



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

**PROGRAMMA GENERALE
DI GESTIONE
DEI SEDIMENTI ALLUVIONALI
DELL'ALVEO
DEL FIUME PO**



Stralcio
CONFLUENZA TANARO
CONFLUENZA ARDA

OTTOBRE 2005



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

PARMA

PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI ALLUVIONALI DELL'ALVEO DEL FIUME PO

Stralcio

CONFLUENZA TANARO - CONFLUENZA ARDA

ELENCO ELABORATI

- Relazione tecnica
- Allegato 1 - Cartogramma di sintesi delle caratteristiche granulometriche e litologiche dei sedimenti dell'alveo
N. 1 Tavola
- Allegato 2 - Cartografia geomorfologica delle tendenze evolutive in atto
N. 13 Tavole scala 1:10.000
- Allegato 3 - Cartogramma di sintesi dell'assetto attuale del corso d'acqua
N. 1 Tavola
- Allegato 4 - Cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua
Quadro di unione
N. 16 Tavole scala 1:25.000
- Allegato 5 - Cartografia degli obiettivi del corso d'acqua
Quadro di unione
N. 16 Tavole scala 1:25.000
- Allegato 6 - Cartografia degli interventi sul corso d'acqua
Quadro di unione
N. 16 Tavole 1:25.000
- Cd rom autoavviante contenente gli elaborati in formato PDF



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI ALLUVIONALI DELL'ALVEO DEL FIUME PO

STRALCIO CONFLUENZA TANARO - CONFLUENZA ARDA

Relazione Tecnica



Ottobre 2005

1. <u>INTRODUZIONE</u>	4
1.1 PREMessa GENERALE	4
1.2 L'ATTUALE QUADRO NORMATIVO	5
1.3 L'ACCORDO PER LA GESTIONE DEI SEDIMENTI DEL FIUME PO DA CONFLUENZA TANARO AL MARE.....	6
1.4 IL PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI DEL FIUME PO NEL TRATTO DA CONFLUENZA TANARO A CONFLUENZA ARDA	6
2. <u>LE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE GENERALI DELL'ASTA FLUVIALE</u>	9
3. <u>I DATI TOPOGRAFICI E AEROFOTOGRAMMETRICI</u>	15
3.1 I RILIEVI TOPOGRAFICI TRADIZIONALI	16
3.2 IL RILIEVO LASER-SCAN	18
4. <u>LA CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA E LITOLOGICA DEI SEDIMENTI DELL'ALVEO</u>	21
4.1 I CAMPIONAMENTI EFFETTUATI	21
4.2 LA RESTITUZIONE DEI RISULTATI.....	22
5. <u>IL TRASPORTO SOLIDO</u>	25
5.1 LA MODELLISTICA UTILIZZATA	25
5.2 IL METODO PER LA STIMA DEL BILANCIO DEL TRASPORTO SOLIDO.....	27
5.3 L'ANALISI DELLE MODIFICAZIONI PLANOALTIMETRICHE DELLE SPONDE E DELLE FORME EMERSE	28
5.3.1 LA METODOLOGIA DI ANALISI	30
5.3.2 I RISULTATI DELLE ANALISI.....	36
5.4 L'ANALISI DELLE MODIFICAZIONI ALTIMETRICHE DEL FONDO ALVEO.....	47
5.4.1 LA METODOLOGIA DI ANALISI	47
5.4.2 I RISULTATI DELLE ANALISI.....	48
5.5 I CONTRIBUTI ESTERNI AL SISTEMA	52
5.6 IL BILANCIO DEL TRASPORTO SOLIDO.....	56
6. <u>L'ASSETTO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA E LE CONDIZIONI DI CRITICITÀ</u>	59
6.1 LA "CARTOGRAFIA DELL'ASSETTO ATTUALE"	59
6.2 LE DINAMICHE IN ATTO NELL'ALVEO INCISO	61
6.3 IL SISTEMA DIFENSIVO	65
6.4 I FATTORI DI PRESSIONE ANTROPICA	70
6.5 L'INDICATORE DEL TRASPORTO SOLIDO.....	76
6.6 LA SINTESI DELL'ASSETTO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA	76
7. <u>GLI OBIETTIVI</u>	85
7.1 GLI OBIETTIVI GENERALI E LOCALI E LA "CARTOGRAFIA DEGLI OBIETTIVI"	85
7.1.1 GLI OBIETTIVI GENERALI	86
7.1.2 GLI OBIETTIVI LOCALI.....	88
7.2 LA SINTESI DEGLI OBIETTIVI DI GESTIONE DEI SEDIMENTI SUL CORSO D'ACQUA	92

8.	<u>GLI INTERVENTI.....</u>	100
8.1	PREMESSA.....	100
8.2	LE TIPOLOGIE DI INTERVENTO E LA “CARTOGRAFIA DEGLI INTERVENTI”.....	100
8.2.1	GLI INTERVENTI STRUTTURALI STRATEGICI DI CARATTERE STRAORDINARIO	102
8.2.2	GLI INTERVENTI STRUTTURALI STRATEGICI DI CARATTERE ORDINARIO.....	107
8.2.3	GLI INTERVENTI NON STRUTTURALI STRATEGICI DI CARATTERE ORDINARIO.....	109
8.2.4	I CRITERI E LE PRESCRIZIONI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI LOCALI	112
8.3	GLI INTERVENTI RILEVANTI A SCALA DI ASTA FLUVIALE.....	113
8.3.1	LE PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI RILEVANTI	122
8.4	LE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO	123
8.4.1	IL MONITORAGGIO ORDINARIO	125
8.4.2	IL MONITORAGGIO ESTENSIVO	126
8.4.3	IL MONITORAGGIO SPERIMENTALE.....	126
9.	<u>ELENCO ALLEGATI.....</u>	128

1. Introduzione

1.1 Premessa generale

Il fiume Po, come tutti i corsi d'acqua alluvionali a fondo mobile ed alveo solo parzialmente vincolato in corrispondenza di protezioni spondali e pennelli, scorre sui propri sedimenti realizzando adattamenti morfologici in termini di dimensioni, forme, tracciato, pendenza al variare delle condizioni di regime liquido e solido e dei condizionamenti antropici presenti.

Il modellamento di tale alveo alluvionale avviene attraverso i fenomeni naturali di erosione del letto e delle sponde e di trasporto e deposizione di sedimenti.

Spesso tali fenomeni di modellamento, con particolare riguardo alla formazione e traslazione delle forme di fondo (sabbioni, ghiaioni), sono interpretati come fonte di potenziale pericolo per il territorio circostante la regione fluviale e oggetto, a volte erroneamente, specialmente a valle di eventi di piena, di consistenti interventi di ricalibratura della sezione trasversale nella maggior parte dei casi effettuati in via d'urgenza senza una precisa e specifica conoscenza delle dinamiche fluviali in atto.

La necessità di "tenere pulito" l'alveo, viene da più parti segnalata come una necessità primaria alla quale il disalveo dello stesso viene di conseguenza associato senza però precise valutazioni sugli effettivi vantaggi o svantaggi di tale tipologia di intervento in relazione alle dinamiche fluviali in atto e senza una valutazione dell'ordine di grandezza del materiale da asportare in relazione alle potenzialità medie annue di trasporto solido del tratto.

Come più avanti nel documento si avrà modo di ben rappresentare, l'asta del Po, esaminata alla scala temporale del XX secolo, ha subito notevoli trasformazioni (variazioni altimetriche delle quote di fondo, variazioni di larghezza delle sezioni trasversali, variazioni morfologiche) in conseguenza principalmente alla forte pressione antropica manifestatasi a partire dagli anni cinquanta ed identificabile in particolare con l'estrazione di inerti dagli alvei, la costruzione di opere di canalizzazione, l'urbanizzazione di molte aree di pertinenza fluviale.

Tali attività antropiche, che avevano assunto dimensioni rilevanti nel periodo precedente gli anni '80, oggi sono ricondotte a valori meno impattanti.

Tuttavia l'effetto di tali modificazioni, fra cui in particolare il forte fenomeno di approfondimento delle quote di fondo medio dell'alveo rilevabile diffusamente tra il 1954 ed il 1979, è ancor oggi causa di numerose problematiche fra cui:

- lo scalzamento delle fondazioni dei ponti e delle opere di difesa idraulica (difese spondali, pennelli, argini in frodo);
- l'impossibilità a derivare di numerose opere di presa in seguito all'abbassamento dei livelli idrici di magra (a parità di portata);
- la necessità di rifacimento delle conche di navigazione in seguito a processi di approfondimento dei fondali.
- la mancanza di apporto solido al litorale costiero del mar Adriatico

La necessità di pianificare una corretta gestione dei sedimenti e manutenzione dell'alveo fluviale che consenta nel tempo un monitoraggio attento delle dinamiche in atto al fine di individuare ed indirizzare l'evoluzione naturale o indotta verso configurazioni morfologiche più stabili e meno vincolate, di maggior valore ecologico

compatibilmente con le esigenze di sicurezza idraulica e con usi sostenibili delle risorse del corso d'acqua, è obiettivo prioritario del Piano di Bacino del Po, nonché della legge istitutiva n.183/89.

A tale finalità generale è necessario associare l'esigenza di trovare soluzione alle numerose situazioni di criticità locali presenti lungo l'asta non più singolarmente e separatamente ma all'interno di un disegno unitario di medio lungo periodo.

Il tema della gestione dei sedimenti, al quale in senso lato possono essere associate le altre due componenti dell'azione di manutenzione dell'alveo (gestione della vegetazione ripariale e manutenzione delle opere di difesa), diventa in tal modo un'attività strategica sia in relazione alle necessità di avviare un oramai indifferibile processo di recupero morfologico ed ambientale dell'alveo e delle aree ripariali che in relazione alle necessità di garantire un compatibile e sostenibile sviluppo socio economico lungo le aree fluviali.

1.2 L'attuale quadro normativo

Il tema della gestione dei sedimenti e più in generale della manutenzione dei corsi d'acqua è da tempo all'attenzione dell'Autorità di bacino.

Le attività di manutenzione e di monitoraggio dei corsi d'acqua sono infatti individuate nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) come azioni prioritarie ed essenziali al fine di assicurare il progressivo miglioramento delle condizioni di sicurezza e della qualità ambientale e paesaggistica dei corsi d'acqua. Tali attività in particolare riguardano le tre componenti essenziali che caratterizzano il sistema fluviale: i sedimenti dell'alveo, la vegetazione ripariale e le opere di difesa.

Ai sensi degli articoli 14 e 34 delle Norme di attuazione del PAI, l'Autorità di bacino del fiume Po definisce ed aggiorna le direttive tecniche riguardanti l'attività di manutenzione.

In conformità alle norme suddette, sono attualmente vigenti e contenute all'interno del PAI la *"Direttiva in materia di attività estrattive nelle aree fluviali del bacino del Po"*, che disciplina gli interventi di asportazione e movimentazione di materiale litoide dagli alvei dei corsi d'acqua, e la *"Direttiva per la progettazione degli interventi e la formulazione dei programmi di manutenzione"*.

Inoltre l'articolo 42 delle Norme di Attuazione del PAI, considera di carattere prioritario un programma di intervento relativo al monitoraggio delle caratteristiche fisiche e idrologiche degli alvei, finalizzato a fornire elementi conoscitivi in grado di rappresentare l'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua principali, in termini di erosione e sovralluvionamento e l'andamento del trasporto solido di fondo e in sospensione, anche attraverso l'affinamento dei modelli numerici di bilancio del trasporto solido e il confronto con le sezioni morfologiche storiche del fiume.

Al fin di aggiornare il contenuto delle direttive soprarichiamate e meglio approfondire quanto disposto al citato art. 42 del PAI, nella seduta di Comitato Tecnico del 23 marzo 2005 è stata approvata la *"Direttiva tecnica per la programmazione degli interventi di gestione dei sedimenti degli alvei dei corsi d'acqua"*.

Tale direttiva in particolare ha introdotto la necessità di definire, per stralci funzionali di parti significative di bacino idrografico, il *Programma generale di gestione dei sedimenti*, quale strumento conoscitivo, gestionale e di pianificazione e programmazione degli interventi mediante il quale disciplinare le attività di manutenzione e sistemazione degli alvei comportanti in particolare movimentazione

ed eventualmente asportazione di materiale litoide, nonché le attività di monitoraggio morfologico e del trasporto solido.

1.3 *L'Accordo per la gestione dei sedimenti del fiume Po da confluenza Tanaro al mare*

Fra Autorità di bacino del fiume Po, AIPO, Regione Lombardia, Regione Emilia Romagna e Regione Veneto, è stato sottoscritto il 5 ottobre 2004, "l'Accordo per la gestione dei sedimenti del fiume Po da confluenza Tanaro al mare".

L'accordo è finalizzato alla definizione, all'esecuzione e al coordinamento di tutte le attività di studio, monitoraggio e pianificazione necessarie per una corretta gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po al fine del conseguimento dei seguenti obiettivi:

- recupero di configurazioni morfologiche dell'alveo caratterizzate da maggiori condizioni di stabilità e ricerca di un maggior equilibrio nelle dinamiche di trasporto solido;
- miglioramento della capacità di convogliamento delle portate di piena con particolare riguardo ai tratti canalizzati;
- miglioramento dell'assetto ecologico del corso d'acqua;
- mantenimento di determinate condizioni di navigabilità nel tratto a valle dello sbarramento di Isola Serafini, compatibilmente con le finalità di carattere idraulico – morfologico e ambientale del corso d'acqua;
- ripascimento delle coste adriatiche.

Per il raggiungimento di tali finalità, l'accordo prevede la realizzazione sia di attività di rilievo topografico e aerofotogrammetrico che di studio sulle dinamiche di trasporto solido e sulla fattibilità degli interventi di gestione dei sedimenti, propedeutiche alla predisposizione del Piano di gestione dei sedimenti, o, come successivamente denominato nell'ambito della "Direttiva tecnica per la programmazione degli interventi di gestione dei sedimenti degli alvei dei corsi d'acqua", del presente Programma generale di gestione dei sedimenti.

1.4 *Il Programma generale di gestione dei sedimenti del fiume Po nel tratto da confluenza Tanaro a confluenza Arda*

Il Programma generale, descritto nella presente relazione tecnica, costituisce momento di sintesi delle attività di studio condotte nell'ambito dell'Accordo sopraccitato (*Studio di fattibilità degli interventi di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po nel tratto confluenza Tanaro – confluenza Arda, 2005*), e contiene la definizione di regole, criteri e prescrizioni per la manutenzione e il monitoraggio dell'alveo oltre che la proposta di interventi di manutenzione di carattere strategico e straordinario.

Di seguito si riporta una sintetica descrizione dei contenuti della relazione tecnica, al fine di fornire sia un inquadramento generale dei temi trattati sia una chiave di lettura delle singole parti del documento all'interno del contesto complessivo del Programma generale.

Nel capitolo 3 e 4 della presente relazione tecnica sono descritti i dati conoscitivi predisposti, raccolti ed utilizzati nell'ambito del Programma generale in relazione agli

aspetti topografici dell'alveo e a quelli granulometrici e litologici dei sedimenti che lo compongono. Aspetto rilevante di tali attività, oltre al fatto di aver fornito le necessarie informazioni di base per le valutazioni morfologiche ed idrauliche, di seguito descritte, è quello di aver individuato e definito uno standard per quanto attiene le modalità di rilievo del corso d'acqua e di restituzione dei dati, di fondamentale importanza per le future attività di monitoraggio delle modificazioni planoaltimetriche dell'alveo.

Successivamente nel capitolo 5 è descritto il metodo messo a punto per la valutazione del trasporto solido e i risultati ottenuti per singoli tratti omogenei.

L'analisi delle dinamiche morfologiche dell'alveo e di quantificazione di un indicatore del bilancio del trasporto solido è stata effettuata valutando in termini planimetrici e volumetrici le modificazioni intercorse a carico delle sponde, delle forme di fondo e del fondo alveo durante l'ultimo ventennio. Per tale periodo si aveva infatti la disponibilità di due dettagliate carte geomorfologiche delle tendenze evolutive dell'alveo (1982 e 2002) nonché dei rilievi topografici delle sezioni trasversali (1979 – 1999).

Tale metodologia è stata scelta in quanto l'utilizzo di sole elaborazioni e simulazioni numeriche non è in grado di rappresentare nel dettaglio gli effetti locali dei fenomeni deposizionali ed erosivi che caratterizzano il trasporto solido di un corso d'acqua quale l'asta del fiume Po in questione.

I risultati ottenuti sono di estremo interesse oltre che per l'elevato contenuto tecnico scientifico introdotto dalla metodologia messa a punto, per il fatto che hanno consentito di poter disporre di una adeguata conoscenza delle dinamiche morfologiche del fiume e del fenomeno del trasporto solido necessaria per la definizione delle esigenze di manutenzione e la relativa programmazione degli interventi.

Successivamente il percorso metodologico messo a punto e sviluppato nel Programma generale, consiste nelle seguenti attività:

- definizione della sintesi dell'attuale assetto del corso d'acqua e delle condizioni di criticità presenti lungo l'asta fluviale;
- definizione degli obiettivi di manutenzione;
- definizione degli interventi strutturali e delle azioni non strutturali necessarie al raggiungimento degli obiettivi definiti.

Le tre fasi principali secondo le quali è organizzato il Programma generale possono essere pertanto sintetizzabili nella definizione del quadro delle **criticità** (capitolo 6), degli **obiettivi** (capitolo 7) e degli **interventi** (capitolo 8), rispetto alle quali sono definite e allegate alla presente relazione tre specifiche cartografie di sintesi.

Le tre fasi del Programma generale devono essere lette, esaminate e utilizzate in stretta correlazione in modo tale che a ciascuna criticità possa sempre corrispondere un intervento coerente con gli obiettivi fissati e che viceversa ad ogni intervento sia sempre associato l'obiettivo che si vuole conseguire e la criticità a cui deve essere data risoluzione.

Nel capitolo 6 in particolare è stato sintetizzato il quadro conoscitivo attualmente disponibile in relazione alle dinamiche morfologiche in atto nell'alveo inciso, al sistema difensivo, ai fattori di pressione antropica presenti lungo le sponde del corso d'acqua, distinguendo per ciascuno di questi tre fattori, le situazioni di criticità presenti.

Nel capitolo 7 sono esplicitati gli obiettivi di manutenzione da conseguire, distinguendo fra quelli locali e quelli generali associati a tronchi omogenei di asta fluviale.

Il capitolo 8 infine riveste particolare importanza in quanto contiene la proposta di come trovare soluzione alle criticità presenti e conseguire il raggiungimento degli obiettivi fissati.

E' bene subito evidenziare, al fine di evitare dannose semplificazioni, che il capitolo non contiene solamente l'individuazione degli interventi strutturali, sebbene questi assumano un'importanza strategica per il conseguimento dell'assetto di progetto dell'asta fluviale, bensì contenga anche la definizione dei criteri e delle prescrizioni per la realizzazione degli interventi locali e l'individuazione delle attività di monitoraggio dell'alveo e delle opere di difesa, distinguendo in particolare tali opere in relazione alla loro funzionalità o efficacia all'interno del sistema difensivo complessivo.

