valle della confluenza tra i due. Questa inversione di tendenza potrebbe essere attribuita ad un incremento di disponibilità di sedimenti in alveo (principalmente per netta riduzione, ma non totale scomparsa, dell'attività di escavazione), i quali promuovono l'accrescimento di barre e, di conseguenza, favoriscono l'allargamento dell'alveo attivo (Surian & Rinaldi, 2004).

3.2.5 Tendenze attuali

Tratti in sedimentazione e cause

Si possono distinguere tre situazioni principali con tratti in sedimentazione: (a) medio-alto Vara; (b) medio-alto Magra (in particolare la Piana di Filattiera); (c) basso Magra (tra la confluenza del F.Vara e Sarzana circa).

Per quanto riguarda il **medio-alto Vara**, le cause di sedimentazione possono essere così sintetizzate: (1) elevata produzione di sedimenti in questa porzione di bacino; (2) presenza della diga di S.Margherita, la quale costituisce una significativa discontinuità nel normale flusso di sedimenti; (3) configurazione morfologica del F.Vara, caratterizzata spesso da tratti semiconfinati dai versanti e soprattutto con curvature piuttosto brusche, che favorisce situazioni locali di sedimentazione.

Per quanto riguarda il **medio-alto Magra**, la sedimentazione avviene nella Piana di Filattiera, seppure in maniera meno accentuata rispetto al Vara. Le cause di sedimentazione possono essere così sintetizzate: (1) anche in questo caso l'elevata produzione di sedimenti nella porzione medio-alta del bacino appare senz'altro il fattore più importante; (2) configurazione morfologica dell'alveo: in questo caso la Piana di Filattiera funziona come una sorta di bacino di immagazzinamento di sedimenti (*sediment storage*), mentre i tratti semiconfinati a valle funzionano come tratti di trasferimento di sedimenti.

Per quanto riguarda il **basso Magra**, esistono due condizioni che appaiono importanti nell'indurre sedimentazione: (1) il fiume, a partire all'incirca da Caprigliola, fuoriesce da un tratto semiconfinato e sfocia in fondovalle che si allarga progressivamente, attraversando un ampio

conoide (Figura 3.47); (2) a partire dalla confluenza del F.Vara, si nota una netta discontinuità nel profilo longitudinale con una brusca riduzione di pendenza, alla quale si va a sommare il notevole incremento di portate solide dovute all'apporto del F.Vara.

Effetti delle piene del 1999 e 2000

E' possibile che le tendenze evolutive attuali che si osservano (allargamento e sedimentazione) siano molto accentuate dal fatto che il sistema fluviale è stato interessato recentemente da due eventi di forte intensità, la piena del 1999 particolarmente intensa soprattutto per il Vara e quella del 2000 per il Magra, che hanno contribuito a rimobilizzare ingenti quantità di sedimenti. Bisogna rimarcare il fatto che i trend evolutivi della larghezza e della quota del fondo spesso sono caratterizzati da variazioni impulsive legate a piene significative, piuttosto che da un andamento regolare. E' possibile quindi che le variazioni di larghezza e di quota del fondo che si sono osservate più recentemente sono eccedenti rispetto ai trend reali di medio termine, e che i due fiumi siano destinati nei prossimi anni a continuare ad evolvere con tassi di variazione inferiori rispetto a quelli riscontrati tra 1995 e 1999-2003.

4. FASE APPLICATIVA E LINEE GUIDA DI GESTIONE DEI SEDIMENTI

4.1 INCISIONE ED ESCAVAZIONE DI SEDIMENTI

Si fornisce un inquadramento delle principali problematiche di gestione dei sedimenti che poi sono state affrontate in questo studio, sulla base della recente letteratura esistente su queste tematiche. In particolare si pone l'accento sulle problematiche classiche di tipo geomorfologico, sia relativamente ai processi (incisione, sedimentazione, erosioni di sponda) che alle pratiche classiche di gestione (escavazione di sedimenti, protezione delle sponde), evidenziando quali sono le tendenze recenti in letteratura di affrontare questi problemi in un'ottica più generale di riequilibrio del sistema fluviale e di riqualificazione, contrapposta alla diffusa concezione tradizionale di stampo ingegneristico. La rimozione di sedimenti dagli alvei fluviali produce una larga varietà di effetti fisici, ecologici ed ambientali. Un'ampia revisione bibliografica di questo argomento è stata recentemente effettuata da Rinaldi et al., (2005). In questa parte dello studio sono stati descritti i principali effetti fisici, ecologici ed ambientali.

Dalla revisione bibliografica dell'argomento, emerge chiaramente la necessità di un approccio differente di gestione dei sedimenti, in cui sono cruciali due aspetti: (i) conoscenza e gestione dei sedimenti a scala di bacino; (ii) maggiore applicazione delle conoscenze scientifiche sull'argomento, in particolare per quanto riguarda la geomorfologia. In particolare, dovrebbero essere trattati i seguenti aspetti:

- 1) Analisi generale del sistema fluviale (a scala di bacino e di tratti), finalizzata ad identificare se e dove esistono condizioni di sedimentazione.
- 2) Laddove le precedenti condizioni sono soddisfatte, lo studio dovrebbe poi prendere in esame i seguenti aspetti: (a) identificazione dei siti dove è possibile una rimozione; (b) determinazione della quantità di sedimenti da rimuovere; (c) valutazione degli effetti indotti.
- 3) Programma di monitoraggio. Per accertare effettivamente gli effetti prodotti da una rimozione di sedimenti, è richiesto un programma di monitoraggio.
- 4) Gestione. Sulla base dei risultati di monitoraggio, e nel caso di permessi di rimozioni periodiche, le quantità di sedimenti rimovibili dovrebbero essere periodicamente riviste e, se necessario, la rimozione dovrebbe essere fermata.

Il presente studio vuole rappresentare il primo passo in questa direzione, elaborando una prima proposta di procedura da adottare, seppure non si può certo ritenere esaustivo per quanto riguarda la base di conoscenze necessaria per una corretta gestione dei sedimenti.

4.2 CARTE TEMATICHE FINALIZZATE ALLA GESTIONE

In questo paragrafo si descrivono le cartografie prodotte in questo studio con lo scopo specifico di applicazione delle conoscenze ottenute ai fini della gestione della fascia di pertinenza fluviale e dei sedimenti in alveo.

4.2.1 Carta della Fascia di Mobilità Funzionale

Il criterio generale di gestione delle erosioni di sponda che si sta sempre più affermando negli ultimi anni è quello di definire una fascia di mobilità (“*streamway approach*”, Brookes, 1988; Brookes & Shields, 1996), cioè di una fascia da preservare o da ricreare all’interno della quale permettere le divagazioni naturali del corso d’acqua, negoziando in alcuni casi con i proprietari di terreni o acquistando le loro proprietà (si vedano ad es. le esperienze in tal senso in Francia riportate in Piégay et al., 1994, 1996). Da tali esperienze, nasce il concetto di “fascia di mobilità funzionale”, recentemente applicato da Malavoi et al. (1998) in Francia per il bacino del Rodano e, in campo nazionale, introdotto da Baruffi et al. (2005). Secondo tali lavori, la fascia di mobilità funzionale corrisponde a quella fascia in cui ha divagato il fiume durante le ultime centinaia di anni e le zone di probabile riattivazione per erosione laterale nel medio periodo (prossimi 40-50 anni).

La **Carta della Fascia di Mobilità Funzionale**, in scala 1:10.000 per i tratti di dettaglio. La cartografia è stata realizzata attraverso l’impiego del software ArcView (ver.8.1). La metodologia adottata nel presente studio comprende le seguenti fasi:

- 1) *Fascia di divagazione storica*. E’ definita quindi come involuppo più esterno dei tracciati, così come riportati nella Carta delle variazioni planimetriche dell’alveo, a partire da quello del 1954 (escludendo quindi il 1877) fino a quello del 1999.
- 2) *Fascia di erosione probabile a medio termine (50 anni)*. Per ognuno dei tratti di dettaglio per i quali è stata ottenuta la carta, sono stati ricavati i tassi medi di erosione laterale, utilizzando per tale calcolo l’intervallo temporale degli ultimi 10 anni circa, per tener conto delle attuali tendenze evolutive di larghezza.
- 3) *Fascia di mobilità funzionale*. E’ stata ottenuta come involuppo esterno delle due precedenti fasce. Rappresenta quindi la fascia attiva negli ultimi 50 anni e di possibile riattivazione nei prossimi 50 anni, facendo riferimento quindi ad un intervallo temporale complessivo di 100 anni (che coincide con la media scala temporale).

4.2.2 Carta della Fascia di Mobilità Funzionale e della Fascia di Riassetto Fluviale

A corollario della precedente cartografia, è emersa l’esigenza di realizzare un’ulteriore cartografia a fini applicativi, che rendesse immediato il confronto tra Fascia di Mobilità Funzionale e Fascia di Riassetto Fluviale. E’ infatti intenzione dell’Autorità di Bacino integrare la Fascia di Riassetto Fluviale, definita principalmente con criteri idraulici ma che già in parte tiene conto del contesto antropico, con la Fascia di Mobilità Funzionale, definita esclusivamente con criteri geomorfologici e (almeno nella versione della precedente cartografia) indipendente dalla presenza o meno di beni da difendere. In questa nuova cartografia, si è scelto di tagliare la Fascia di Mobilità Funzionale sulla base della Fascia di Riassetto Fluviale (cioè di escludere le porzioni esterne della prima fascia quando essa si intersecasse con la seconda). In questo modo, la Fascia di Mobilità Funzionale tiene almeno in parte conto degli elementi antropici più importanti (insediamenti, infrastrutture, ecc.) che si ritiene di dover escludere, essendo questi già esterni alla Fascia di Riassetto.

4.2.3 Carta di sintesi delle tendenze evolutive

La fase di ricostruzione dell’evoluzione storica, combinata con lo studio dei processi attuali, hanno permesso di definire i trend di aggiustamento passati e recenti, le caratteristiche geomorfologiche e sedimentologiche attuali e le possibili tendenze evolutive (come riportato in dettaglio nel Capitolo 3). Tale base conoscitiva si è concretizzata nella **Carta di sintesi delle**

tendenze evolutive, in scala 1:25.000, che riguarda gli interi tratti di studio del F.Magra (Pontremoli – foce) e del F.Vara (Varese Ligure – confluenza F.Magra) (Figura 14).