Gli interventi più rilevanti a scala di intera asta fluviale, sviluppati a livello di fattibilità nel presente Programma generale, riguardano in particolare:

- l'immissione dei sedimenti a valle dello sbarramento di Isola Serafini necessaria per garantire la continuità del trasporto solido fra monte e valle della traversa;
- l'estrazione dei sedimenti necessaria a ripristinare un assetto morfologico a più rami laddove i depositi degli ultimi vent'anni hanno occluso rami fluviali e concentrato i deflussi delle piene più frequenti all'interno di un unico alveo;
- la correzione e in alcuni casi la dismissione di numerose opere spondali rispetto alle quali le attuali dinamiche del fiume hanno evidenziato l'inutilità o addirittura possibili effetti negativi;
- la realizzazione di alcune nuove opere spondali a difesa delle arginature maestre.

Il fabbisogno economico necessario per la realizzazione degli interventi rilevanti sopra indicati è stimato in circa novanta milioni di euro, di cui una quota parte potrebbe essere resa disponibile dalle Regioni attraverso la destinazione di parte dei canoni di concessione dei beni demaniali (inerti) ed in parte anche con l'istituto del project financing. A ciò è necessario aggiungere il finanziamento per la realizzazione delle attività di manutenzione ordinaria (fra cui quelle a carico delle difese di sponda individuate nel Programma generale come strategiche) e delle attività di monitoraggio dell'alveo del corso d'acqua.

2. Le caratteristiche morfologiche generali dell'asta fluviale

Le caratteristiche morfologiche generali del Po nel tratto di interesse, compreso tra foce Tanaro e foce Arda (Figura 2.1) possono essere ben rappresentate elaborando in forma integrata le informazioni che scaturiscono dall'andamento planimetrico e altimetrico dell'alveo, dalle caratteristiche granulometriche dei suoi sedimenti e dai valori di portata a piene rive dell'alveo inciso.



Figura 2.1 – Planimetria generale del F. Po nel tratto di interesse.

Nel grafico superiore di Figura 2.2 è mostrato in modo schematico il profilo altimetrico della pianura alluvionale da confluenza Tanaro a confluenza Arda, calcolato lungo il tracciato linearizzato del Po, mentre nella stessa Figura 2.2 in basso è indicato il corrispettivo profilo altimetrico del fondo alveo del Po, calcolato lungo l'effettivo sviluppo dell'alveo fluviale, assai più lungo di quello rappresentativo del piano campagna a causa dei grandi meandri che il Po presenta attualmente nel tratto compreso tra foce Tidone a foce Arda.

Come si nota la pianura alluvionale presenta:

1. da foce Tanaro a circa 10 km a monte di foce Terdoppio una pendenza media dell'ordine dello 0,6 ‰;
2. nel tratto successivo fino a foce Ticino una pendenza media dell'ordine dello 0,4 ‰;
3. da foce Ticino a foce Tidone una pendenza media dell'ordine dello 0,1 ‰;
4. da foce Tidone alla traversa di Isola Serafini una pendenza media dell'ordine dello 0,5 ‰;
5. dalla traversa di Isola Serafini a foce Arda una pendenza media ancora dell'ordine dello 0,5 ‰.

Risulta quindi che la pendenza media della pianura alluvionale, che normalmente diminuisce verso valle, qui invece presenta nel tratto 3 una pendenza molto minore degli altri tratti di monte e di valle.

In effetti, come più oltre messo in luce dall'analisi geomorfologica, all'altezza del meridiano passante per Port'Albera, e quindi al termine del tratto 3, il Po intacca il substrato lapideo pre-quadernario, localmente rappresentato dalla "culminazione assiale" esistente in continuità con la struttura geologica sepolta costituente il "Colle di S. Colombano" e lo "Sperone di Stradella". La ridotta pendenza della piana alluvionale

nel tratto 3 è quindi provocata dalla presenza della soglia naturale costituita dalla citata formazione. A valle di essa la pendenza della piana si riporta infatti su un valore medio del 5 per diecimila.

Tale riduzione di pendenza, unita alle differenti portate medie veicolate dal Po, crescenti ovviamente verso valle per il contributo degli affluenti, tra i quali è notevole quello del Ticino, comporta differenti tendenze morfologiche dell'alveo inciso del Po, che da monte a valle passa da un alveo rettilineo pluricursale (braided), ad un alveo ancora pseudo-rettilineo ma monocursale, per assumere quindi una morfologia chiaramente a meandri.

Le differenti morfologie sono anche correlate alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti. Le ghiaie e sabbie grossolane, che dal tratto di monte e dagli affluenti pervengono in Po lungo il primo tratto dopo il Tanaro, riescono a essere movimentate solo nell'ambito del tratto stesso, dotato di adeguata capacità di trasporto, ma non nei tratti successivi in cui la minore capacità di trasporto legata alla minor pendenza fluviale consente il trasporto e l'equilibrio in alveo solo delle sabbie fini.

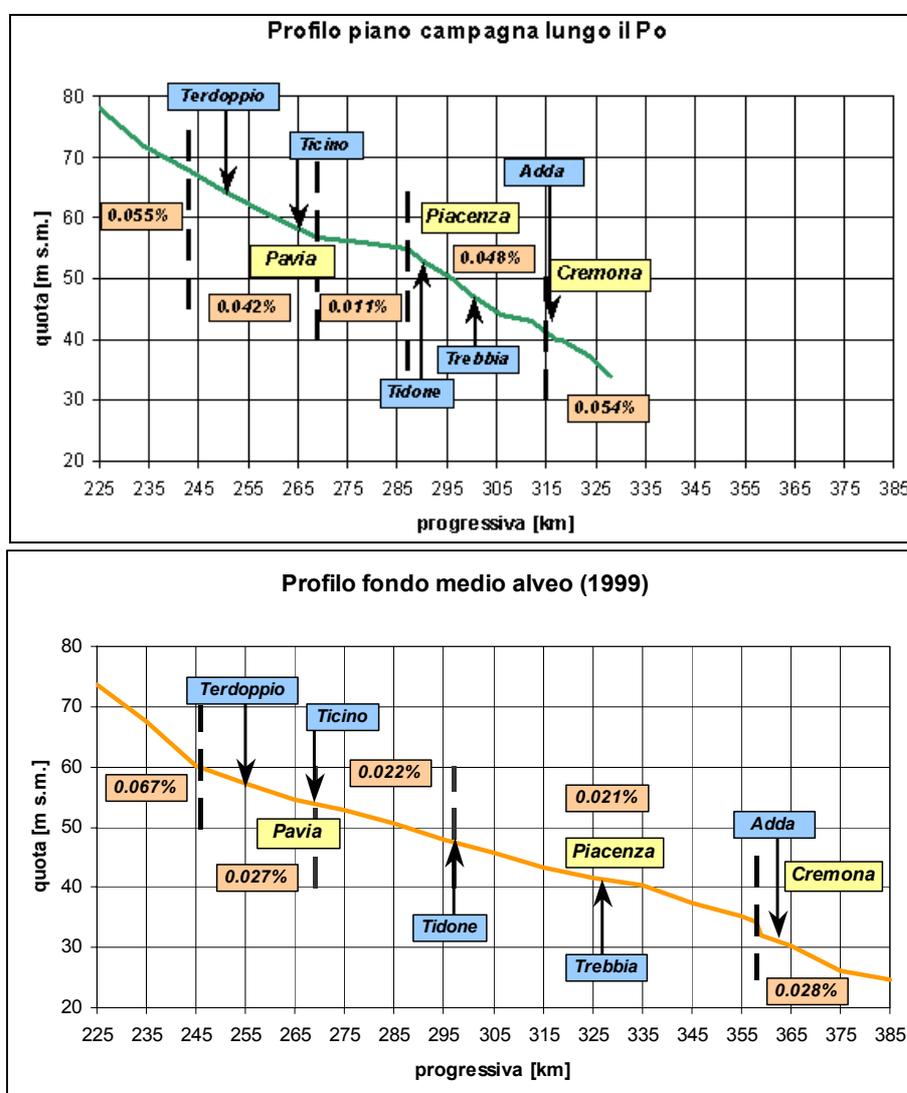


Figura 2.2 – Profili longitudinali generali della piana alluvionale e del F. Po nel tratto di interesse.

L'alveo inciso del fiume presenta infatti oggi un profilo altimetrico (Figura 2.2 in basso) così caratterizzato:

1. nel tratto che va da foce Tanaro a circa 10 km a monte di foce Terdoppio (località Pancarana) la pendenza media è dell'ordine dello 0,6 – 0,7 ‰ e quindi poco maggiore di quella della pianura; in tale tratto infatti il fiume scorre con andamento pressoché rettilineo, con morfologia di tipo intrecciato pluricursale (braided) (Figura 2.3);
2. nel tratto successivo fino a foce Ticino la pendenza media è dell'ordine dello 0,3 ‰ e quindi poco minore di quella della pianura; in tale tratto infatti il fiume scorre ancora con andamento pseudo-rettilineo pur manifestando un assetto curvilineo poco accentuato; la morfologia è qui decisamente monocursale;
3. nel tratto successivo fino a foce Tidone la pendenza media è dell'ordine dello 0,2 ‰ e quindi poco differente da quella della pianura che, come prima esposto, è fortemente ridotta rispetto a quella dei tratti precedenti a causa della soglia naturale prima citata; in tale tratto infatti il fiume scorreva anticamente con andamento fortemente meandriforme, come dimostrano le cartografie storiche precedenti alle carte Brioschi e come è testimoniato dai numerosi relitti degli antichi meandri riscontrabili sul territorio circostante il Po (Figura 2.4); gli imponenti fenomeni migratori che caratterizzavano i meandri di questo tratto indussero alla costruzione di argini, difese spondali e interventi di taglio artificiale dei meandri, fortemente condizionanti la naturale tendenza del fiume e condussero alla formazione di un alveo quasi rettilineo, come testimoniato dalla cartografia Brioschi e dallo stato attuale (v. ancora la Figura 2.4); analogamente, nel tratto successivo fino alla traversa ENEL di Isola Serafini e poi fino a foce Arda la pendenza media è dell'ordine dello 0,2 – 0,3 ‰ e quindi ancora ben inferiore a quella della pianura; in questo tratto il fiume scorre ancora oggi con andamento fortemente meandriforme, anche se i fenomeni di migrazione di tali meandri non sono oggi più possibili a causa delle arginature e delle difese spondali.

Come già detto, è molto interessante riscontrare tali caratteristiche morfologiche confrontando le cartografie attuali con le cartografie storiche di Brioschi del diciannovesimo secolo, in un'epoca cioè in cui i vincoli antropici, pur presenti, erano ben minori di quelli attuali.

A titolo di esempio in Figura 2.5 (in basso) è riportato il tratto a meandri immediatamente a valle di Piacenza e prima della traversa di Isola Serafini nelle due configurazioni del 1853 e dei giorni nostri.

L'esame visivo delle due cartografie evidenzia come la presenza delle arginature realizzate immediatamente a tergo della sponda sinistra (per il meandro di monte) e della sponda destra (per quello di valle) abbia notevolmente vincolato l'assetto planimetrico dell'alveo del corso d'acqua impedendo di fatto la naturale migrazione verso valle del meandro medesimo e provocando il vistoso schiacciamento della curva caratteristico dell'attuale assetto. Tale configurazione innaturale, caratterizzata dalla presenza di curvature molto accentuate, è stata inoltre nel tempo bloccata a causa della realizzazione di opere di protezione spondale a difesa di entrambe le sponde.

L'assetto planolaltimetrico dei due meandri che si è venuto a creare ed in particolare il fatto che in corrispondenza della confluenza del fiume Nure le portate che interessano l'alveo inciso siano obbligate a compiere una curva brusca di circa 180°, ha generato in corrispondenza della suddetta confluenza una buca di profondità pari a circa 20-30 m, con evidenti problemi per la stabilità dell'opera di difesa spondale e dell'argine maestro posto a tergo della stessa.

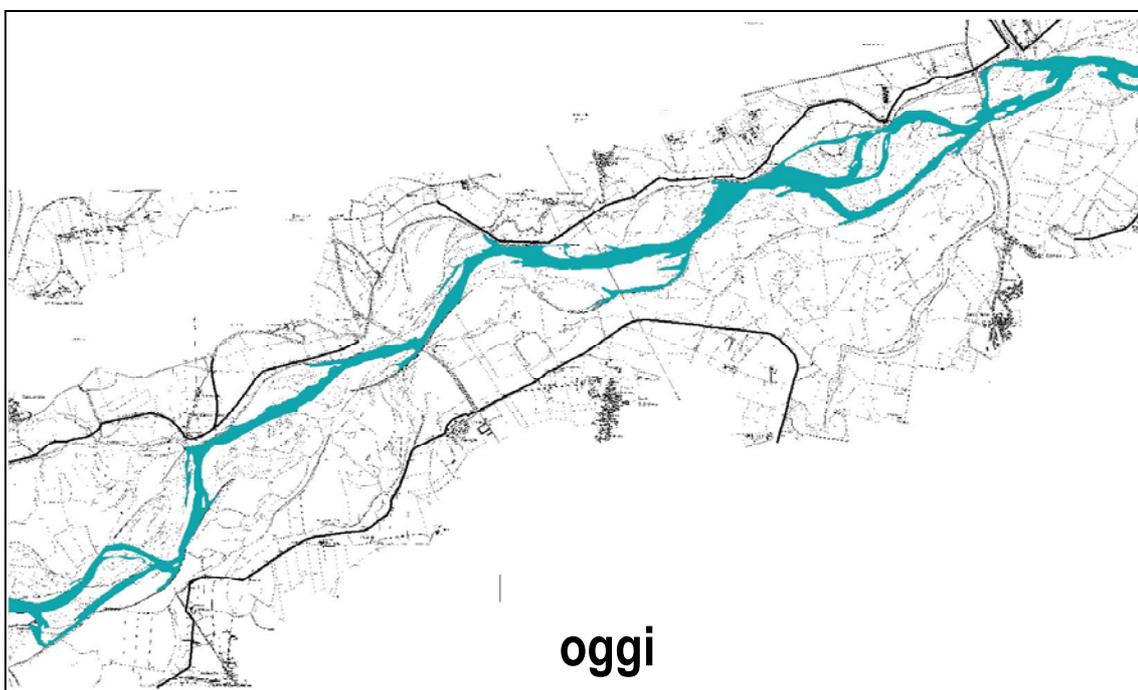
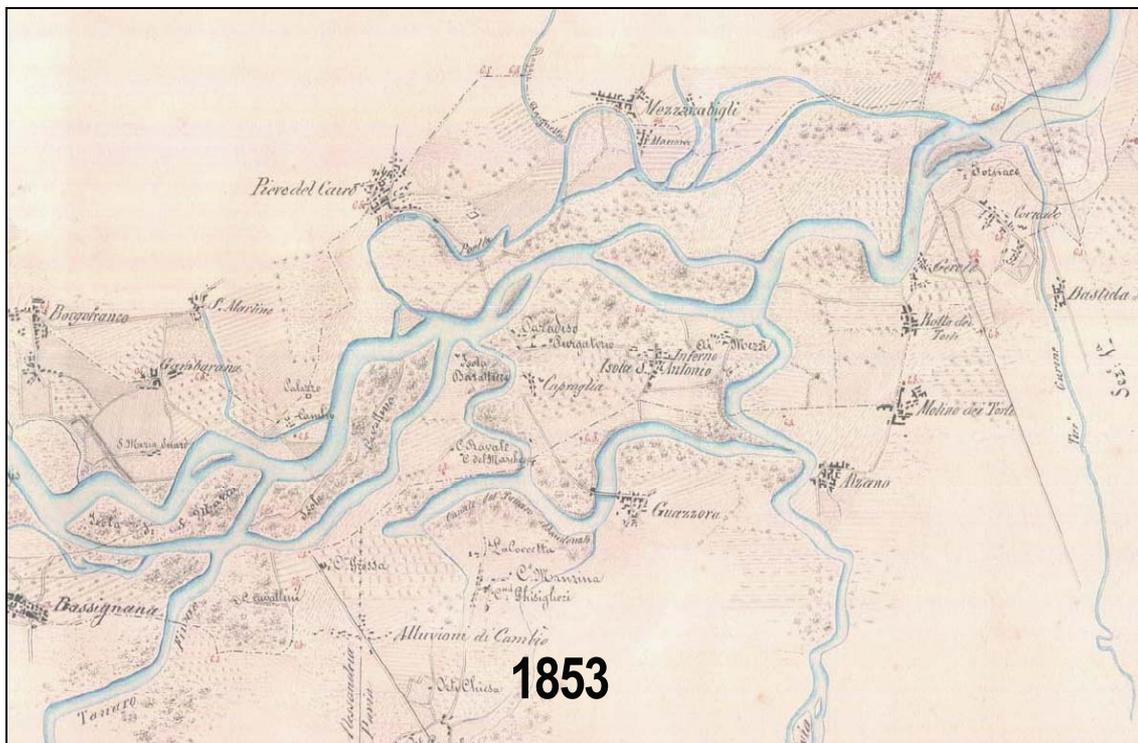


Figura 2.3 - Il tratto pluricursale a valle di foce Tanaro nella carta Brioschi del 1853 e quello attuale.