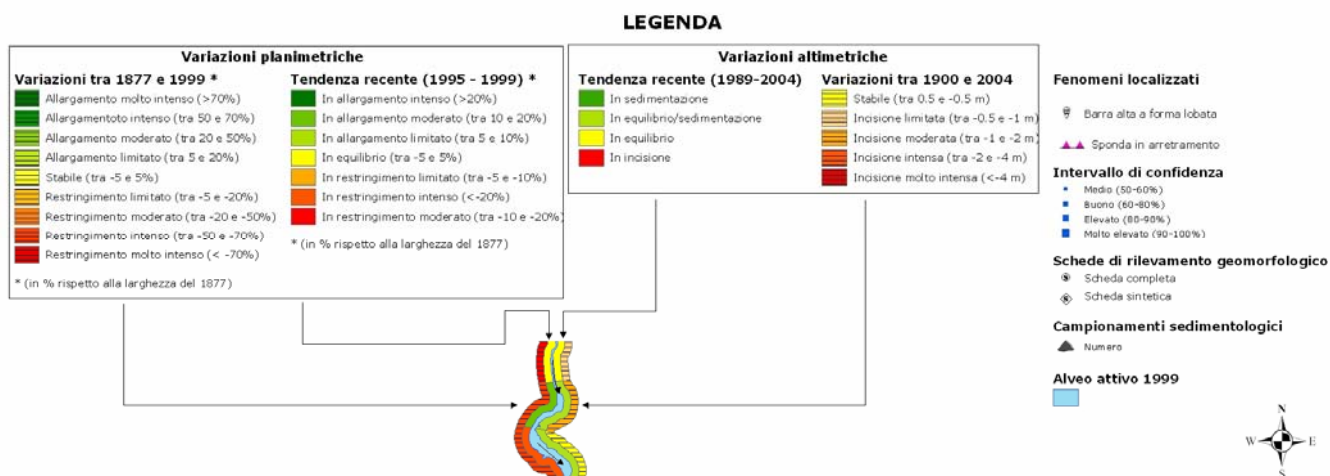


Figura 14 - Legenda della Carta di sintesi delle tendenze evolutive.

4.2.4 Carta di sintesi dello stato attuale rispetto al 1950

Per gli scopi di gestione dei sedimenti, è emersa durante il corso dello studio l'esigenza di mettere a punto un secondo tipo di carta di sintesi. Nell'ottica di individuare eventuali tratti in cui fosse pensabile ad una rimozione di sedimenti, sempre solo nel caso ciò fosse giustificato da motivi di mitigazione del rischio idraulico, non è infatti importante solo l'attuale tendenza evolutiva (in sedimentazione), ma anche il rapporto di tale tendenza con l'evoluzione passata. Nel caso di tratti incisi attualmente in sedimentazione, è importante stabilire lo stato di recupero morfologico dell'alveo rispetto ad una situazione precedente all'incisione del fondo. Le informazioni relative alle tendenze in atto ed alle variazioni passate sono in realtà già contenute nella Carta di sintesi delle tendenze evolutive. Tuttavia si è preferito realizzare una seconda cartografia di sintesi che fosse di più immediata lettura e che riportasse esplicitamente il concetto di recupero morfologico rispetto ad una determinata situazione. Si è scelto come situazione di riferimento quella del 1950 per motivi analoghi a quelli che hanno spinto a considerare le variazioni storiche utili per definire la Fascia di Mobilità Funzionale: (a) situazioni precedenti al 1950 sono talmente differenti dalle condizioni attuali dell'alveo da rendere di dubbia utilità; (b) la situazione del 1950 rappresenta in effetti, secondo quanto ricostruito nello studio delle variazioni morfologiche dell'alveo, la situazione appena precedente alla fase maggiore di abbassamento del fondo, quest'ultima legata soprattutto all'attività estrattiva a partire dal dopoguerra.

Il periodo compreso tra 1950 e 2005 è stato suddiviso schematicamente in due sottoperiodi: (a) un primo sottoperiodo tra 1950 e 1990, anno in cui si è raggiunta in generale la massima riduzione di larghezza e di quota; (b) periodo 1990 – 2005 in cui si è manifestata una tendenza al recupero morfologico delle larghezze e delle quote del fondo. Sono stati pertanto definiti come Δ_{MAX} la variazione tra 1950 e 1990 e come $\Delta_{ATTUALE}$ la variazione tra 1990 e 2005. A questo punto è stato possibile esprimere la variazione di larghezza $\Delta L_{ATTUALE}$ (tra 1990 e 2005) come percentuale della variazione ΔL_{MAX} (tra 1950 e 1990). Sono state quindi ricavate le 5 classi di recupero della larghezza rispetto al 1950:

A) *Percentuale di recupero di larghezza superiore al 100%* ($\Delta L_{ATTUALE} > 100\% \Delta L_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni la larghezza dell'alveo ha superato quella del 1950. Corrisponde cioè a casi di allargamento rispetto al 1950.

B) *Percentuale di recupero di larghezza compresa tra 80 e 100%* ($80\% \Delta L_{MAX} < \Delta L_{ATTUALE} < 100\% \Delta L_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni la larghezza dell'alveo ha raggiunto o quasi quella del

1950. Questa classe può comprendere anche i casi non di reale recupero, ma in cui la larghezza è rimasta sostanzialmente invariata dopo il 1950.

C) *Percentuale di recupero di larghezza compresa tra 50 e 80%* ($50\% \Delta L_{MAX} < \Delta L_{ATTUALE} < 90\% \Delta L_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni il recupero di larghezza è stato significativo (più della metà del restringimento subito tra 1950 e 1990 è stato recuperato).

D) *Percentuale di recupero di larghezza compresa tra 0 e 50%* ($0\% \Delta L_{MAX} < \Delta L_{ATTUALE} < 50\% \Delta L_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni il recupero di larghezza è stato modesto (è stato recuperato meno della metà del restringimento subito tra 1950 e 1990).

E) *Percentuale di recupero di larghezza negativa* ($\Delta L_{ATTUALE} < 0$): significa che negli ultimi 15 anni l'alveo si è ulteriormente ristretto.

Le percentuali di recupero delle quote di fondo sono state stimate usando un analogo procedimento di quello adottato per le larghezze, pervenendo alle seguenti classi di recupero:

A) *Percentuale di recupero della quota del fondo superiore al 100%* ($\Delta Z_{ATTUALE} > 100\% \Delta Z_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni la quota del fondo è aumentata rispetto al 1950. Corrisponde cioè a casi di reale “sovralluvionamento” rispetto al 1950.

B) *Percentuale di recupero della quota del fondo compresa tra 80 e 100%* ($80\% \Delta Z_{MAX} < \Delta Z_{ATTUALE} < 100\% \Delta Z_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni la quota del fondo ha raggiunto o quasi quella del 1950. Questa classe può comprendere anche i casi non di reale recupero, ma in cui la quota del fondo è rimasta sostanzialmente invariata dopo il 1950.

C) *Percentuale di recupero della quota del fondo compresa tra 50 e 80%* ($50\% \Delta Z_{MAX} < \Delta Z_{ATTUALE} < 80\% \Delta Z_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni il recupero di quota del fondo è stato significativo (più della metà dell'abbassamento subito tra 1950 e 1990 è stato recuperato).

D) *Percentuale di recupero della quota del fondo compresa tra 0 e 50%* ($0\% \Delta Z_{MAX} < \Delta Z_{ATTUALE} < 50\% \Delta Z_{MAX}$): significa che negli ultimi 15 anni il recupero di quota del fondo è stato modesto (è stato recuperato meno della metà dell'abbassamento subito tra 1950 e 1990)..

E) *Percentuale di recupero della quota del fondo negativa* ($\Delta Z_{ATTUALE} < 0$): significa che negli ultimi 15 anni il fondo si è ulteriormente abbassato.

Questo tipo di cartografia di sintesi ha messo in evidenza un aspetto che non era molto emerso nelle precedenti fasi di studio: il recupero della quota del fondo, almeno nella porzione medio – alta del bacino, è avvenuto più rapidamente rispetto al recupero di larghezza dell'alveo. Questo risultato è d'altra parte ben spiegabile dal fatto che la larghezza dell'alveo è attualmente molto più controllata artificialmente, a causa delle numerose opere di protezione delle sponde realizzate e la progressiva riduzione della fascia di pertinenza fluviale avvenuta durante gli ultimi decenni. E' possibile ipotizzare che la sedimentazione, quindi il recupero della quota del fondo, si sia accentuata proprio per il fatto che l'alveo è, in molti tratti, artificialmente ristretto rispetto alla configurazione passata. Pertanto il transito di una determinata portata solida all'interno di un alveo che non ha possibilità di allargare la propria sezione può favorire o accentuare l'innalzamento della quota del fondo.

4.2.5 Carta di sintesi dello stato attuale rispetto al 1900

Sulla base di quanto emerso dalla Carta di sintesi dello stato attuale rispetto al 1950, si è ritenuto opportuno ottenere lo stesso tipo di cartografia confrontando lo stato attuale a quello “iniziale” del 1900. Questa esigenza è emersa soprattutto per quanto riguarda le variazioni di quota del fondo: infatti, dal momento che una percentuale rilevante dell'abbassamento del fondo si è verificata prima del 1950, può essere talora fuorviante considerare il 1950 come situazione di riferimento senza tener presente il recupero complessivo di quota rispetto alla situazione pre-incipiente. Pertanto, ferma restando l'utilità del 1950 come situazione più confrontabile a quella attuale per scopi di gestione e pianificazione, rimane comunque utile esprimere sinteticamente di quanto la situazione attuale sia ancora differente rispetto ad una situazione, quella del 1900, relativamente naturale.

Si è pertanto proceduto ad applicare la stessa metodologia descritta nel paragrafo precedente per ricavare (tramite interpolazioni o estrapolazioni dei dati disponibili) i valori di larghezza e di quota del fondo del 1900 e di riportare le variazioni successive al 1990 a quelle relative all'intervallo 1900 – 1990 (invece che 1950 – 1990). Restano quindi valide le stesse 5 classi di recupero della larghezza dell'alveo e della quota del fondo definite nel precedente paragrafo, con la sola differenza che esse sono ridefinite rispetto alla situazione iniziale del 1900 invece che del 1950.

4.3 LINEE GUIDA E RACCOMANDAZIONI PER LA GESTIONE DEI SEDIMENTI

4.3.1 Questioni chiave

Lo studio più completo che fornisce indicazioni sulle problematiche di gestione di sedimenti è quello di Church et al. (2001) relativo al Fraser River (Canada). Risulta utile per gli scopi di questo capitolo riepilogare di seguito i principali concetti e considerazioni a cui giunge tale studio.

Le **questioni chiave** che uno studio completo finalizzato alla gestione dei sedimenti è chiamato ad affrontare possono essere così sintetizzate:

- (a) Quanto velocemente il fiume sta sedimentando?
- (b) Qual è il bilancio di sedimenti?
- (c) Dove si depositano i sedimenti?
- (d) Quanto la sedimentazione influenza la morfologia e l'ecologia del fiume?
- (e) Quanta ghiaia è necessario rimuovere per mitigare il pericolo di esondazione?
- (f) Quanta ghiaia potrebbe essere rimossa prima che la morfologia dell'alveo e gli ecosistemi vengano significativamente alterati?
- (g) Come la rimozione di ghiaia può alterare la morfologia e gli ecosistemi?
- (h) Alla luce delle necessità di non interferire con gli ecosistemi, quale sarebbe il miglior modo per rimuovere ghiaia?

Per quanto riguarda il **Fiume Magra**, non rientrava tra gli scopi di questa prima fase di ricerca quello di quantificare il trasporto solido ed il bilancio di sedimenti, ma si evidenzia la necessità (come si ribadirà anche più avanti in questo stesso capitolo) di trattare in dettaglio questi aspetti ai fini di una migliore definizione delle strategie di gestione dei sedimenti.

A conclusione di questo inquadramento delle problematiche, si può affermare che le indicazioni e le raccomandazioni sulla gestione dei sedimenti che vengono fornite nei prossimi paragrafi non possono essere considerate esaustive, ed è possibile rispondere in modo parziale solo ad una piccola parte delle questioni chiave affermate all'inizio del paragrafo. I prossimi paragrafi cercano quindi di fornire delle raccomandazioni di carattere generale e, sulla base dello studio geomorfologico delle tendenze evolutive, si cerca di fornire indicazioni di carattere spaziale (in quali situazioni sono più applicabili certi tipi di raccomandazioni) e proporre una normativa da adottare per far fronte alle richieste di mobilitazione di sedimenti. Risulta quindi utile, in quest'ottica, partire da un esame della normativa esistente al riguardo, per poi affermare alcune raccomandazioni generali e la loro applicazione al contesto spaziale del bacino del F. Magra.