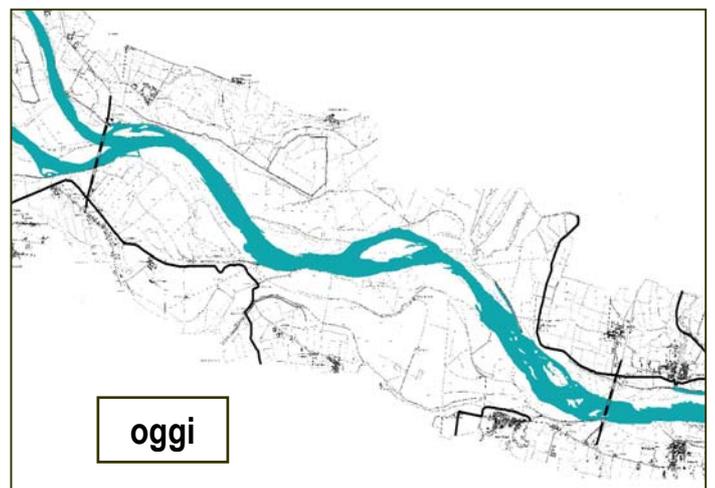
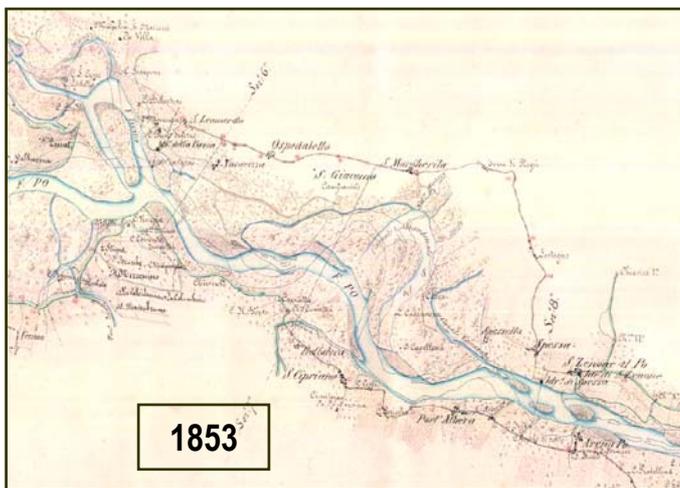
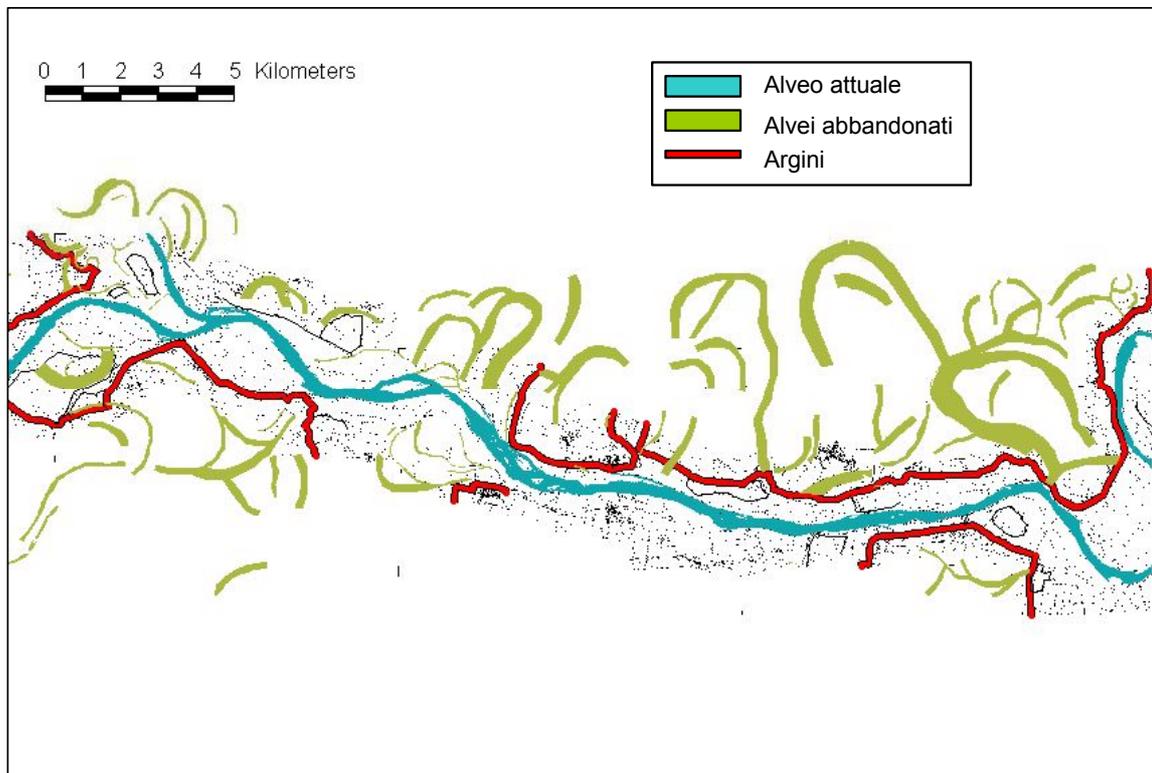


Figura 2.4 - Antichi meandri morti nel tratto tra foce Ticino e foce Tidone e il successivo andamento quasi rettilineo documentato nella carta Brioschi del 1853 ed attuale.

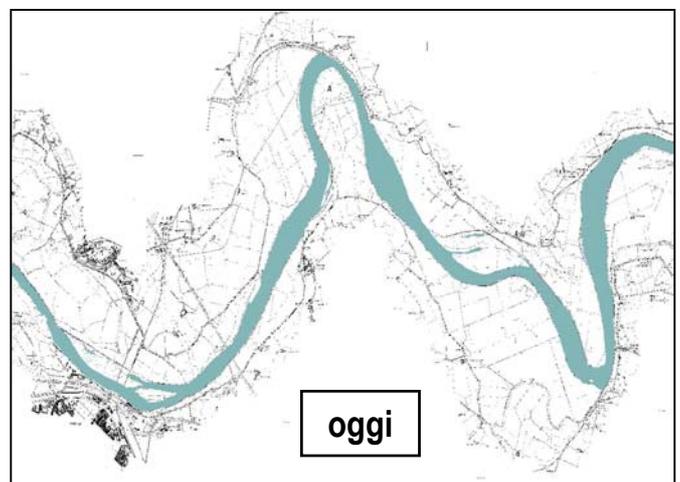
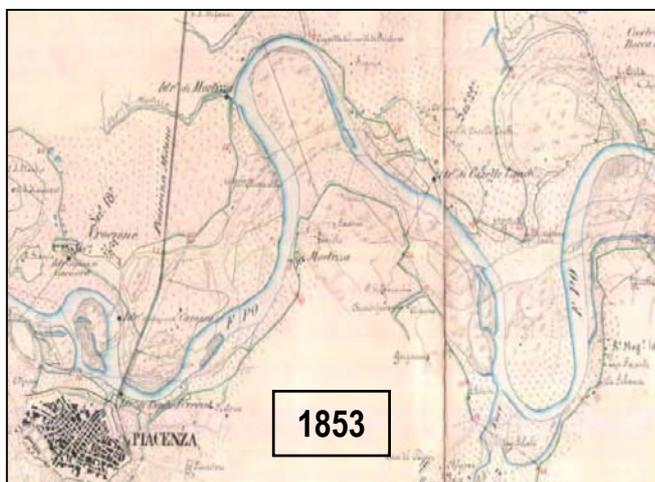
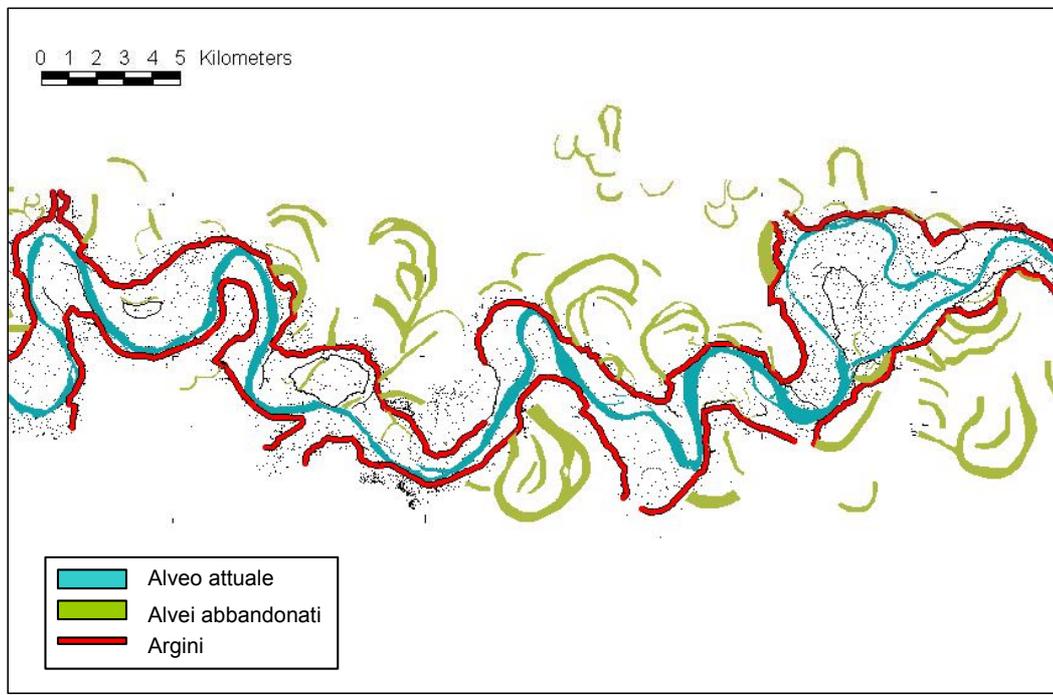


Figura 2.5 - In alto gli antichi meandri morti e l'attuale alveo meandrizato tra foce Tidone e foce Adda; in basso la cartografia Brioschi del 1853 e lo stato attuale del tratto a valle di Piacenza.

3. I dati topografici e aerofotogrammetrici

Nel corso delle attività di studio condotte dall'Autorità di bacino ed in particolare in quelle propedeutiche alle predisposizioni del Programma generale di gestione dei sedimenti è emersa la centralità delle problematiche relative al rilevamento sistematico della morfologia dei corsi fluviali e delle aree inondabili nella prospettiva della progettazione di una rete di monitoraggio planoaltimetrico dell'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua ed al fine del recupero delle informazioni topografiche storiche.

La criticità maggiore è imputabile all'assenza, per gran parte dei corsi d'acqua principali del bacino, di reti topografiche di appoggio, costituite da capisaldi realizzati e materializzati in modo soddisfacente, di riferimento per i rilievi storici dei corsi d'acqua.

Per il fiume Po, data la complessità delle dinamiche evolutive da indagare e in ragione della importanza delle serie di dati storici disponibili, si è proceduto, anche in attuazione a quanto previsto dall'Accordo per la gestione dei sedimenti del 5 ottobre 2004, ad una estesa e dettagliata campagna di rilievi condotta in collaborazione con l'Agenzia Interregionale per il Po (vedi paragrafo 3.1).

Il programma di rilievi ha interessato, per stralci, l'intera fascia golenale di Po, a partire dalla confluenza Pellice sino al mare, ed in particolare le campagne di rilievi sono state le seguenti:

Tipo di rilievo	Prodotti	Anno	Ambito	Ente appaltante
Rilievo laser-scan	DSM cella 2x2 m DTM cella 2x2 m Breaklines Ortofotocarta pixel 20 cm	2004	fascia C di Po da confluenza Pellice a confluenza Ticino	AdbPo
Rilievi topografici tradizionali	Rete di raffittimento planoaltimetrica della rete IGM95 Sezioni topografiche trasversali Rilievo dello 0 idrometrico Rilievo dei profili arginali	2004	fascia C di Po da Torino a confluenza Ticino	AIPO
Rilievo laserscan	DSM cella 2x2 m DTM cella 2x2 m DTM batimetrico cella 2x2 m Breaklines Ortofotocarta pixel 20 cm	2005 in corso	fascia B di Po da confluenza Ticino all'incile del Po di Goro (Comune di Ariano nel Polesine)	AdbPo
Rilievi topografici tradizionali	Rete di raffittimento planoaltimetrica della rete IGM95 Sezioni topografiche trasversali Sezioni topografiche dei manufatti di attraversamento Rilievo dello 0 idrometrico Rilievo dei profili arginali	2005 in corso	fascia B di Po da confluenza Ticino al mare	AIPO

Com'è possibile osservare dall'esame della tabella sopra riportata i rilievi a valle della confluenza Ticino sono stati solo recentemente terminati o sono ad oggi in corso di ultimazione. L'indisponibilità di tali dati ha fatto sì che parte delle valutazioni sulle dinamiche morfologiche e di trasporto solido di seguito rappresentate nel documento

sono state effettuate con i dati di rilievo e le informazioni pregresse a quelle della nuova campagna oggi in corso di ultimazione. Il fatto comunque di aver condotto in parallelo le attività di rilievo con quelle di analisi idraulica e geomorfologica ha avuto il grosso vantaggio di poter tarare in funzione delle esigenze del metodo di valutazione del bilancio del trasporto solido sia le attività di rilievo medesime sia in particolare le modalità di restituzione dei dati.

La disponibilità comunque dei nuovi dati di rilievo (ad esempio DTM e batimetrie) anche se per aree circoscritte ha consentito sia di confrontare e verificare l'adeguatezza delle analisi sul trasporto solido condotte alle finalità del presente Programma generale che di definire le successive operazioni di monitoraggio e affinamento delle valutazioni condotte mediante l'utilizzo delle nuove modalità di rilievo.

Nei paragrafi di seguito riportati si descrivono brevemente le attività di rilievo avviate e in corso di ultimazione.

3.1 I rilievi topografici tradizionali

Le attività di rilievo topografico, realizzate da AIPO, si integrano con l'attività di modellazione geometrica del territorio di pertinenza del Fiume Po realizzata dall'Autorità di bacino del fiume Po con il volo Laser Scan (descritta nel successivo paragrafo).

Il rilievo topografico delle sezioni trasversali è stato progettato al fine di rispondere alle seguenti esigenze di uso:

- la modellazione idraulica (ottenuto curando la posizione, l'orientamento e la lunghezza della sezione);
- il confronto tra rilievi storici, per verificare le modificazioni dell'alveo (ottenuto verificando la coincidenza con le sezioni storiche disponibili);
- l'aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento del PAI (ottenuto posizionando almeno una sezione in corrispondenza delle sezioni delle Fasce Fluviali nel PAI).

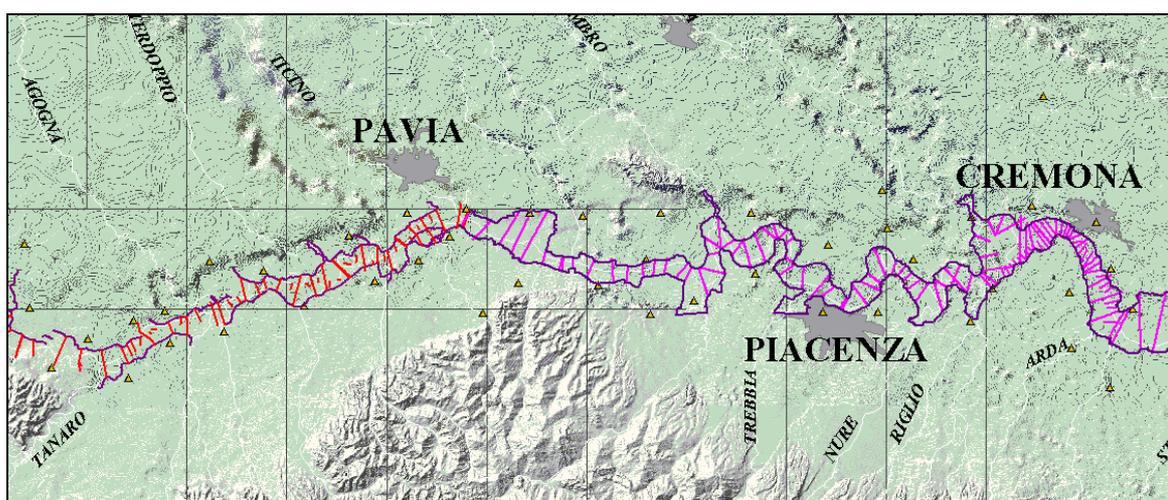


Figura 3.1 - Rilievi topografici AIPO nell'area di indagine

Il rilievo è stato inquadrato nel sistema IGM95 mediante la realizzazione di una rete di raffittimento secondo le specifiche approntate dall'Intesa Stato Regioni.

La rete di raffittimento consiste in una serie di vertici a distanza non superiore a 5 km rilevati e compensati nel sistema di riferimento WGS84 (ETRF89). Di tali vertici sono state determinate le coordinate nel sistema cartografico nazionale Roma40 in modo da garantire il collegamento con i rilievi eseguiti in epoche precedenti e con le cartografie alle scale 1:10000 e 1:5000 di proprietà dell'A.I.PO.

Planimetricamente i vertici della rete di raffittimento presentano s.q.m. delle coordinate inferiori a ± 3 cm. L'altimetria dei vertici della rete di raffittimento è stata realizzata mediante misure di livellazione geometrica garantendo s.q.m. pari a ± 5 cm.

Le quote ortometriche dei vertici della rete sono state utilizzate per definire il modello del geoide locale di tutta l'area interessata dalle operazioni di rilievo. La localizzazione del geoide è stata eseguita dall'Istituto Geografico Militare.

Le sezioni trasversali sono costituite da due distinte tipologie di punti: i vertici della sezione e i punti di dettaglio della sezione.

I vertici delle sezioni sono punti che sono stati documentati da monografie e collegati direttamente con misure sovrabbondanti alla rete di raffittimento in modo da mantenere le medesime caratteristiche di precisione ai vertici di quest'ultima.

I punti di dettaglio della sezione sono invece posizionati lungo la congiungente i vertici di sezione e su di essi la precisione altimetrica è espressa da valori di s.q.m. inferiori a ± 15 cm.

Nelle zone prive d'acqua i punti vengono posizionati in modo da descrivere adeguatamente la morfologia della sezione e comunque il dislivello massimo tra punti adiacenti non supera i 50 cm. Nelle zone con presenza d'acqua è stato eseguito un rilievo batimetrico utilizzando aste graduate nei tratti agibili a guado ed ecoscandagli digitali nelle zone agibili solo mediante imbarcazioni. In ogni caso i punti di batimetria presentano distanze planimetriche massime di 2 m nelle zone accessibili a guado e di 5 m nelle zone rilevate con ecoscandaglio.

Lo scostamento planimetrico dei punti rilevati per definire il dettaglio della sezione sono stati posizionati in modo da non essere a distanze superiori a 1 m (nelle zone accessibili) e 5 m (nelle zone batimetriche rilevate con ecoscandaglio) rispetto alla retta congiungente i vertici di sezione.

Nelle sezioni in cui è presente un'asta idrometrica è stata determinata la quota ortometrica dello zero idrometrico con s.q.m. pari a ± 5 cm.

Di tutti i manufatti presenti nella fascia B del P.A.I. è stato realizzato un rilievo strutturale che evidenzia per ogni infrastruttura le caratteristiche dimensionali utili a definire le sezioni libere di scorrimento delle acque in caso di piena.

I profili arginali sono stati determinati mediante una serie di punti idonea alla descrizione altimetrica degli stessi; in ogni caso la distanza massima dei punti non supera planimetricamente i 100 m e il dislivello tra punti adiacenti è ovunque inferiore a 25 cm.

Tutte le misure sono state eseguite, ove possibile con tecniche GPS (Global Position Systems) cinematiche e la riduzione delle quote ellissoidiche alle quote ortometriche è stata realizzata utilizzando il modello di geoide locale stimato con i dati provenienti dalla rete di raffittimento.

Complessivamente sono state rilevate 562 sezioni (248 nel tratto Torino confluenza Ticino e + 314 nel tratto confluenza Ticino mare) e circa 1500 km di arginature.

3.2 Il rilievo laser-scan

Lo sviluppo che ha caratterizzato in questi anni le tecniche della geomatica ha offerto la possibilità di individuare nuove metodologie per la realizzazione di modelli tridimensionali del terreno (DTM) sempre più dettagliati, riducendo in modo sensibile i tempi di acquisizione delle informazioni e gli investimenti necessari per poter monitorare l'evoluzione della regione di pertinenza fluviale a intervalli di tempo regolari o in seguito al verificarsi di eventi di piena significativi.