4.3.2 Principi, raccomandazioni e linee guida per la gestione dei sedimenti

Sono state definite una serie di linee guida e raccomandazioni di carattere generale (che potrebbero cioè ritenersi valide in linea di massima per qualunque corso d'acqua) che andrebbero seguite per una corretta gestione dei sedimenti fluviali. Viene sottolineato come tali raccomandazioni non sono da interpretare in alcun modo come proposte di rimozione di sedimenti e non intendono quindi incoraggiare tale tipo di scelta. Esse intendono, al contrario, mettere in evidenza tutte le precauzioni che andrebbero prese e gli aspetti che andrebbero considerati nei casi in cui si voglia intraprendere realmente tale tipo di pratica per motivi di mitigazione del rischio idraulico e non per sfruttamento delle risorse. Inoltre, si parla genericamente di rimozione dei sedimenti ma va meglio intesa quasi sempre come mobilitazione di sedimenti in quanto,

condividendo quanto riportato nell'Art.10, comma 1 lettera b) delle norme di attuazione del Progetto di Piano Stralcio, il materiale rimosso andrebbe riutilizzato prioritariamente per obiettivi di riequilibrio sedimentologico del fiume o della linea di costa.

Sono state definite in totale 18 raccomandazioni, relative a 7 quesiti chiave principali (da A a G in Tabella 2), per le quali si rimanda alla Relazione Finale.

A. Se e quando rimuovere sedimenti	A1, ..., A3
B. Quanti sedimenti dovrebbero essere rimossi	B4, ..., B7
C. Da dove andrebbero rimossi	C8, ..., C11
D. Qual è il modo migliore per rimuovere sedimenti	D12, D13
E. Quanto frequentemente dovrebbero essere rimossi da uno stesso punto	E14
F. Quanto sedimenti possono essere rimossi prima che gli effetti morfologici ed ecologici diventino significativi	F15
G. Come andrebbero utilizzati i sedimenti rimossi	G16, ..., G18

Tabella 2 – Riepilogo delle raccomandazioni di gestione dei sedimenti.

4.3.3 Applicazione al bacino del Fiume Magra

Prima di proporre una procedura normativa possibile da adottare in relazione a richieste di rimozione di sedimenti, è utile fare alcune considerazioni generali in termini di gestione di sedimenti basate sui risultati precedentemente ottenuti.

1. Nel settore medio - alto è maggiormente possibile che esistano condizioni di sedimentazione in atto che possano provocare locali situazioni di rischio idraulico e che si possono quindi prendere in considerazione ipotesi di mobilizzazione di sedimenti.
2. Il settore medio – basso è invece quello maggiormente da preservare, per facilitare il naturale recupero morfologico e sedimentologico, rappresentando un settore del bacino di tutela del patrimonio sedimentario degli alvei. Pertanto in questo settore sono da applicare norme più restrittive, evitando in generale qualunque intervento di mobilizzazione di sedimenti a meno che non sia giustificato da seri motivi di mitigazione del rischio idraulico.
3. Si dovrebbero prendere in considerazione ipotesi di interventi che mitigassero l'interruzione del trasporto solido di fondo indotto dalla diga di S.Margherita lungo il Vara. Va altresì evitata la realizzazione di altre opere trasversali che possano in qualche modo ostacolare il libero transito di sedimenti o che impediscano l'alimentazione naturale o sottraggano sedimenti al sistema.
4. Potrebbero essere prese in considerazione ipotesi di mobilizzazione di sedimenti dalle zone medio – alte alle zone medio – basse (a maggior ragione a monte ed a valle della diga di S.Margherita) che accelererebbero il normale trasferimento di sedimenti da monte verso valle, a condizione che le zone di recapito non siano molto distanti da quelle di mobilizzazione in modo da evitare che le dimensioni granulometriche siano troppo differenti e possano alterare i normali processi di selezione granulometrica.
5. Tra le ipotesi di trasferimento, andrebbe presa in seria considerazione quella di spostamento di sedimenti in corrispondenza delle spiagge, ai fini del loro ripascimento, per accelerare un processo che comunque avverrebbe in maniera naturale ma che richiederebbe un intervallo di tempo incompatibile con le esigenze attuali di mitigare il processo erosivo della costa. Potrebbero essere utilizzate soprattutto le frazioni sabbiose o ghiaiose fini, ma senza escludere

la possibilità di utilizzo anche delle frazioni più grossolane, se ritenute adatte, in funzione delle caratteristiche del tratto di spiaggia su cui effettuare il ripascimento.

6. Andrebbero privilegiati e preservati i tratti in cui l'alveo può riallargarsi ed erodere le sponde, soprattutto nel settore medio – basso del bacino. Bisognerebbe in questi tratti evitare interventi di difesa di sponda ed ogni altro intervento di ulteriore artificializzazione dell'alveo, che ostacolano il processo naturale di rialimentazione sedimentologica, ad esclusione di situazioni di rischio reale (cioè situazioni in cui l'ulteriore arretramento della sponda può provocare perdita di insediamenti o infrastrutture da proteggere). La Fascia di Mobilità Funzionale delimita la fascia che andrebbe lasciata alle naturali divagazioni dell'alveo e che avrebbe quindi importante funzione di rialimentazione del trasporto solido.
7. Un caso a sé stante è costituito dal tratto pre-fociale. In questo tratto, per esigenze del mantenimento di condizioni di navigabilità, è necessario effettuare dragaggi periodici e regolari per il mantenimento del fondo del fiume al di sotto di un certo livello. E' assolutamente indispensabile che i sedimenti rimossi vengano trasferiti in prossimità delle spiagge (con modalità ed ubicazione da definire da appositi studi), accelerando di fatto anche in questo caso un processo che avverrebbe in maniera naturale.

Proposta di procedura da adottare

Di seguito si cercano di applicare al contesto del bacino del F.Magra, alla luce delle considerazioni precedenti, i concetti generali riportati alla conclusione del par.4.1 (sezione "Attualità del problema e necessità di regolamentazione"), formulando una proposta di procedura e di documentazione da presentare nei casi di richiesta di permessi di rimozione di sedimenti per scopi di mitigazione del rischio idraulico.

1. *Verifica delle condizioni morfologiche del tratto per il quale si propone la rimozione di sedimenti.* Tale verifica viene effettuata sulla base della Carta di sintesi delle tendenze evolutive e della Carta di sintesi dello stato attuale rispetto al 1950. Nella prima carta deve trattarsi di un tratto classificato come "in sedimentazione" o "in equilibrio/sedimentazione" e nella seconda carta il tratto deve rientrare nella *classe A* delle variazioni altimetriche (vale a dire con percentuale di recupero della quota del fondo superiore al 100%, cioè in "sovralluvionamento" rispetto al 1950). Nella *classe B* (cioè con percentuale di recupero della quota del fondo compresa tra 80 e 100%, cioè tratto in condizioni prossime a quelle del 1950) si possono prendere in esame solo nel caso di imminenti e ben documentate condizioni di rischio. Qualora il tratto per il quale si richiede un intervento di rimozione di sedimenti soddisfi i precedenti requisiti, si procede alle fasi successive della procedura, altrimenti la richiesta viene respinta.

2. *Documentazione richiesta al proponente.* Il soggetto proponente della rimozione di sedimenti deve presentare la seguente documentazione:

- a) cartografia di inquadramento alla scala 1:10.000, con planimetrie e sezioni illustrative dell'intervento in scala adeguata e con calcolo dei volumi che si intendono rimuovere;
- b) dettagliata relazione idraulica che quantifichi i benefici idraulici, in termini di riduzione dei livelli idrici per portate con i tempi di ritorno adottati nelle fasce del PAI per le aree inondabili (30, 100 e 200 anni), conseguenti alle variazioni topografiche conseguenti alla rimozione di sedimenti proposta;
- c) valutazione degli effetti morfologici, ecologici ed ambientali prodotti dalla rimozione proposta;
- d) dettagliata descrizione delle procedure utilizzate per la rimozione, che tenga conto dei Principi linee guida e raccomandazioni (par.4.3.2) resi noti dall'Autorità di Bacino.

3. *Quantità di sedimenti rimossi ammissibile.* Per quanto riguarda la massima quantità di sedimenti rimossi ammissibile in uno stesso tratto, non è al momento disponibile una stima ufficiale da parte dell'Autorità di Bacino tratto per tratto (questa verrà effettuata presumibilmente nell'immediato futuro). In attesa di tale stima, il criterio da seguire è quello di prevedere di rimuovere la minima

quantità possibile per ottenere risultati significativi in termini di riduzione del rischio nel tratto di intervento (in base a quanto documentato al punto 2b).

4. *Riutilizzo dei sedimenti rimossi.* La documentazione presentata dal proponente del progetto di rimozione deve anche specificare come si intendono utilizzare i sedimenti rimossi. In accordo alla normativa vigente (Art.10, comma 1 lettera b delle norme di attuazione delle Misure di Salvaguardia per l'Assetto Idrogeologico) ed in accordo ai Principi linee guida e raccomandazioni forniti in questo studio, andrebbe previsto uno spostamento dei sedimenti rimossi in altri punti dello stesso tratto, in tratti adiacenti o andrebbe presa in considerazione l'ipotesi di trasferimento alla linea di costa della frazione sabbiosa, se in quantitativi ritenuti utili. La proposta da parte del proponente dell'intervento viene poi valutata ed eventualmente condivisa dall'Autorità di Bacino, o altrimenti vengono stabilite da quest'ultima le modifiche da apportare.

Da parte dell'Autorità di Bacino, deve essere previsto un periodico aggiornamento della situazione attuale. La norma 1 (Verifica delle condizioni morfologiche del tratto per il quale si propone la rimozione di sedimenti) si basa sulle attuali condizioni morfologiche dell'alveo (riportate nelle Carte di sintesi citate). L'evoluzione futura dell'alveo dovrebbe essere seguita costantemente soprattutto sulla base delle sezioni di monitoraggio futuro. Nel caso di verificarsi di piene di notevole intensità, potrebbero crearsi situazioni di rischio associate a sedimentazioni localizzate, non accertabili attraverso le sezioni di monitoraggio, tali da richiedere interventi urgenti. In tal caso, l'Autorità di Bacino esprimerà pareri relativi a tali situazioni critiche e potrà stabilire deroghe alla norma 1.

4.4 PIANO DI MONITORAGGIO

Sono state selezionate una serie di **sezioni di controllo** da utilizzare per un monitoraggio futuro delle variazioni morfologiche del fondo (erosione, sedimentazione) e di larghezza. I criteri di scelta di tali sezioni sono stati:

- (a) una sezione per ogni sottotratto geomorfologico (definito nel cap.2);
- (b) selezionare una serie di situazioni rappresentative di una sufficiente varietà di situazioni morfologiche (tratti interpretati come in incisione, in equilibrio o in sedimentazione);
- (c) esistenza di una sezione del rilievo topografico del 1989 effettuato per il PAI (Autorità di Bacino del Fiume Magra), in modo da poter disporre del confronto con tale situazione.