Per i motivi sopra esposti l'Autorità di bacino del fiume Po ha ritenuto necessario dotarsi di moderni strumenti di modellazione tridimensionale del territorio realizzati utilizzando la tecnologia Laser quale tecnica primaria di acquisizione del dato tridimensionale del terreno.

I lavori sono stati finalizzati alla determinazione dell'assetto plano-altimetrico del territorio di pertinenza fluviale del fiume Po, definito da grigliati a maglia pari a 2 m e 10 m, rappresentazione geometrica del terreno, e dall'insieme delle breaklines, il tutto acquisito con precisioni in quota pari a 20 cm.

Le operazioni di rilievo, sono inquadrare nella rete geodetica nazionale IGM95, e più in particolare nella rete appositamente realizzata da AIPO. Il datum geodetico scelto è WGS84 e il sistema cartografico è UTM fuso 32 per tutta l'estensione del rilievo. Tutti i dati sono inoltre stati anche trasformati nel sistema cartografico UTM ED50 per un agevole confronto con altri rilievi eseguiti in epoche precedenti.

Particolare attenzione è stata posta nella individuazione delle breaklines (Figura 3.2) che delimitano le discontinuità del terreno, in particolare le strutture sovra/sottomontanti (Figura 3.3), e nelle operazioni di interpolazione spaziale per la creazione del DTM con maglia pari a 10 m, alla luce del fatto che tali strutture condizionano in modo rilevante le modalità di deflusso e di laminazione delle piene.

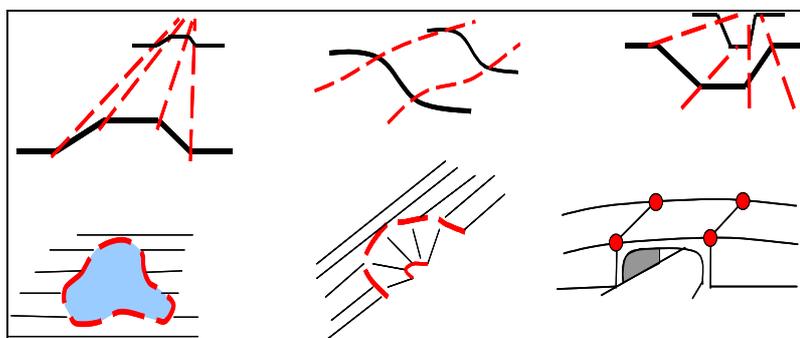


Figura 3.2 – Breaklines

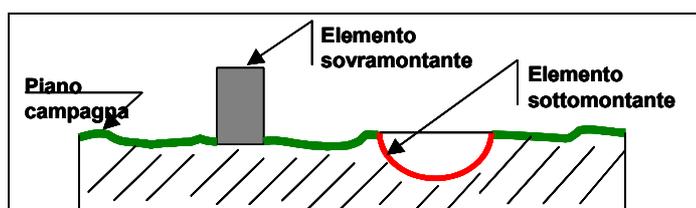


Figura 3.3 - Elementi sovra - sottomontanti

Le operazioni di rilievo della regione fluviale del fiume Po sono state eseguite in due anni, nel 2004 si è proceduto al rilievo del terreno compreso nella fascia C del Po nel tratto che va da confluenza Pellice a confluenza Ticino (Sup. = 736 km², Lung. asta = 234 km, vedi Figura 3.4, in azzurro).

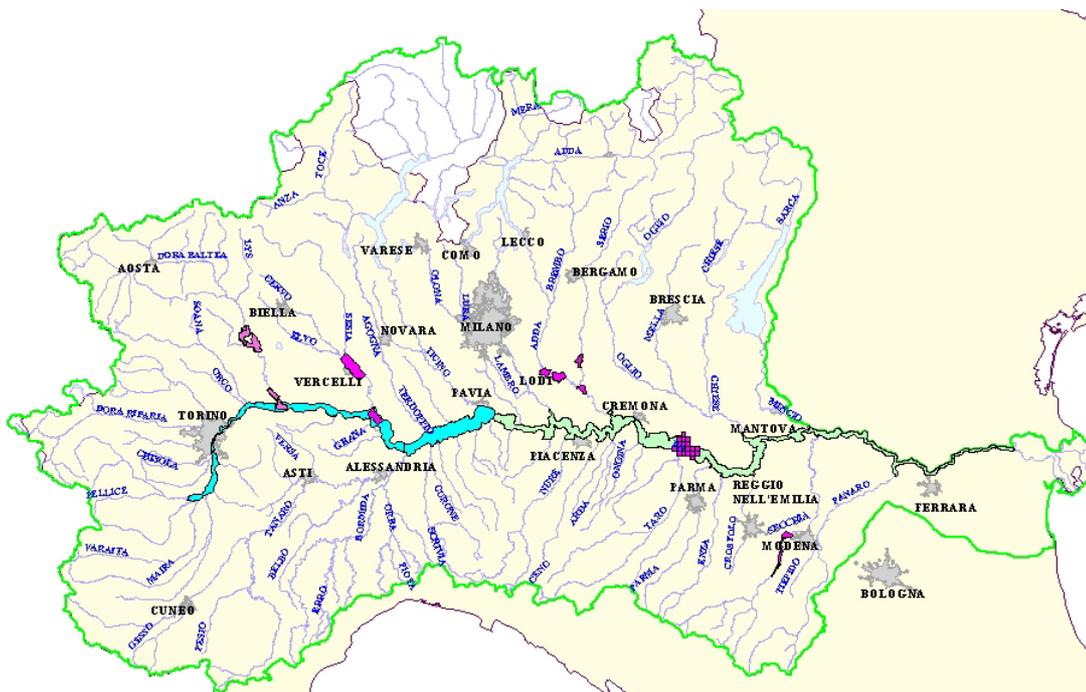


Figura 3.4 – I DTM nel bacino del fiume Po

Nel 2005 è stato rilevato il terreno ricadente in fascia B del fiume Po, nel tratto che va da confluenza Ticino al Comune di Ariano nel Polesine (Sup. = 550 km², Lung. asta = 200 km, vedi Figura 3.4, in verde), oltre alle batimetrie dell'alveo sommerso, attraverso l'ausilio di tecnologie multibeam.

I rilievi sono state eseguiti utilizzando due sensori LIDAR aviotrasportati aventi diverse caratteristiche: lo scanner ALTM 3033 della Optech e lo scanner Falcon II della Toposys. In entrambi i casi sono state registrate le risposte al primo e ultimo impulso in modo tale da poter selezionare automaticamente sia il DSM (modello superficiale) sia il DTM (modello del terreno).

Il rilievo LIDAR è stato integrato da un volo fotogrammetrico stereoscopico con ricoprimenti standard in modo da poter realizzare per tutta l'area di interesse sia i modelli stereoscopici sia le ortofotocarte a grande scala per completare e integrare le informazioni provenienti dai sistemi LIDAR sia in fase di elaborazione sia in fase di consultazione finale. I voli sono stati eseguiti in epoche prossime alle date di effettuazione delle riprese LIDAR.

I prodotti principali sono, oltre al dato grezzo di rilievo, un DSM (passo 2m), due DTM (passo 2m e passo 10m), il DTM degli elementi sovra-sotomontanti e il DTM del terreno senza elementi sovra-sotomontanti, le breaklines, i modelli stereoscopici digitali e le ortofoto digitali a colori alla scala di riferimento 1:2.000 dell'intera zona interessata dalle operazioni di rilievo (Figura 3.5).

Per il tratto che va da confluenza Ticino al delta è inoltre disponibile un DTM a passo 2 m della batimetria del fondo alveo.



Figura 3.5 –Modelli stereoscopici digitale e orofotocarta

4. La caratterizzazione granulometrica e litologica dei sedimenti dell'alveo

Nel presente paragrafo si descrive la metodologia utilizzata e le attività effettuate per determinare le caratteristiche granulometriche e litologiche dei sedimenti, mentre si rimanda al cartogramma allegato per i risultati conseguiti (Allegato 1).

In sintesi, gli obiettivi principali dell'attività sono:

- valutazione della tipologia e dei quantitativi di materiali trasferibili dal sistema braided nei tratti a valle;
- valutazione della tipologia dei materiali apportati dagli affluenti principali e stima della possibilità che vengano presi in carico dal Po; stima della distanza, dalla confluenza, a cui possono essere trasportati dal F. Po; valutazione empirica della competenza e della capacità di trasporto del F. Po;
- valutazione della tipologia e dei quantitativi di materiali trasferibili dalle sponde alle forme di fondo e possibilità di trasporto a valle;
- definizione dell'origine delle ghiaie presenti come substrato delle barre e relativa dinamica deposizionale;
- definizione dei materiali presenti a valle di Isola Serafini al fine di confermare il trattenimento di gran parte del trasporto solido nei tratti a monte dello sbarramento.

4.1 I campionamenti effettuati

Il numero di campioni prelevati e la loro distribuzione spaziale sono stati determinati tenendo conto delle dinamiche attive dell'alveo del Fiume Po, del relativo assetto geomorfologico e della presenza di potenziali "fonti" di apporti solidi significativi (affluenti, tratti di sponda in erosione, presenza in affioramento del presunto substrato ghiaioso in cui il Po sembra aver impostato il proprio alveo).

Allo scopo di ottenere informazioni sulla tipologia di sedimenti trasportati dagli affluenti principali, sono stati eseguiti specifici campionamenti anche nell'alveo del T. Tanaro, T. Tidone e T. Trebbia, responsabili, nell'intero segmento fluviale in esame, dei principali apporti ghiaiosi.

Complessivamente sono stati realizzati 28 "stendimenti" distribuiti nei 5 "Tratti", da cui sono stati prelevati un totale di 99 campioni (sabbie, sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose). Per tutti i campioni prelevati sono state eseguite analisi finalizzate all'acquisizione delle seguenti caratteristiche:

- composizione granulometrica dei campioni e fuso rappresentativo di ogni tratto fluviale, nelle sue diverse componenti: alveo, sponde, barre, eventuale substrato (delle barre, delle sponde e/o dell'alveo di magra emerso);
- litologia della componente ghiaiosa;
- mineralogia e litologia della componente sabbiosa;
- morfometria dei componenti ghiaiosi e sabbiosi.

Allo scopo, sono state eseguite specifiche analisi granulometriche (per setacciamento), litologiche (petrografiche e mineralogiche).

4.2 La restituzione dei risultati

Ciascuna forma campionata (barra, alveo o sponda) viene descritta attraverso una o più schede descrittive di campagna, una o più schede contenenti i dati desunti attraverso le analisi di laboratorio ed una o più schede contenenti i risultati in forma grafica.

In particolare la scheda di campagna contiene informazioni relative ai caratteri litologici e morfologici dell'area di campionamento e alla vegetazione presente.

La scheda di laboratorio riporta le caratteristiche granulometriche, litologiche e mineralogiche dei depositi e le relative caratteristiche morfometriche.

Nella scheda dei grafici e dei risultati si evidenzia, in forma sintetica, la composizione granulometrica del campione, sia attraverso "curve di frequenza", sia mediante "curva cumulativa". In forma sintetica, è stato costruito anche un grafico riepilogativo delle caratteristiche morfometriche dei sedimenti. Un esempio è riportato nelle figure seguenti.

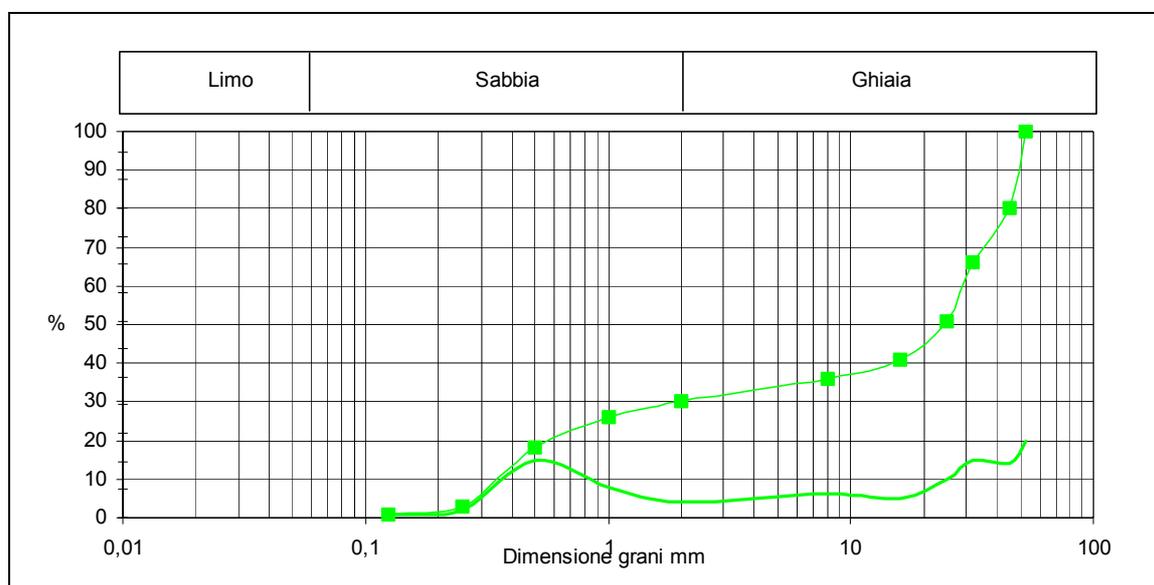


Figura 4.1 – Esempio di restituzione di curva granulometrica

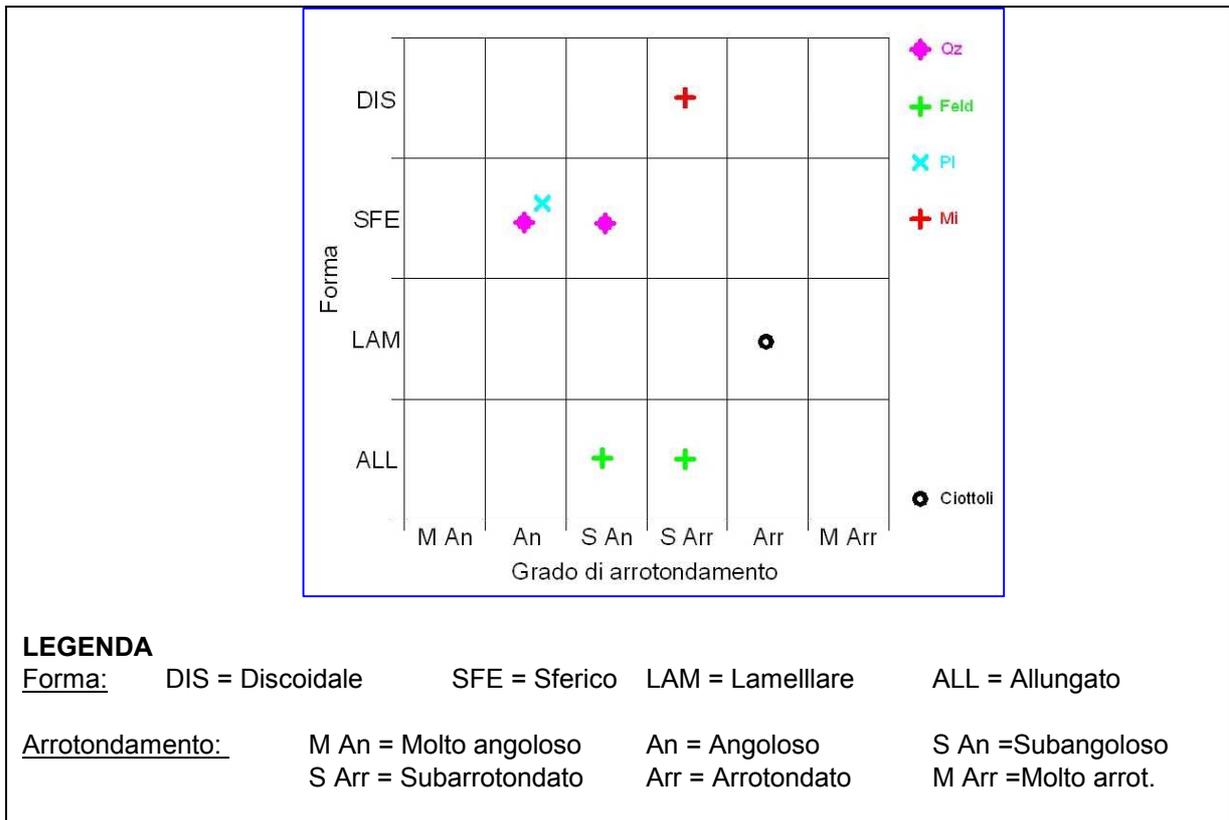


Figura 4.2 – Esempio di rappresentazione grafica della morfometria di un campione sabbioso-ghiaioso

Attraverso istogrammi e diagrammi a torta è stata visualizzata la composizione litologica delle ghiaie e la composizione mineralogica della relativa matrice sabbiosa.

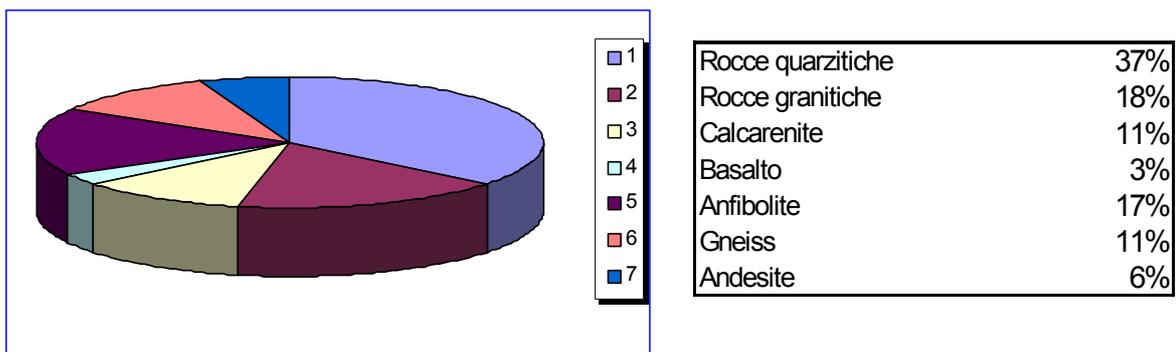
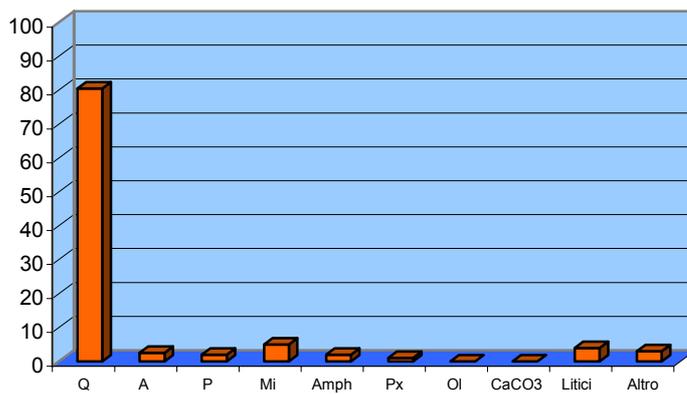


Figura 4.3 – Esempio di rappresentazione grafica della composizione litologia di una ghiaia



LEGENDA	
Q	= Quarzo
A	= Feldspati alcalini
P	= Plagioclasti
Mi	= Miche
Amph	= Anfiboli
Px	= Pirosseni
Ol	= Olivina
CaCO3	= Calcite
Litici	= Frammenti litici
Altro	

Figura 4.4 – Esempio di rappresentazione grafica della composizione mineralogica di una sabbia.