In totale sono state quindi selezionate 16 sezioni (Figura 4.24), pari al numero di sottotratti geomorfologici identificati nella prima fase del lavoro, di cui 9 per il F.Magra (per i sottotratti MA, MB1, MB2, MC1, MC2, MD1, MD2, ME1, ME2) e 7 per il F.Vara (per i sottotratti VA, VB1, VB2, VC1, VC2, VD, VE). Si rimanda all'Appendice per i dettagli di ognuna delle sezioni di monitoraggio selezionate.

La procedura per il monitoraggio da seguire sarebbe la seguente:

1. Recuperare gli eventuali capisaldi di appoggio utilizzati nel rilievo del 1989 in corrispondenza delle sezioni prescelte e/o materializzare nuovi capisaldi in corrispondenza delle stesse;
2. Ripetere il rilievo topografico delle sezioni di monitoraggio con periodicità possibilmente annuale, al massimo di 2 anni, con particolare attenzione a ripeterle in seguito di piene di una certa intensità.

BIBLIOGRAFIA

- Agnelli, A., Billi, P., Canuti, P., Rinaldi, M. (1998) - *Dinamica evolutiva recente dell'alveo del Fiume Arno*. Monografia CNR-GNDICI, Pubblicazione n°1739, Pacini Editore, Pisa, 191 pp.
- Andrews, E.D. & Parker, G. (1987) - *The coarse surface layer as a response to gravel mobility*. In: C.R.Thorne, J.C.Bathurst & R.D.Hey (eds), "Sediment Transport in Gravel-bed Rivers", John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, U.K., 269-325.
- Antonelli, A., Cavazza, S., Cortemiglia, G.C., Egori, F., Martinelli, M., Pellegrini, N., Pregliasco, P., Raggi, G. (1981) - *Tra fiumi, mare e terraferma*. Italia Nostra, Tipografia Zappa, Sarzana, 165 pp.
- Billi, P. (1992) - *Variazione areale delle granulometrie e dinamica degli alvei ghiaiosi : metodologie di campionamento ed analisi dei primi risultati*. Atti Convegno Fenomeni di Erosione e Alluvionamenti degli Alvei Fluviali, Ancona 14-15 Ottobre 1991, 91-106.
- Bravard J.P., Kondolf G.M. & Piégay H. (1999) - *Environmental and societal effects of channel incision and remedial strategies*. In: Darby S.E. & Simon A. (Eds), *Incised River Channels*, John Wiley & Sons Ltd., 303-341.
- Brice J.C. (1975) - *Airphoto interpretation of the form and behaviour of alluvial rivers*. Report to the U.S.Army Research Office.
- Brookes A. (1988) - *Channelized Rivers. Prospectives for Environmental Management*. John Wiley & Sons, 326 pp. Brookes & Shields, 1996
- Brookes, A. & Shields, F.D.Jr. (Eds.) (1996) - *River Channel Restoration. Guiding Principles for Sustainable Projects*. John Wiley & Sons, 433 pp.
- Bull, W.B. & Scott, K.M. (1974) - *Impact of mining gravel from urban stream beds in the southwestern United States*. *Geology*, 2, 171-174.
- Bunte, K. & Abt, S.R. (2001) - *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-74, 428 pp.
- Canuti, P., Cencetti, C., Rinaldi, M. & Tacconi, P. (1994) - *La Dinamica Fluviale del Fiume Arno: Carta dei caratteri morfologico-sedimentari ed antropici dell'alveo e della pianura dell'Arno. Tav.7 - Montevarchi*. Tip. S.EL.CA, Firenze. In: *Mem.Soc.Geol.It.*, 48.
- Cavazza, S. (1977) - *I criteri di stima dell'apporto terrigeno alla foce dei corsi d'acqua e il caso del fiume Magra*. Atti del Convegno di studi per il Riequilibrio della Costa fra il Fiume Magra e Marina di Massa.
- Cavazza, S. & Pregliasco, P. (1981) - *Sulle modificazioni dell'apporto terrigeno alla foce del Fiume Magra causate dall'uomo*. In: Antonelli, A., Cavazza, S., Cortemiglia, G.C., Egori, F., Martinelli, M., Pellegrini, N., Pregliasco, P., Raggi, G., *Tra fiumi, mare e terraferma*, Tipografia Zappa, Sarzana, 57-128.
- Cavazza, S., Merlisenna, Piaggi, G. (1977) - *Variazioni morfologiche del tronco terminale del fiume Magra nel quindicennio 1958-1973*.
- Church M.A. (1992) - *Channel Morphology and Typology*. In: P.Callow & G.E.Petts (eds), *The Rivers Handbook*, Oxford, Blackwell.
- Church, M.A., McLean, D.G. & Wolcott, J.F. (1987) - *River bed gravels: sampling and analysis*. In: C.R.Thorne, J.C.Bathurst & R.D.Hey (eds), "Sediment Transport in Grave-bed Rivers", John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, U.K., 43-88.
- Church M., Ham D. & Weatherly H. (2001) - *Gravel management in lower Fraser River*. Final Report for The City of Chilliwack, <http://www.geog.ubc.ca/fraserriver/publications.html>.
- Collins BD, Dunne T. 1989. *Gravel transport, gravel harvesting, and channel-bed degradation in rivers draining the southern Olympic Mountains, Washington, USA*. *Environmental Geology and Water Science* 13(3): 213-224.
- Collins, B. & Dunne, T. (1990) - *Fluvial geomorphology and river-gravel mining: a guide for planners, case studies included*. California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Special Publication 98, 29 pp.
- Cooperativa Mediterranea Prospezioni (2000) - *Determinazione e studio del trasporto solido di fondo nelle tre stazioni di Calamazza (Comune di Aulla), Santa Giustina e Piccatello (Comune di Pontremoli) sul fiume Magra in provincia di Massa Carrara*. Massa Carrara.
- Darby S.E. & Simon A. (1999) (Eds) - *Incised River Channels. Processes, Forms, Engineering and Management*. John Wiley & Sons Ltd., 442 pp.
- Elettroconsult (1972) - *Rinalveamento del fiume Magra. Studio di massima sulle possibilità estrattive di inerti nel quadro di una risistemazione dell'alveo del fiume Magra*. Associazione Nazionale Estrattori-Produttori-Lapidei e Affini, Parma.
- Erskine WD. 1990. *Environmental impacts of sand and gravel extraction on river systems*. In: *The Brisbane River: a Source Book for the Future*, Davie P, Stock E, Low Choy D (Eds), Australian Littoral Society, Brisbane, 295-302.
- Erskine WD, Green D. 2000. *Geomorphic effects of extractive industries and their implications for river management: The case of the Hawkesbury-Nepean River, New South Wales*. In: *River Management: The Australasian Experience*, Brizga S, Finlayson B (Eds), Wiley, Chichester, 123-149.
- Hupp C.R. & Osterkamp W.R. (1996) - *Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes*. *Geomorphology*, 14, 277-295.

Sintesi Relazione Finale

- Hydrodata, Intecno-Dhi, Medingegneria, Sti (2003) - *Indagini e progetto preliminare per la risagomatura della sezione di deflusso del tratto focivo del fiume Magra*. Studio commissionato dall'Autorità di bacino interregionale del fiume Magra.
- Kellerhals, R. & Bray, D.L. (1971) - *Sampling procedures for coarse fluvial sediments*. Proc. ASCE, Journal of Hydraulic Division, **97**, 1165-1179.
- Kellerhals R., Church M. & Bray D.I. (1976) - *Classification and analysis of river processes*. J.Hydraul.Div., ASCE, **102**, No.HY7.
- Kondolf, G.M. (1994) - *Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining*. Landscape and Urban Planning, **28**, 225-243.
- Kondolf, G.M. (1997) - *Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels*. Environmental management, **21**(4), 533-551.
- Lagasse, P.F., Winkley, B.R., Simons, D.B. (1980) - *Impact of gravel mining on river system stability*. J.Waterway, Port, Coastal and Ocean Div., ASCE, **106**, 389-404.
- Lamberti, A. (1993) - *Le modificazioni recenti verificatesi nell'asta principale del Po e problemi connessi*. Acqua-Aria, **6**, 589-592.
- Langer W.H. (2003) - *A general overview of the technology of in-stream mining of sand and gravel resources, associated potential environmental impacts, and methods to control potential impacts*. U.S.Geological Survey Open-File Report 02-153, 38 pp.
- Liebault F., Clement P., Piégay H. (2001) - *Analyse géomorphologique de la recharge sédimentaire des bassins versants de la Drôme, de l'Eygues et du Roubion*. Unpublished technical report, ONF Service Départemental de la Drôme and CNRS - UMR 5600, 182 pp.
- Liebault, F. & Piégay, H. (2002) - *Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers and streams of Southeastern France*. Earth Surface Processes and Landforms, **27**, 425-444.
- Liebault F., Clement P., Piégay H. (2001) - *Analyse géomorphologique de la recharge sédimentaire des bassins versants de la Drôme, de l'Eygues et du Roubion*. Unpublished technical report, ONF Service Départemental de la Drôme and CNRS - UMR 5600, 182 pp.
- Montgomery, D. R. e Buffington, J. (1997) - *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. Geological Society of American Bulletin, 596-611.
- Raggi G. & Sansoni G. (1992) - *Variazioni storiche e tendenza evolutiva della linea di riva lunense*. Memorie Accademia Lunigianese di Scienze, Vol. LXII-LXIII, 3-45.
- Raggi G. (1985) - *Neotettonica ed evoluzione paleogeografia plio-pleistocenica del bacino del Fiume Magra*. Mem.Soc.Geol.It., **30**, 34-62.
- Rapp, C.F. & Abbe, T.B. (2003) - *A framework for delineating Channel Migration Zones*. Ecology Publication #03-06-027 (Final Draft), Washington State Department of Transportation, 66 pp.
- Rinaldi M. (2003) - *Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy*. Earth Surface Processes and Landforms, **28** (6), 587-608.
- 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., Wyzga B. & Surian N. (2005) - *Effects of sediment mining on channel morphology and environment in alluvial rivers*. In stampa su River Research and Application.
- Rosgen D.L. (1994) - *A classification of natural rivers*. Catena, **22**, 169-199.
- Schumm S.A (1963) - *A tentative classification of alluvial river channels*. U.S.Geological Survey Circular 477. Washington, DC.
- Schumm S.A. (1999) - *Causes and controls of channel incision*. In: Darby S.E. & Simon A. (Eds), *Incised River Channels*, John Wiley & Sons Ltd., 19-33.
- Shields, F.D., Copeland, R.R., Klingeman, P.C., Doyle, M.W. & Simon, A. (2003) - *Design for stream restoration*. Journal of Hydraulic Engineering, **129**(8), 575-584.
- Storti M. (2000) - *Il territorio attraverso la cartografia. Santo Stefano di Magra, piccolo centro della bassa Valle*. Editrice Luna.
- Surian N. & Rinaldi M. (2003) - *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. Geomorphology, **50** (4), 307-326.
- Tecnosviluppo, Ilesi, Agristudio, Eptaconsult, Geoscience (1991) - *Caratteristiche del trasporto solido e della evoluzione morfologica degli alvei e dei versanti. Modello matematico del trasporto solido*. Studio per il piano di bacino del fiume Magra commissionato dal Ministero dei Lavori Pubblici.
- Thorne, C.R. (1998) - *Stream reconnaissance handbook. Geomorphological investigation and analysis of river channels*. Wiley, Chichester, 133 pp.
- Wolman, M.G. (1954) - *A method of sampling coarse river-bed material*. Am.Geophys.Union.Trans., **35**, 951-956.