Nell'allegato 1 è riportato un cartogramma che rappresenta in forma sintetica le variazioni delle principali caratteristiche sedimentologiche rappresentative di ciascun tratto; nello stesso sono riportate:

- caratteristiche granulometriche, litologiche e sedimentologiche rappresentative di ciascun tratto omogeneo;
- variazioni composizionali da un tratto omogeneo all'altro;
- profilo schematico dei rapporti geometrici e stratigrafici interpretativi, caratterizzanti ciascun tratto omogeneo;
- descrizione sintetica delle caratteristiche granulometriche e litologiche di ciascun tratto omogeneo;
- descrizione sintetica delle modalità di trasporto solido in funzione dei risultati dell'analisi granulometrica, litologica e sedimentologica;
- descrizione sintetica degli indirizzi per la gestione dei sedimenti.

5. Il trasporto solido

5.1 *La modellistica utilizzata*

La rapida rassegna delle caratteristiche del Po nel tratto di cui trattasi, caratteristiche oltremodo variabili sia per le differenze prima citate nella naturale dinamica e morfologia fluviale, sia per la presenza di interventi antropici spesso secolari legati alle più diverse finalità, ha indotto grande circospezione nella scelta della metodologia di analisi della situazione in atto e delle tendenze evolutive.

Infatti è subito apparso come allo stato attuale delle conoscenze un'interpretazione dei fenomeni condotta solo mediante una modellistica matematica (pur utilizzando i pacchetti informatici più potenti oggi esistenti in materia di modellazione morfo-idraulica dei fiumi), potrebbe non essere in grado di cogliere tutta la complessità prima esposta dell'ambiente fluviale del Po e le influenze dell'antropizzazione cui esso è stato ed è tuttora soggetto.

Considerando che l'alveo inciso del Po è sede di fenomeni dinamici molto intensi sia nella migrazione dell'alveo, laddove essa ha possibilità di esplicarsi, sia per gli effetti erosivi e deposizionali provocati dalle variabili curvature dei filoni di corrente, una modellazione sufficientemente adeguata dovrebbe presentare le seguenti caratteristiche:

- la componente idrodinamica dovrebbe basarsi su schemi tridimensionali onde riprodurre, usufruendo di un reticolo di calcolo di idoneo dettaglio geometrico e conoscenza delle caratteristiche di scabrezza, il campo di moto che agisce nei tratti a curvatura più pronunciata in funzione della serie continua delle portate in alveo;
- tali campi di moto dovrebbero essere determinati considerando il moto di entrambe le fasi liquida e solida e quest'ultima in entrambe le modalità di trasporto di fondo e in sospensione;
- per determinare se le conseguenti azioni di trascinamento sul perimetro bagnato abbiano o meno la capacità di provocare fenomeni erosivi, sarebbe necessario riprodurre efficacemente le azioni sull'interfaccia liquido-solido in funzione delle condizioni di equilibrio dei sedimenti reali, essendo queste legate, ricordando solo alcuni degli aspetti più importanti, alla loro composizione granulometrica, alla loro successione stratigrafica, al loro grado di compattazione, alle condizioni di giacitura su sponda inclinata, al grado di imbibizione idrico in funzione dell'evoluzione dei tiranti idrici, alla loro eventuale coesione, alla presenza e tipologia della vegetazione e della connessa armatura del suolo determinata dall'apparato radicale;
- le ricordate infrastrutture antropiche dovrebbero esser rappresentate nella loro effettiva consistenza geometrica, idraulica e strutturale;
- per riprodurre sia l'evoluzione del passato sia quella futura dovrebbero essere ben rappresentati gli ingressi liquido-solidi dal tratto di monte del Po e dagli affluenti, nella loro dinamica temporale, nonché la localizzazione e l'entità delle attività di estrazione di inerti.

È evidente che un siffatto modello "perfetto" non è disponibile, anche se per qualche componente (ad esempio la componente idrodinamica su fondo mobile di tipo incoerente) i pacchetti oggi utilizzabili sono certamente assai potenti.

D'altra parte occorre sottolineare come una buona modellazione sia in ogni caso legata ad una conoscenza almeno altrettanto buona della realtà. Orbene nel caso del Po la situazione conoscitiva, peraltro oggi più favorevole rispetto a quella anche del passato più recente, è ben lontana dal consentire di mettere a punto una modellazione anche solo approssimata di tutti i complessi fenomeni prima citati.

In proposito, si consideri che:

- la conoscenza geometrica dell'alveo del Po al momento fornita solo dalle sezioni topografiche AIPO del 2004 da foce Tanaro a foce Ticino (n. 47 sezioni) e del 1999 da foce Ticino a foce Arda (n. 71 sezioni); in tutto 118 sezioni per circa 170 km, cioè meno di una al chilometro. Solo nel 2004 si è reso disponibile per il solo tratto a monte di foce Ticino un rilievo digitale del suolo (DTM) di ottimo dettaglio. Moltissimi elementi morfologici sono ancora oggi noti solo planimetricamente, mediante la fotointerpretazione delle riprese aeree, ma non con le loro caratteristiche altimetriche. I precedenti rilievi altimetrici delle stesse sezioni effettuati con successive campagne di misura forniscono un quadro conoscitivo dell'evoluzione del fiume sufficientemente valido per una rappresentazione complessiva, ma non per interpretare i fenomeni localizzati o per sostenere una modellazione di dettaglio;
- il ruolo dei vari tipi di vegetazione presenti nell'alveo del Po nei riguardi dell'erosione dei sedimenti è assai poco conosciuto;
- la dinamica degli apporti solidi dal tratto di monte del Po e dagli affluenti è stata quantificata (Hydrodata, 1995) con stime affette dalle citate incertezze topografiche, geometriche, geologiche, ecc. e solo in valori medi annui;
- la conoscenza delle estrazioni di inerti è nota in modo sintetico e in base ai soli dati di concessione.

Lo stato di fatto delle conoscenze appare pertanto ben lontano dal permettere una modellazione matematica dei fenomeni idrodinamici e sedimentologici avente sufficiente dettaglio, oltretutto considerando l'enorme difficoltà di rappresentare con tale modello un tratto di Po lungo ben 170 km circa.

In definitiva, sulla base di tali riflessioni, è emerso come fosse di gran lunga preferibile attestarsi al momento su una metodologia di analisi del reale, quindi di tipo sperimentale, il più dettagliata possibile e strettamente ancorata alle informazioni disponibili o comunque desumibili dalle osservazioni di campo, dalla quale ottenere la migliore conoscenza "fisica" del fiume attraverso l'interpretazione dell'evoluzione geomorfologica in atto per ogni singola forma presente nell'alveo inciso e la corrispondente rappresentazione del comportamento idraulico.

Tale approccio, infatti, presenta numerosi vantaggi: consente un deciso miglioramento delle conoscenze dello stato di fatto e delle sue tendenze evolutive, offre nuovi elementi per la messa a punto delle necessarie attività integrative di monitoraggio, permette la programmazione delle future attività di modellazione matematica differenziandone e classificandone le caratteristiche in funzione delle finalità e delle esigenze generali o locali.

L'approccio metodologico scelto si basa quindi su un'analisi multidisciplinare interfacciante l'analisi geomorfologica e l'analisi idraulica di ogni singolo elemento caratteristico naturale o antropico dell'alveo inciso.

Qualificante è anche la scelta temporale del periodo di analisi. Sebbene siano disponibili alcuni dati risalenti anche ai secoli passati, la necessità di ancorare l'analisi

a elementi di sufficiente certezza ha condotto a focalizzare l'attenzione sui periodi più recenti. Del resto la ricostruzione di dinamiche in epoche remote, ove le incertezze sui parametri fondamentali (es. estrazioni) hanno ordini di grandezza pari ai dati ricercati, non porterebbe spunti significativi per caratterizzare la vita prossima futura del fiume o per impostare un processo iterativo di sempre maggiore conoscenza e dettaglio. Per quanto detto e per la disponibilità di dati di discreta qualità (cfr. paragrafi successivi) si è optato per l'analisi basata sul periodo finale del secolo scorso (anni '80 e '90).

5.2 Il metodo per la stima del bilancio del trasporto solido

La determinazione del bilancio di trasporto solido del corso d'acqua è condotta seguendo un approccio di tipo modellistico-sperimentale, con l'obiettivo di fornire uno strumento di sintesi a tratti omogenei derivante da un'analisi di tipo puntuale.

Il bilancio del trasporto solido deriva dall'aggregazione lungo la progressiva, secondo lo schema riportato nella Figura 5.1 (all'interno delle frecce sono riportati i segni con i quali vengono considerate le diverse componenti rispetto alla determinazione della portata solida che prosegue verso valle), delle informazioni derivanti dagli studi geomorfologici, idraulici e tenendo conto degli apporti esterni e dei volumi estratti.

Le ipotesi di base del modello di trasporto solido si possono riassumere nei seguenti punti:

- periodo di indagine 1982-2002;
- quantificazione delle erosioni e deposizioni di sponda e di barra in base all'analisi geomorfologica delle tendenze evolutive dei singoli elementi puntuali;
- quantificazione delle erosioni e dei depositi sul fondo alveo in base all'analisi idraulica (confronti tra i profili di fondo medio);
- apporti provenienti dagli affluenti ricavati da uno studio del 1995 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po;
- estrazioni ricavate da archivi AIPO provinciali.

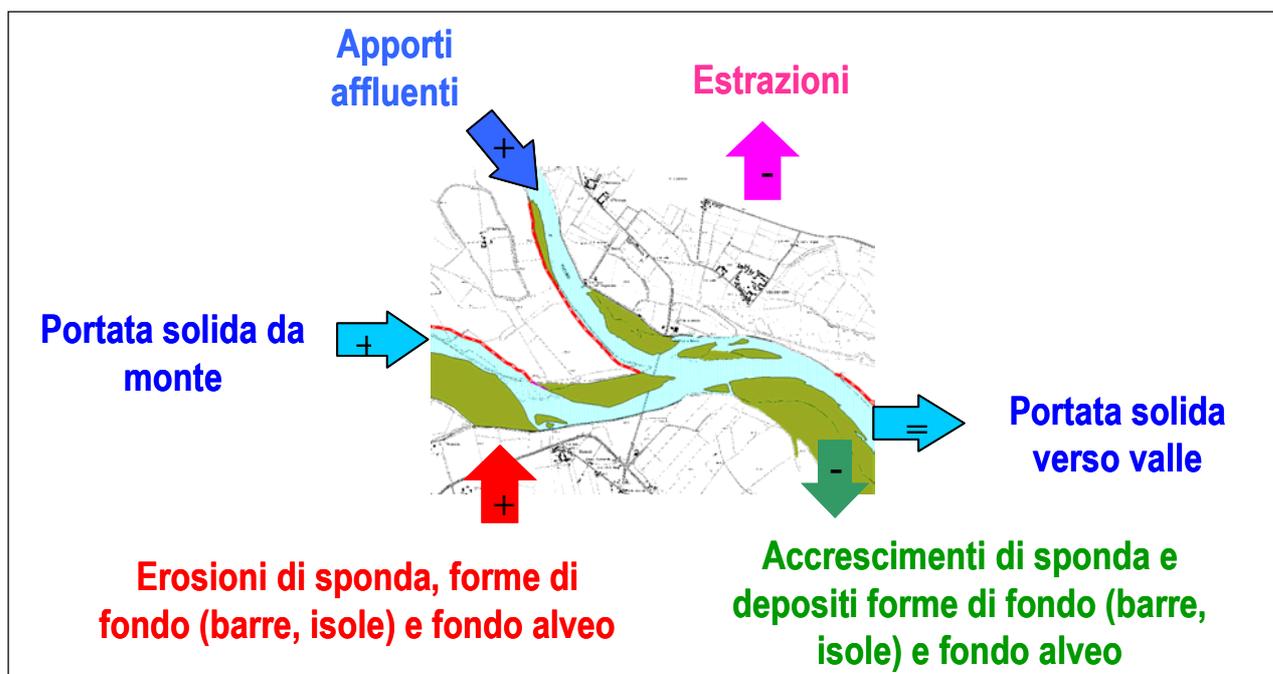


Figura 5.1 – Schema modello di analisi del bilancio del trasporto solido

5.3 L'analisi delle modificazioni planoaltimetriche delle sponde e delle forme emerse

Come già accennato in premessa, il modellamento dell'alveo inciso del fiume Po e in particolare delle sponde, delle forme di fondo (barre) e del letto dell'alveo di magra (di cui si tratterà nel successivo paragrafo 5.4), è quel fenomeno naturale attraverso il quale i sedimenti traslano dalle parti alte dell'asta fluviale fino al mare o, per le frazioni di sedimento più grossolane, alle zone di conoide interno.

Tali modificazioni sono il prodotto dell'azione combinata della successione di portate liquide di natura ordinaria e straordinaria.

L'analisi geomorfologica condotta sul fiume Po e finalizzata a valutare le dinamiche di trasporto solido ha preso in considerazione il ventennio 1982 – 2002, particolarmente significativo in quanto all'interno dello stesso si sono verificati due eventi di piena straordinaria (1994 e 2000) preceduti da periodi relativamente estesi (1980 – 1993) in cui l'attività del corso d'acqua è stata determinata essenzialmente dalle condizioni di regime ordinario o di magra.

L'analisi è stata supportata dalla seguente documentazione:

- “Carta geomorfologica del fiume Po” – CER 1982;
- “Carta geomorfologica del fiume Po” – AdBPo 2002;
- “Carta Tecnica Regione Lombardia (CTR)” – volo 1994 pre-alluvione '94;
- “DTM LaserScann, passo 2 metri” da confluenza Tanaro a Ponte della Becca – anno 2004;
- “Rilievi topografici” delle sezioni trasversali del F. Po – anno 1999 e 2004;
- “Rilievi aereofotogrammetrici scala 1:10'000 e 1:50'000” – anno 1988;
- “Fotografie aeree magra invernale del F. Po” – anno 2002;
- “Fotografie aeree magra estiva del F. Po” – anno 2003;
- “Fotografie aeree magra invernale del F. Po” – anno 2004.

Particolare rilevanza nell'ambito dell'analisi condotta, riveste la carta geomorfologica del fiume Po realizzata nel 1982 dal CER e recentemente aggiornata dall'Autorità di bacino del fiume Po, sulla scorta del volo di magra del febbraio 2002.

In tale cartografia (di cui è riportato un esempio nella Figura 5.2), sono rappresentate con particolare dettaglio le informazioni riguardanti l'alveo di magra, le sponde e le loro dinamiche in atto (erosione o avanzamento), le forme di fondo distinte in barre longitudinali (longitudinal bar), laterali (side bar), di flesso (cross-over bar) e di meandro (point bar). Il criterio con il quale sono state definite le sponde dell'alveo inciso e pertanto individuati i depositi di barra presenti all'interno dello stesso è di tipo geomorfologico basato su fotointerpretazione stereoscopica delle discontinuità planoaltimetriche e delle evidenze morfologiche presenti all'interno della regione fluviale.

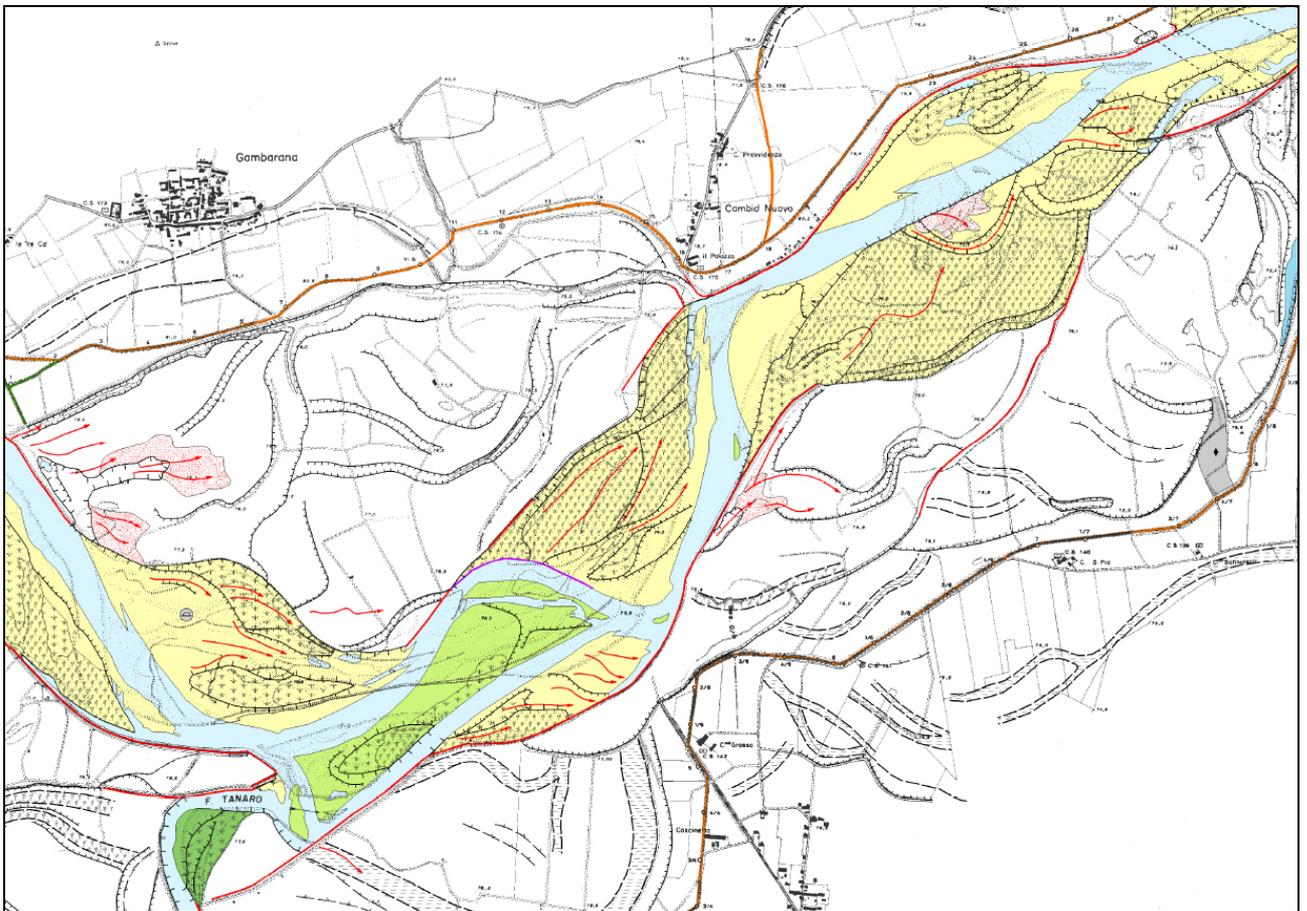
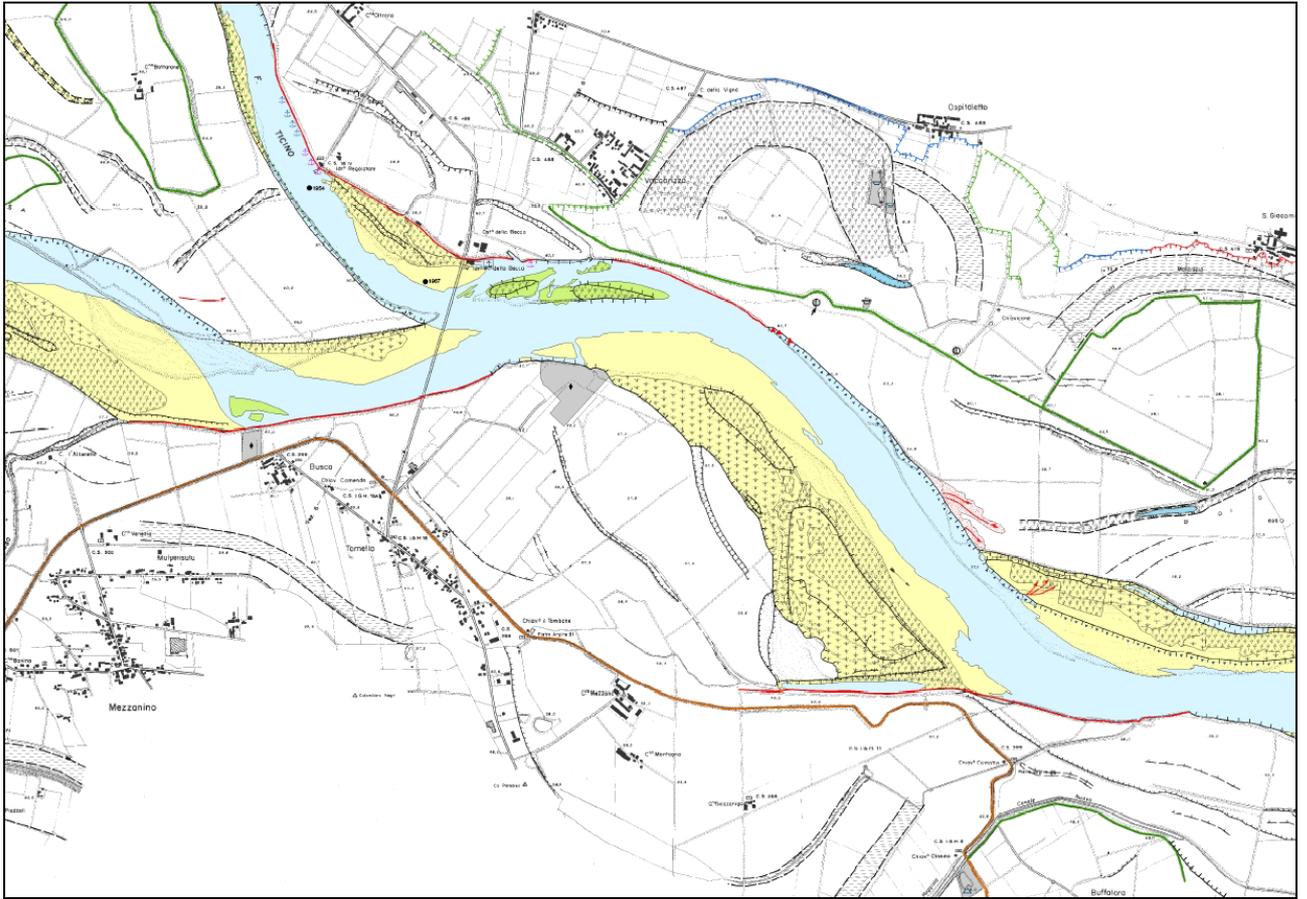


Figura 5.2 – Carta geomorfologica del 2002 (esempi a confluenza Ticino e confluenza Tanaro)

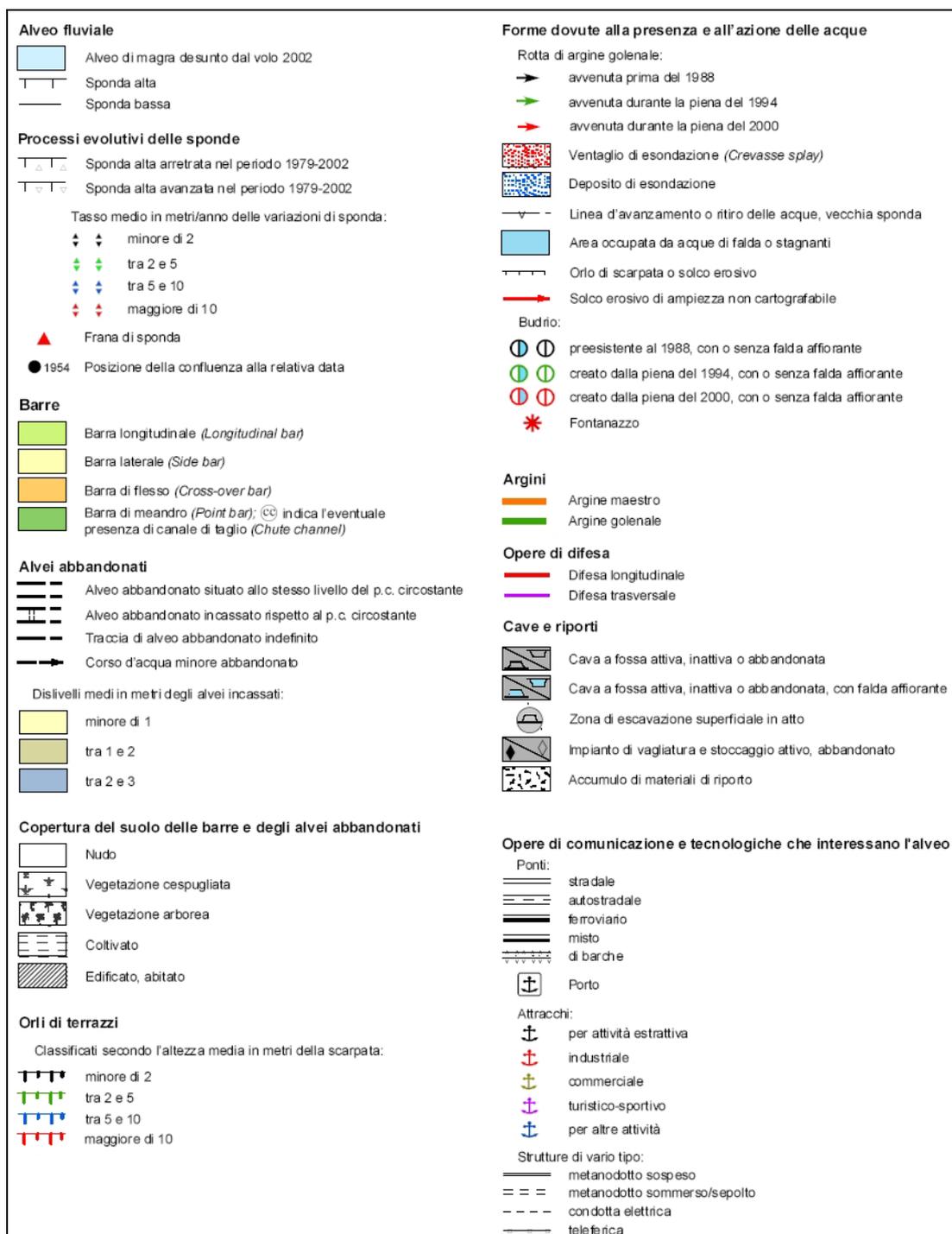


Figura 5.3 – Legenda della carta geomorfologia del 2002

5.3.1 La metodologia di analisi

La metodologia utilizzata si basa, in prima analisi, sul confronto delle modificazioni planimetriche delle forme di fondo e delle sponde (in termini di depositi o erosioni) intercorse tra la condizione rappresentata nella carta geomorfologica 1982 e quella aggiornata al 2002.

A partire da questa sovrapposizione planimetrica sono state poi condotte ulteriori analisi non direttamente riconducibili al semplice confronto tra le condizioni 1982 – 2002 e riguardanti in particolare:

1. la valutazione di stabilità o di potenziale rimobilizzazione delle forme di fondo;

2. la caratterizzazione dei fenomeni connessi all'attività ordinaria rispetto a quella straordinaria del corso d'acqua e della morfodinamica caratterizzante le diverse fasi di una piena (fase ascendente, colmo, fase discendente);
3. l'individuazione dei criteri per stabilire la tendenza evolutiva delle forme di erosione e deposito;
4. la quantificazione volumetrica delle modificazioni delle forme di erosione e di deposito.

L'analisi riportata nel punto "1" è stata condotta mediante l'analisi ed il confronto delle informazioni contenute nelle carte geomorfologiche disponibili ('82 e '02), relative alla tipologia geomorfologica della forma di fondo, al relativo grado di stabilizzazione e di vegetazione presente alle diverse date, integrate attraverso osservazioni dirette sul campo e confronto con informazioni intermedie, desumibili dai voli e dalle cartografie pregresse.

Infatti, in generale, barre caratterizzate da una rimozione e sostituzione periodica della porzione corticale di sedimento (corrispondente in generale alla parte emersa, rispetto alla quota di magra) non riescono a essere colonizzate da una vegetazione in grado di evolvere, più o meno rapidamente, da una tipologia pioniera verso una vegetazione arborea, stabile, dotata di un apparato radicale in grado di resistere alle sollecitazioni idrauliche esercitate dalla corrente fluviale. Tale condizione è più accentuata nei casi in cui la superficie della barra possa essere sommersa anche per modeste portate di piena, riconducibili all'attività ordinaria del corso d'acqua.

Per definire il grado di stabilità di una forma di fondo è stato seguito il seguente processo diagnostico:

- a) persistenza temporale della forma nel periodo di osservazione, in molti casi associata ad estensione planimetrica della stessa;
- b) persistenza temporale di una vegetazione arborea, stabile e/o evoluzione della vegetazione da cespugliosa verso una vegetazione arborea, stabile;
- c) connotazioni geomorfologiche locali del corso d'acqua potenzialmente favorevoli al mantenimento e/o all'accrescimento della forma nel breve e medio periodo (ad es.: sponda convessa di un'ansa meandrica; sponda in curva convessa; presenza di opere idrauliche che favoriscono il deposito; presenza di ostacoli naturali e/o artificiali che favoriscono il deposito).

L'analisi riportata al punto "2" è stata impostata attraverso la valutazione del peso che l'attività ordinaria (riconducibile alla normale attività stagionale del corso d'acqua) e straordinaria (riconducibile ai grandi eventi di piena con medio e lungo periodo di ritorno) hanno nel controllo della configurazione morfologica delle forme di erosione e deposito presenti nell'alveo inciso. Allo scopo è stata individuata una rappresentazione cartografica, precedente alla piena del 1994, costituita, nella fattispecie, dalla fotorestituzione in scala 1:10'000 della Carta Tecnica della Regione Lombardia. Questa è infatti rappresentativa delle condizioni morfologiche dell'alveo riscontrabili poco prima dell'alluvione del 1994. Le modificazioni morfologiche dell'alveo e delle forme di fondo, desumibili dal confronto tra questa condizione e quella relativa al 1982, possono essere ritenute rappresentative della normale attività ordinaria del corso d'acqua; il confronto tra la condizione morfologica pre-alluvione '94 e la configurazione al 2002 evidenzia, con buona attendibilità, le modificazioni attribuibili ai due eventi di piena straordinari del '94 e del 2000. L'analisi di confronto sopra esposta ha consentito quindi di individuare le forme di erosione sicuramente innescate dalle suddette piene straordinarie, consentendo anche una stima delle superfici planimetriche complessivamente erose. Inoltre, per confronto con la condizione pre-alluvione '94, è stato possibile individuare i fenomeni di erosione già in

atto prima delle grandi piene, la cui evoluzione appare condizionata soprattutto dal regime ordinario.

Per quanto riguarda l'individuazione delle tendenze evolutive (punto "3"), è stato utilizzato l'insieme delle informazioni desumibili dalla documentazione pregressa, integrate attraverso osservazioni dirette sul campo (sopralluoghi in barca) e fotointerpretazione.

Nella fattispecie, il processo diagnostico è stato guidato dalla seguente procedura:

- a) individuazione delle tendenze evolutive riportate nella cartografia geomorfologica del 1982: tratti di sponda con tendenza all'arretramento (erosione) e/o all'avanzamento (deposito), barre attive (instabili), inattive e sospese (stabili);
- b) controllo e verifica con la configurazione al 1994, pre-alluvione;
- c) controllo e verifica delle tendenze risultanti con quelle indicate nella successiva cartografia geomorfologica del 2002;
- d) differenziazione tra: forme in evoluzione costante dal 1982; forme attivate dalla piena del 1994; forme la cui tendenza evolutiva si è arrestata durante il periodo di osservazione e forme per le quali si è verificata una inversione della tendenza evolutiva;
- e) restituzione della configurazione delle tendenze evolutive 2002, con differenziazione tra forme di erosione sensibili all'attività ordinaria e forme di erosione sensibili all'attività straordinaria; forme di deposito stabili o con tendenza alla stabilizzazione e forme di deposito instabili;
- f) confronto e verifica delle tendenze al 2002 con le osservazioni eseguite attraverso i sopralluoghi in barca;
- g) confronto e verifica delle complessive risultanze con le fotografie aeree della magra 2004 e con il DTM LaserScan (per i tratti in cui questi erano disponibili).

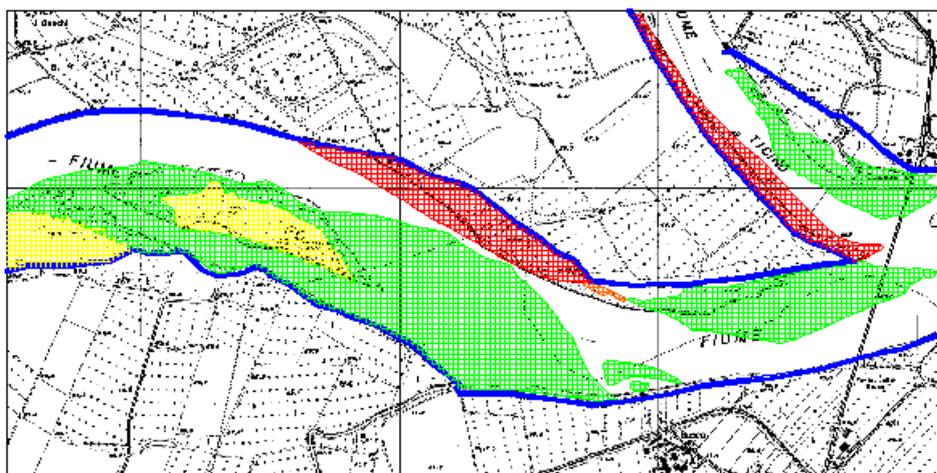


Figura 5.4 – Modificazioni planimetriche 1982-2002, sovrapposte alla CTR Lombardia 1994

In Figura 5.4 è rappresentato, su una carta di lavoro riguardante la confluenza Ticino, un esempio delle valutazioni effettuate; in particolare la linea blu rappresenta l'alveo inciso nel 2002, le aree gialle le barre già esistenti nel 1982, le aree verdi le barre (depositi) formatesi tra il 1982 ed il 2002, le aree rosse gli arretramenti della linea di sponda (erosione) verificatesi nel periodo 1982 – 2002. La CTR (sfondo) evidenzia che le modificazioni più consistenti si sono verificate dopo il maggio-giugno 1994 (volo CTR). La grossa barra in destra idrografica era un'isola fluviale nel 1982 (giallo); c'è stato un modesto accrescimento dell'isola tra il 1982 ed il 1994 (isola CTR sullo sfondo) ed un successivo, consistente ampliamento della forma tra il 1994 pre-

alluvione ed il 2002, con contestuale riempimento del canale in destra e collegamento fisico dell'isola alla sponda. In sinistra si rileva come gran parte dell'erosione e dell'arretramento della sponda sia avvenuto successivamente al 1994 (v. linea di sponda CTR sullo sfondo).

La quantificazione volumetrica delle modificazioni delle forme di erosione e di deposito (punto "4") è stata eseguita a partire dalla misura delle loro superfici, moltiplicate per l'altezza media rappresentativa della forma stessa.

Nella messa a punto della procedura di calcolo volumetrico, la problematica più impegnativa è consistita nella definizione dell'altezza media rappresentativa della forma in esame e nella stima dell'errore che si commette comparando superfici rilevate in epoche diverse, con livelli idrici di magra verosimilmente diversi.

Un primo approccio al problema è consistito nella verifica della documentazione fotografica, aerea, utilizzata per l'elaborazione delle carte geomorfologiche del 1982 e del 2002. Le carte furono realizzate attraverso i voli 1980 e 2002, entrambi eseguiti in condizioni di magra del corso d'acqua (condizioni in prima approssimazione comparabili).

Successivamente, è stato verificato il grado di variabilità dei livelli di magra agli idrometri, constatando variazioni scarsamente significative nei riguardi della sommergibilità delle barre e delle sponde, alla scala di analisi (1:10000). Il confronto tra le carte geomorfologiche avrebbe pertanto fornito un errore dei valori delle modificazioni areali delle forme di erosione e deposito del tutto trascurabile, praticamente minore dell'errore di scala.

Appurato quanto sopra, per la determinazione della quota media rappresentativa del livello idrico di magra, di riferimento, sono stati utilizzate le quote relative al 1994. Tale scelta è stata determinata anche dalla necessità di utilizzare la CTR Lombardia (scala 1:10000) per eseguire la stima della quota media rappresentativa della superficie topografica delle forme. Infatti, questa rappresentazione era l'unica disponibile, in grado di fornire un numero di quote significative e omogenee per l'intero segmento fluviale esaminato. La quota media così ricavata è stata confrontata, per alcuni tratti locali di cui si aveva a disposizione il DTM del rilievo laserscanner, con quella ricavabile dal DTM medesimo. Tale confronto ha messo in evidenza che l'utilizzo dei dati di dettaglio del nuovo DTM, pur apportando localmente un significativo miglioramento della conoscenza altimetrica del territorio, non modificano l'ordine di grandezza delle valutazioni effettuate.

Successivamente si è quindi proceduto alla definizione puntuale dei livelli idrici di magra e alla loro distribuzione lungo l'intera asta fluviale, per "intervalli" determinati sulla base del gradiente idraulico del tratto fluviale in esame. Il risultato ottenuto è stato ulteriormente verificato sulla base delle Sezioni Brioschi rilevate nel 1999.

Definita l'altezza rappresentativa di ciascuna superficie rispetto al livello di magra, è stato possibile calcolare il relativo volume. Il valore ottenuto rappresenta la variazione volumetrica, per una data forma, avvenuta tra il 1982 e il 2002.

L'insieme delle valutazioni sopra esposte ha consentito la redazione di una carta delle modificazioni morfologiche dell'alveo verificatesi tra il 1982 e il 2002 e delle relative tendenze evolutive (Allegato 2 – "Carta geomorfologica delle tendenze evolutive in atto"), di cui in Figura 5.5 si riporta un esempio.

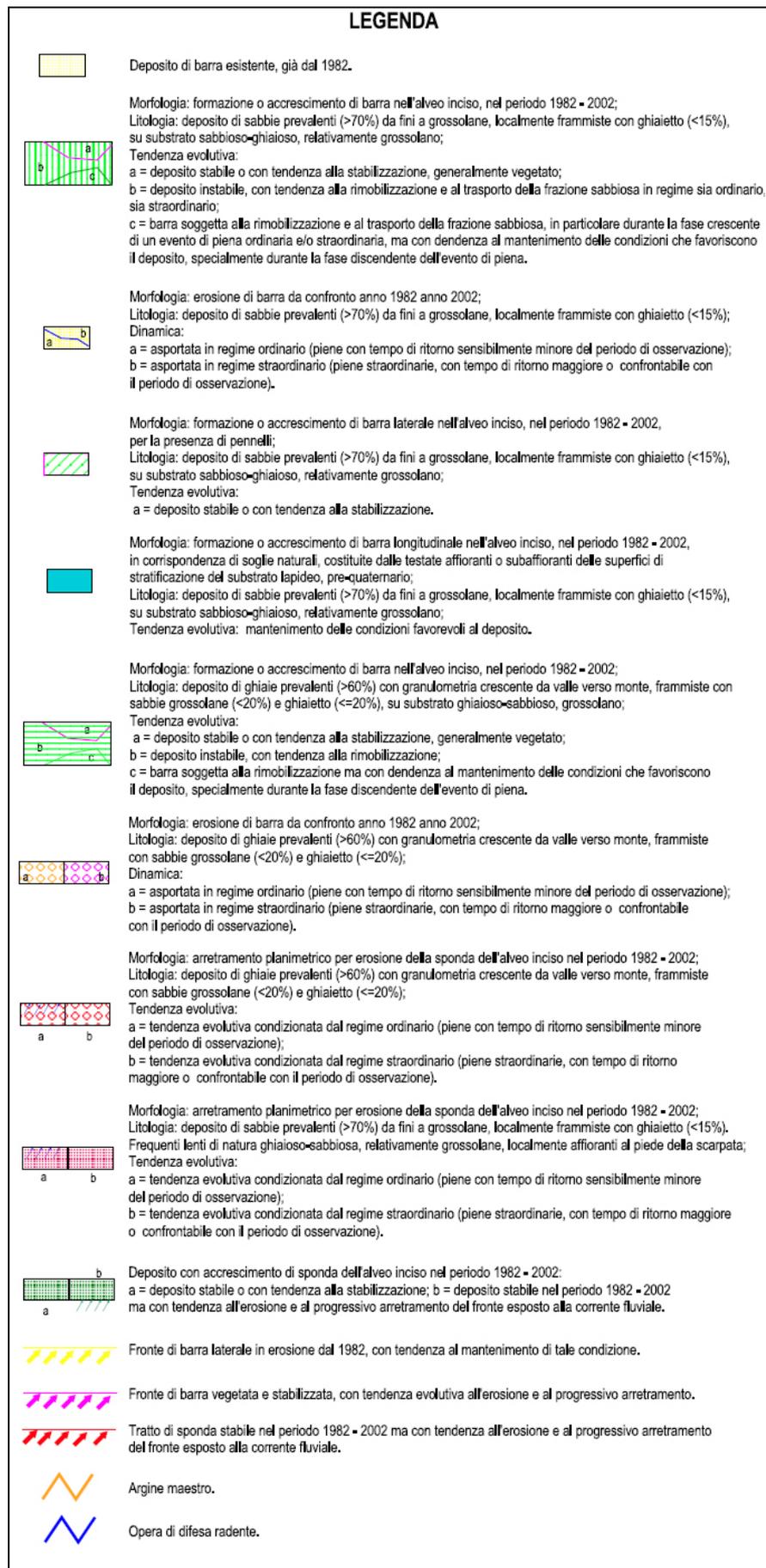


Figura 5.6 – Legenda della carta geomorfologica delle tendenze evolutive in atto

5.3.2 I risultati delle analisi

Dal punto di vista geologico il tratto fluviale in esame può essere suddiviso in tre zone principali, contraddistinte da diversi assetti geomorfologici e litostratigrafici:

- “zona di monte”, compresa tra la confluenza Tanaro ed il meridiano passante all’incirca per “Pancarana”, in cui si individuano le connotazioni morfologiche e litologiche tipiche dei sistemi “braided”;
- “zona intermedia”, compresa tra il meridiano per “Pancarana” ed il meridiano passante a valle di “Pieve Porto Morone”, caratterizzata da un alveo fortemente regolarizzato da massicci interventi da parte dell’uomo negli ultimi due secoli, attraverso vari “tagli di meandro” e arginature;
- “zona di valle”, compresa tra il tronco precedente e la confluenza con il F. Arda, caratterizzato da un alveo meandriforme, la cui evoluzione meandrica naturale appare “congelata” dalla presenza di arginature e difese spondali che seguono lo sviluppo planimetrico dei meandri stessi.

In funzione della granulometria prevalente (criterio sedimentologico), della configurazione morfologica delle barre e della relativa “sensibilità idraulica” (intesa come sensibilità al regime ordinario o straordinario), sono stati differenziati cinque “tratti omogenei”, da monte verso valle, tenuto conto anche della presenza dello sbarramento di Isola Serafini. Essi sono:

- “tratto omogeneo 1”: dalla progressiva ufficiale km 224 (confluenza Tanaro) alla progressiva km 252 circa (località Pancarana);
- “tratto omogeneo 2”: dalla progressiva km 252 alla progressiva km 286 circa (Pieve Porto Morone – Pievetta);
- “tratto omogeneo 3”: dalla progressiva km 286 alla progressiva km 356 circa (sbarramento centrale Isola Serafini);
- “tratto omogeneo 4”: dalla progressiva km 356 alla progressiva km 371 circa (confluenza canale di scarico centrale Isola Serafini);
- “tratto omogeneo 5”: dalla progressiva km 371 alla progressiva km 389 circa (confluenza Arda).

Nei paragrafi seguenti vengono descritti, con riferimento ad ogni tratto omogeneo, i risultati emersi dall’analisi geomorfologica. Per ogni tratto viene riportata inoltre una tabella che riassume i valori caratteristici delle dinamiche di trasporto solido in atto nel ventennio 1982-2002: in particolare nella tabella è riportato:

1. totale erosione: volume complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre;
2. totale deposito: volume complessivamente depositato sulle sponde e sulle barre;
3. bilancio (erosione – deposito): differenza tra volume complessivamente eroso e quello depositato;
4. totale sponde stabili o con tendenza alla stabilizzazione: volume di sedimento depositato lungo le sponde e avente caratteristiche di stabilità e quindi difficilmente rimobilizzabile dalla corrente, generalmente vegetato;

5. totale barre stabili o con tendenza alla stabilizzazione: volume di sedimento depositato sulle barre e avente caratteristiche di stabilità e quindi difficilmente rimobilizzabile dalla corrente, generalmente vegetato;
6. tendenza (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili): volume di sedimento depositato sulle barre e rimobilizzabile dalla corrente; la somma dei volumi riportati ai punti 4, 5 e 6 equivale al volume riportato al punto 2.
7. tendenza (volume in ingresso per erosione di sponda in condizioni ordinarie): volume di sedimento eroso dalle sponde in condizioni ordinarie;
8. volume annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre: volume medio annuo movimentabile dalle barre instabili (il valore è pari al volume riportato al punto 6 diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002);
9. volume annuo in ingresso per erosione di sponda in condizione ordinarie: volume medio annuo proveniente dall'erosione di sponda in condizioni ordinarie (il valore è pari al volume riportato al punto 7 diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002);
10. volume annuo sottratto al sistema per accrescimento di sponda: volume medio annuo depositatosi in sponde stabili e non rimobilizzabili e quindi sottratto al sistema (il valore è pari al volume riportato al punto 5 diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002);

Tratto omogeneo 1

Il "tratto omogeneo 1" è contraddistinto da un alveo pluricursale, corrispondente alla zona distale del sistema "braided" del fiume Po, in cui sembrano prevalere, nelle forme di fondo, i fenomeni deposizionali. I materiali presenti come depositi sono costituiti essenzialmente da ghiaie sabbiose, la cui composizione granulometrica, verso valle, appare spostarsi verso termini via via più ricchi in sabbia, contestualmente ad una diminuzione delle dimensioni dei ciottoli.

L'alveo è pluricursale di tipo "braided" omogeneamente incassato in depositi ghiaioso-sabbiosi costituenti le sponde, il fondo medio, il substrato delle sponde e del fondo e le forme di fondo (barre). E' presente una sensibile affinità litologica delle forme di fondo con i depositi del F. Tanaro (rocce sedimentarie, magmatiche basiche e rocce metamorfiche) specialmente all'inizio del tratto. A valle della confluenza, l'impronta del F. Tanaro tende a scomparire rapidamente verso valle, con tendenza ad omogeneizzazione dei depositi su composizioni più tipicamente alpine (rapido incremento delle quarziti e dei litotipi intrusivi acidi).

L'elevata altezza delle barre comporta il deposito di materiali ghiaiosi sulla loro superficie solo in occasione di piene di una certa importanza. Il trasporto solido si esplica attraverso la migrazione di "dune", costituenti "orizzonti trattivi" di spessore compreso tra 0,70 e 1,20 metri. Il discreto grado di arrotondamento dei ciottoli (mediamente più elevato di quello riscontrato nel tratto immediatamente a valle), il basso grado di arrotondamento dei granuli (da angolosi a subangolosi) e l'ottima correlazione riscontrata tra composizione mineralogica, frammenti litici della frazione sabbiosa e costituzione litologica dei ciottoli, evidenziano tempi di stazionamento molto elevati del materiale ghiaioso in questo tratto (per reiterata rimobilizzazione in loco delle barre e del materiale di fondo), con contestuale produzione di granuli sabbiosi angolosi, prevalentemente quarzosi, in gran parte derivati dalla "abrasione" dei ciottoli. I granuli sabbiosi sarebbero in equilibrio dinamico con il sistema (trasporto a valle e contestuale sostituzione). Mentre la frazione sabbiosa può per tal via migrare con continuità a valle (mediamente 20% - 30%), i ciottoli sembrano poter uscire dal

sistema (tratto 1), solo al raggiungimento di dimensioni compatibili con quelle riscontrate nei tratti immediatamente successivi (valle).

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate (Tabella 5.1)

SINTESI TRATTO 1° - Intervallo temporale di osservazione = 20 anni	
TOTALE EROSIONE (mc) =	12.839.041
TOTALE DEPOSITO (mc) =	22.543.222
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	-9.704.181
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	6.122.262
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	4.454.011
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	11.966.949
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	2.214.870
Volume annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre (mc/anno) =	598.347
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	110.743
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	-306.113

Tabella 5.1 – Volumi dinamiche evolutive tratto 1

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel ventennio esaminato, risulta pari a circa 13.000.000 m³, di cui 7.000.000 circa dalle sponde e 6.000.000 circa dalle barre. È importante osservare che solo il materiale eroso dalle sponde può essere considerato un input al sistema. Infatti, sulla base delle considerazioni generali sopra esposte, il materiale ghiaioso eroso dalle barre viene sostanzialmente mobilizzato e ridistribuito all'interno del sistema "braided" stesso. A conferma di questo risultato, appare significativo rilevare la condizione di equilibrio esistente tra il volume di sedimenti depositati come forme relativamente stabili (barre e sponde), pari a circa 10.600.000 m³ ed i volumi potenzialmente movimentabili dalle barre instabili, pari a circa 11.900.000 m³. Anche il volume complessivamente eroso dalle sponde, pari a circa 6.900.000 m³, risulta confrontabile con quello complessivamente depositato nelle sponde in accrescimento, quest'ultimo pari a circa 6.122.000 m³ (condizione di equilibrio);
- dalla Tabella 5.1 si evince che il volume medio annuo movimentabile nel tratto 1 in condizioni ordinarie, attraverso la ridistribuzione del materiale costituente le barre ed attraverso l'erosione delle sponde, è pari rispettivamente a 600.000 m³/anno (barre) e 700.000 m³/anno (barre + sponde). Tale intervallo di valori è rappresentativo della capacità di trasporto solido che il corso d'acqua ha nel tratto in questione;
- la relativa frazione sabbiosa e/o di ghiaietto che può essere trasferita a valle, costituisce, invece, un input al tratto omogeneo successivo;
- il volume complessivamente depositato ammonta a circa 22.500.000 m³. I fenomeni deposizionali, per quanto attiene le forme di fondo, sono pertanto nettamente prevalenti rispetto a quelli di erosione;
- il 70% circa del materiale complessivamente eroso risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario. La modificazioni delle forme di fondo appaiono pertanto condizionate da un'attività impulsiva; le maggiori rimobilizzazioni del materiale avvengono in condizioni di alta energia, in occasione di eventi di piena di una certa importanza, riconducibili al regime straordinario del corso d'acqua. In condizioni ordinarie, si producono quasi solo erosioni del piede delle barre e, localmente, delle sponde, con progressivi franamenti e arretramenti dei fronti stessi. Questa dinamica trova riscontro

anche nella morfologia delle barre, caratterizzate da altezze decisamente elevate rispetto alla quota di magra (altezza media per l'intero tratto pari a 3,5 metri con punte massime di oltre 6 – 7 metri, localmente confrontabili con la quota del piano golenale) e fronti molto inclinati, localmente sub-verticali;

- in accordo con quanto esposto al punto precedente l'indice di "sensibilità idraulica" (H_{sponda}/H_{barra}), per l'intero tratto, risulta pari a 1,94 con valori minimi prossimi all'unità.

Tratto omogeneo 2

Nel "tratto omogeneo 2" il fiume Po assume progressivamente i connotati di un corso d'acqua monocursale, relativamente rettilineo o sinuoso, frutto soprattutto dei massicci interventi di rettificazione operati dall'uomo in epoca storica, fino alla fine del XIX secolo. Infatti, tale tratto, come riconoscibile dalle numerose tracce presenti soprattutto esternamente alle zone golenali, presenta una forte propensione naturale alla formazione dei meandri. Tale fenomeno, in epoca storica, ha infatti prodotto consistenti divagazioni dell'alveo.

In merito si evidenzia che all'altezza del meridiano passante per Port'Albera, il fiume Po intacca il substrato lapideo pre-quaternario, localmente rappresentato dalla "culminazione assiale" in continuità con la "struttura geologica sepolta costituente il "Colle di S. Colombano" e lo "Sperone di Stradella". Trattasi di rocce sedimentarie stratificate, a direzione circa NW-SE e immersione a SE. La singolare "deviazione" subita dall'alveo del fiume Po in questo limitato settore, da E-W a NW-SE, potrebbe pertanto non essere casuale, ma condizionata dalla direzione degli strati che ne avrebbero forzato la direzione di deflusso. In ogni caso, gli affioramenti rocciosi presenti nel thalweg costituiscono una soglia naturale a monte della quale il fiume tende a depositare (sempre in termini di forme di fondo). Inoltre, tale soglia viene di fatto a "fissare" il livello di base del corso d'acqua per l'intero segmento fluviale di monte. Non si esclude, pertanto, che la elevata propensione storica alla divagazione nel territorio immediatamente a monte (v. Siccomario, Breassana, Mezzana Rabattona, ecc.), possa essere in qualche modo condizionata dalla presenza del suddetto "ostacolo naturale" (Struttura di S. Colombano – Sperone di Strabella).

I materiali presenti come depositi sono costituiti essenzialmente da sabbie e ghiaietto. Le ghiaie si riscontrano nel thalweg e, localmente, alla base dei depositi sabbiosi costituenti le barre.

Dal punto di vista morfodinamico (forme di fondo), si riscontra comunque un generale equilibrio tra fenomeni erosivi e deposizionali.

L'alveo è incassato in depositi prevalentemente sabbiosi da fini a molto fini, costituenti le sponde incise. Le forme di fondo (barre) sono costituite prevalentemente da sabbie. Si riscontra la presenza di un substrato sabbioso-ghiaioso affiorante localmente al piede delle sponde e, in continuità con questo, al di sotto dei depositi sabbiosi di barra (substrato delle barre sabbiose) e nell'alveo, ad eccezione del tratto posto nei pressi della località "Port'Albera" dove nei pressi della soglia sopraccitata, si riscontra la presenza di un substrato lapideo, verosimilmente pre-quaternario, affiorante localmente nell'alveo.

Considerato che i depositi costituenti il "fondo medio" e l'alveo risultano essere in continuità laterale con quelli costituenti il substrato delle barre e delle sponde incise e tenuto conto della presenza generalizzata di fenomeni di "corazzamento" superficiale, si ritiene che tali differenze siano da attribuire alla presenza di un substrato relativamente "antico", intaccato dall'incisione attuale del F. Po (verosimilmente in continuità geomorfologica con quelli di fondo del tratto 1). Per analogia a quanto

riscontrato nei depositi di barra, è verosimile che il valore di 8-12 mm rappresenti il limite dimensionale superiore del trasporto solido attuale ("competenza reale") in questo tratto. Il trasporto solido si esplica attraverso la migrazione di "dune", costituenti "orizzonti trattivi" di spessore compreso tra 0,30 e 1,20 metri, di natura prevalentemente sabbiosa. Localmente (pool - riffle), possono verificarsi fenomeni di mobilizzazione e rideposizione, poco a valle, del materiale di fondo più grossolano. In zone con presenza di grosse dune (e verosimilmente di antidune, rimodellate dalle fasi discendente delle piene) si riscontrano depositi superficiali più grossolani, trasversali (transverse rib - antidune).

Il substrato lapideo esercita un'azione di "soglia" naturale, in grado di indurre il corso d'acqua a condizioni di deposito generalizzate. In condizioni ordinarie, solo la frazione più fine delle sabbie (<< 0,125 mm) supera tale soglia, verosimilmente in sospensione.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate (Tabella 5.2):

SINTESI TRATTO 2° - Intervallo temporale di osservazione = 20 anni	
TOTALE EROSIONE (mc) =	18.633.073
TOTALE DEPOSITO (mc) =	17.358.511
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	1.274.562
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	3.610.295
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	5.212.212
TENDENZA (volume removibile per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie) (mc) =	8.536.004
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	10.206.539
Volume annuo removibile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie (mc/anno) =	426.800
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	510.327
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	-180.515

Tabella 5.2 - Volumi dinamiche evolutive tratto 2

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel ventennio esaminato, risulta pari a circa 18.600.000 m³, di cui 16.700.000 circa dalle sponde e 1.900.000 circa dalle barre;
- il volume complessivamente depositato ammonta a 17.400.000 m³ circa, evidenziando una condizione di sostanziale equilibrio tra erosione e deposito nelle forme di fondo;
- il 71% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime ordinario. Le modificazioni delle forme di fondo appaiono pertanto condizionate da un'attività relativamente distribuita nel tempo. Dall'analisi eseguita risulta che gli eventi di piena straordinari o comunque di intensità relativamente elevata, contribuiscono ad innescare fenomeni di erosione di grosse proporzioni, la cui evoluzione, nella maggior parte dei casi, continua anche nelle condizioni di regime ordinario. Questa dinamica trova riscontro anche nella morfologia delle barre stesse, caratterizzate da altezze minori rispetto a quelle del tratto precedente, evidenziando una sensibilità idraulica più elevata (altezza media delle barre per l'intero tratto pari a 2,3 metri con punte massime di 5,5 metri circa) e fronti blandamente inclinati in continuità morfologica con l'alveo sommerso;
- dalla Tabella 5.2 si evince che il volume medio annuo movimentabile nel tratto 2 in condizioni ordinarie, attraverso l'erosione delle barre e delle sponde, è compreso tra 430.000 m³/anno (barre) e 930.000 m³/anno (barre + sponde);

- in accordo con quanto esposto al punto precedente l'indice di "sensibilità idraulica" (H_{sponda}/H_{barra}), per l'intero tratto, risulta pari a 3,14 con valori massimi maggiori di 5 (frequenti) e minimi di 1,20-1,40 (rari).

Tratto omogeneo 3

Nel "tratto omogeneo 3" il fiume Po assume progressivamente i connotati di un corso d'acqua decisamente monocursale, fortemente canalizzato e meandriforme, di bassa energia. Si riscontra la presenza di isole fluviali di apprezzabili dimensioni.

I meandri appaiono vincolati nella loro tendenza migratoria verso valle dalla presenza di importanti opere di difesa spondale e di arginatura, spesso realizzate in frodo. Inoltre, una buona parte della zona di valle, all'incirca tra Piacenza e lo sbarramento di Isola Serafini, risente dell'azione di rigurgito idraulico indotto dallo sbarramento stesso, contribuendo a creare condizioni morfodinamiche di bassa energia.

I materiali presenti come depositi sono costituiti essenzialmente da sabbie e ghiaietto. Le ghiaie analogamente al tratto precedente, si riscontrano localmente nel thalweg e, più diffusamente, alla base dei depositi sabbiosi costituenti le barre sia laterali, sia longitudinali.

Dal punto di vista morfodinamico si riscontra una generale tendenza al deposito relativamente alle forme di fondo.

Per quanto riguarda tali forme di fondo, ad eccezione delle barre di confluenza con Tidone e Trebbia (depositi ghiaiosi grossolani), esse sono costituite da depositi sabbiosi medi, con ghiaietto.

Si ha una sensibile impronta appenninica (calcari a scapito delle quarziti e delle rocce metamorfiche), soprattutto nei ciottoli. La matrice sabbiosa, invece, conserva anche una forte impronta alpina.

Nel tratto si ha un substrato molto grossolano, corazzato e relativamente più antico (ad affinità appenninica), sul quale risulta ancorato il fondo alveo.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate (Tabella 5.3):

SINTESI TRATTO 3° - Intervallo temporale di osservazione = 20 anni	
TOTALE EROSIONE (mc) =	5.083.643
TOTALE DEPOSITO (mc) =	10.671.577
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	-5.587.934
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	251.169
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	5.769.016
TENDENZA (volume removibile per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie) (mc) =	4.651.392
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	1.486.607
Volume annuo removibile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie (mc/anno) =	232.570
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	74.330
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	-12.558

Tabella 5.3 - Volumi dinamiche evolutive tratto 3

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel ventennio esaminato, risulta pari a circa 5.000.000 di m³, di cui 3.000.000 circa dalle sponde e 2.000.000 circa dalle barre;
- il volume complessivamente depositato ammonta a 10.700.000 m³ circa, evidenziando una tendenza all'incremento volumetrico delle forme di fondo. Infatti, è stata riscontrata una generale tendenza alla chiusura di gran parte dei

canali laterali delimitanti alcune isole fluviali, con tendenza al collegamento fisico tra sponda e isola stessa;

- il 45% - 50% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime ordinario. Le modificazioni delle forme di fondo appaiono pertanto condizionate in eguale misura dall'attività ordinaria e da quella straordinaria, verosimilmente anche a causa della presenza diffusa di opere di difesa spondale, che limitano i fenomeni erosivi durante la vita ordinaria del corso d'acqua;
- questa dinamica trova riscontro anche nella morfologia delle barre stesse, caratterizzate da altezze minori rispetto a quelle del tratto precedente, evidenziando una sensibilità idraulica ancora più elevata (altezza media delle barre per l'intero tratto pari a 1,7 metri con punte massime di 3,0 metri circa) e fronti delle barre in continuità morfologica con l'alveo sommerso;
- in accordo con quanto esposto al punto precedente l'indice di "sensibilità idraulica" (H_{sponda}/H_{barra}), per l'intero tratto, risulta pari a 4,65;
- dalla Tabella 5.3 si evince una sensibile diminuzione del volume medio annuo movimentabile in condizioni ordinarie, attraverso l'erosione delle barre e delle sponde. Infatti risulta un valore compreso tra 230.000 m³/anno (barre) e 300.000 m³/anno (barre + sponde).

Tratto omogeneo 4

Il "tratto omogeneo 4" coincide sostanzialmente con l'ansa meandrica di Isola Serafini. La portata liquida presente per la maggior parte dell'anno è sostanzialmente rappresentata dalla portata in ingresso a partire dalla confluenza con il fiume Adda. Nel tratto immediatamente a monte, tra la confluenza e lo sbarramento, la portata è praticamente trascurabile per gran parte dell'anno.

La morfodinamica di questo tratto è sostanzialmente determinata dal regime prodotto dall'esercizio della centrale idroelettrica e del relativo sbarramento.

È ragionevole ritenere che la tendenza al deposito riscontrata nel tratto precedente sia in gran parte indotta dalla presenza dello sbarramento. In relazione alle modalità di gestione dello sbarramento i sedimenti sono trasferiti dal "tratto 3" al "tratto 4" solo parzialmente e soprattutto solo in condizioni straordinarie.

L'alveo risulta essere incassato in depositi prevalentemente sabbiosi da fini a molto fini, limosi, costituenti le sponde incise. Le forme di fondo (barre) ed i depositi in alveo sono costituiti prevalentemente da sabbie. Si riscontra la presenza di un substrato sabbioso-ghiaioso affiorante localmente all'unghia delle barre o al piede delle sponde, al di sotto dei depositi sabbiosi di barra e delle sponde.

Si conferma una sensibile impronta tipicamente appenninica nei depositi del substrato, mentre le sabbie di barra conservano anche una forte impronta alpina.

Il trasporto solido si esplica attraverso la migrazione di dune, costituenti "orizzonti trattivi" di spessore compreso tra 0,30 e 1,20 metri, di natura esclusivamente sabbiosa.

Lo sbarramento di Isola Serafini esplica un'azione impulsiva nel trasporto solido, inducendo il corso d'acqua a condizioni di deposito e stazionamento del materiale nelle barre. Nell'alveo, fortemente canalizzato, si alternano, verosimilmente, le seguenti azioni: 1) rimozione delle sabbie fresche con parziale erosione del fondo alveo (substrato ghiaioso-sabbioso) durante la fase di massima energia della piena; 2) deposito di sabbie fresche durante la fase discendente della piena. Queste sabbie

stazionano nell'alveo fino alla piena successiva. Le forme "trattive di fondo" e di barra (dune) sono morfologicamente inalterate rispetto alla configurazione conseguente all'ultima piena straordinaria. Nonostante si riscontri la presenza di sabbie fresche nell'alveo, la suddetta dinamica produce, nel medio e lungo periodo, un progressivo approfondimento dell'alveo inciso ed un progressivo innalzamento relativo delle barre laterali.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate (Tabella 5.4):

SINTESI TRATTO 4° - Intervallo temporale di osservazione = 20 anni		
TOTALE EROSIONE (mc) =		2.623.678
TOTALE DEPOSITO (mc) =		5.649.598
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =		-3.025.920
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =		1.781.191
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =		505.281
TENDENZA (volume removibile per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie) (mc) =		3.363.126
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =		1.649.581
Volume annuo removibile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie (mc/anno) =		168.156
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =		82.479
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =		-89.060

Tabella 5.4 - Volumi dinamiche evolutive tratto 4

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel ventennio esaminato, risulta pari a circa 2.600.000 m³, di cui la quasi totalità dalle sponde (oltre l'80%), a conferma della pressoché mancanza di fenomeni erosivi delle barre, attraverso i quali avviene la rimobilizzazione ed il trasferimento dei materiali sabbiosi a valle, specialmente durante il regime ordinario del corso d'acqua;
- il volume complessivamente depositato ammonta a 5.700.000 m³ circa, evidenziando una tendenza all'incremento volumetrico delle forme di fondo, incremento verificatosi verosimilmente durante le due piene del '94 e del 2000;
- il 90% circa dei depositi delle barre risulta instabile, con scarsa altezza media (1,0 m) e elevato valore dell'indice di sensibilità idraulica (7,28);
- dalla Tabella 5.4, a conferma di quanto sopra, si evince una ulteriore sensibile diminuzione del volume medio annuo movimentabile in condizioni ordinarie, attraverso l'erosione delle barre e delle sponde. Infatti risulta un valore compreso tra 170.000 m³/anno (barre) e 250.000 m³/anno (barre + sponde).

Tratto omogeneo 5

Il "tratto omogeneo 5" risente fortemente della dinamica indotta dalla presenza di Isola Serafini, nonché della presenza di consistenti opere di regimazione, atte a mantenere condizioni favorevoli alla navigazione. Inoltre, sulla base di quanto esposto per il tratto precedente, la presenza dello sbarramento è causa di un'attività idraulica e soprattutto sedimentologica di tipo impulsivo.

L'alveo è monocursale rettilineo e/o sinuoso, incassato in depositi prevalentemente sabbiosi da fini a molto fini, limosi, costituenti le sponde incise. Le forme di fondo (barre) sono costituite prevalentemente da sabbie. Si riscontra la presenza di un substrato ghiaioso-sabbioso, al di sotto dei depositi sabbiosi di barra e nell'alveo.

Nonostante tale litologia prevalente nelle forme di fondo le connotazioni morfologiche delle barre sono del tutto simili a quelle del "tratto 1": altezza relativamente elevata, fronti fortemente inclinati.

Si conferma una sensibile impronta tipicamente appenninica nei depositi del substrato, mentre le sabbie di barra conservano una forte impronta alpina.

Si evidenzia un generale stato di erosione in alveo e contestuale deposizione, per impulsi straordinari, sulle barre. Ciò è imputabile ad almeno tre fattori concomitanti: 1) attività deposizionale impulsiva sulle barre (sbarramento di Isola Serafini); 2) forte incanalamento della corrente fluviale di morbida e di piena ordinaria dovuto alle opere di navigazione; 3) escavazione in alveo.

L'insieme di queste azioni ha comportato, verosimilmente, la progressiva asportazione locale del substrato grossolano, corazzato, attualmente "sospeso" di qualche metro rispetto al fondo alveo (anche per aumento delle velocità in alveo). Ciò ha portato l'alveo ad incidere localmente i depositi prevalentemente sabbiosi, relativamente antichi, sottostanti lo strato relativamente più grossolano (come desumibile dall'esame del materiale dragato, per scopi estrattivi, nei punti più profondi dell'alveo sommerso).

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate (Tabella 5.5):

SINTESI TRATTO 5° - Intervallo temporale di osservazione = 20 anni	
TOTALE EROSIONE (mc) =	727.725
TOTALE DEPOSITO (mc) =	4.391.315
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	-3.663.590
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	602.483
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	2.514.753
TENDENZA (volume removibile per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie) (mc) =	1.274.079
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	396.005
Volume annuo removibile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili in cond. ordinarie (mc/anno) =	63.704
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	19.800
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	-30.124

Tabella 5.5 - Volumi dinamiche evolutive tratto 5

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel ventennio esaminato, risulta pari a circa 700.000 di m³, di cui la quasi totalità dalle sponde;
- il volume complessivamente depositato ammonta a 4.400.000 m³ circa, evidenziando una tendenza all'ampliamento volumetrico delle forme di fondo;
- in accordo con quanto sopra esposto l'altezza media delle barre risulta dell'ordine di 2,4 m, l'indice di "sensibilità idraulica" (Hsponda/Hbarra), per l'intero tratto, risulta pari a 3,34.

Sintesi dei risultati

Nel grafico di Figura 5.7 vengono riportati i volumi cumulati lungo la progressiva, con riferimento ai diversi fenomeni evolutivi in atto nel ventennio 1982 – 2002 (depositi ed erosioni di barra, accrescimenti ed erosioni di sponda, ecc.).

Dall'analisi di tale grafico si possono fare alcune considerazioni:

- nei primi due tratti omogenei si ha la maggior quantità di materiale movimentato nelle forme di fondo (67% del volume depositato e il 78% del volume eroso);
- considerando il rapporto tra il volume complessivamente soggetto alle dinamiche evolutive e la lunghezza del tratto, si ha che il primo tratto è quello con il valore più alto, a dimostrazione che il sistema "braided" è quello maggiormente soggetto ad evoluzioni morfologiche;

- il tratto in sostanziale equilibrio, sempre limitatamente alle forme di fondo, è il numero 2, nel quale la differenza tra depositi ed erosioni è praticamente costante;
- i tratti 3 e 5 sono caratterizzati da sostanziale assenza di fenomeni erosivi di barre e sponde; tale fatto è condizionato molto dalla presenza diffusa di opere di difesa longitudinale.

Il grafico di Figura 5.8 evidenzia il “trend” dei principali indici morfologici in funzione del relativo “tratto omogeneo”.

Si rileva come nell'intero segmento fluviale esaminato l'altezza delle sponde presenti variazioni scarsamente significative, attestandosi all'incirca su valori compresi tra 5,50 e 6,20 metri. Il rapporto Hs/Hb evidenzia e differenzia in modo semplice, ma efficace, i tratti in cui la dinamica di trasporto solido è condizionata anche dal regime ordinario (specialmente per quanto riguarda i fenomeni di rimobilizzazione e spostamento a valle di sabbie da “barre” dotate di un substrato ghiaioso relativamente stabile).

È estremamente significativa la “convergenza geomorfologica” delle forme di fondo nei tratti 1 e 5, evidenziata dagli indici morfologici, nonostante questi siano caratterizzati da condizioni litologiche ed “ambientali” sostanzialmente diverse. Entrambi risentono di un'attività impulsiva dovuta nel primo caso alle caratteristiche morfodinamiche naturali del sistema “braided” e nel secondo caso dagli effetti prodotti dalla presenza dello sbarramento di Isola Serafini.

Fiume PO da Tanaro ad Arda - dinamiche geomorfologiche periodo 1982-2002

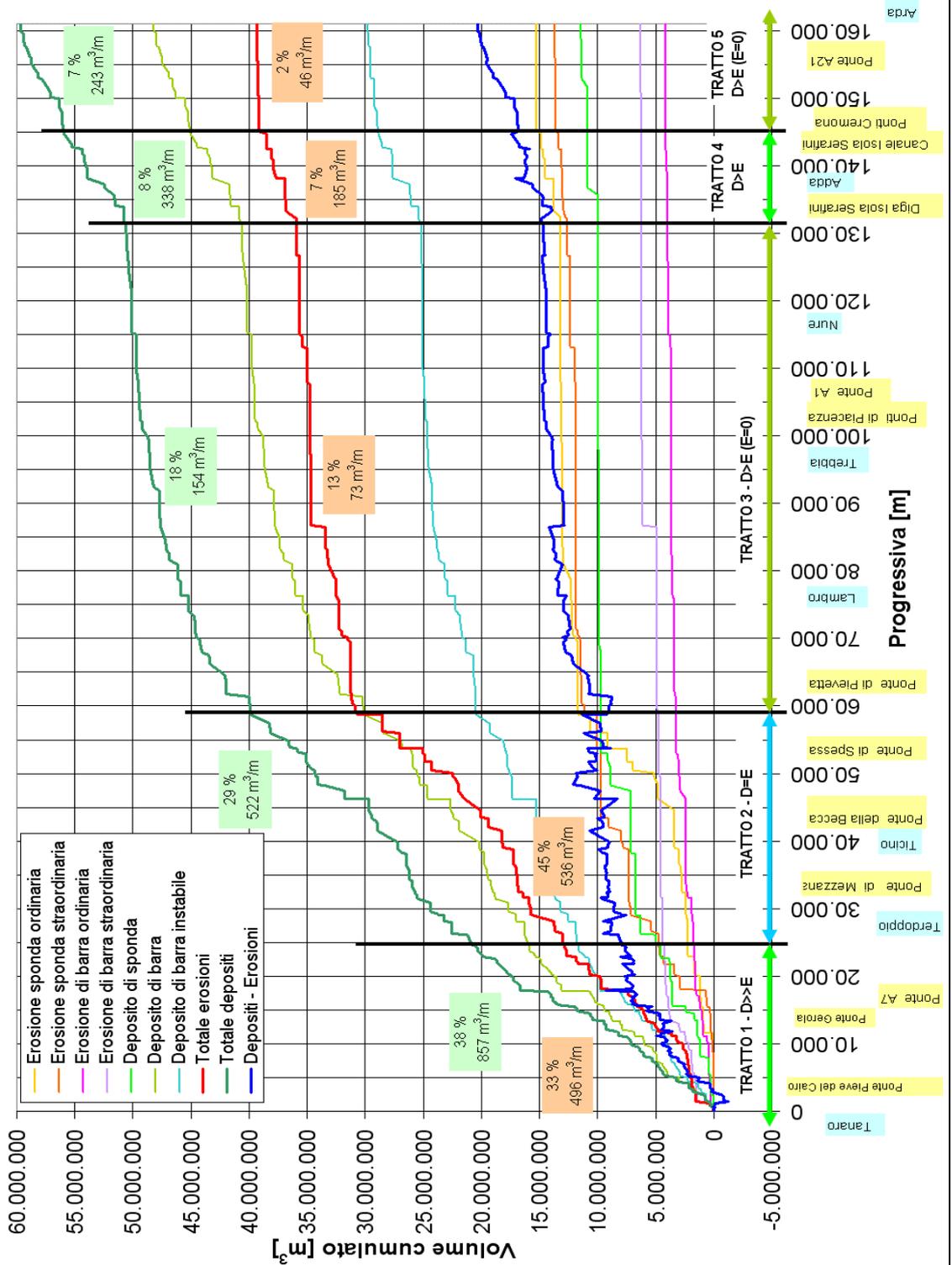


Figura 5.7 – Volumi cumulati tendenze evolutive

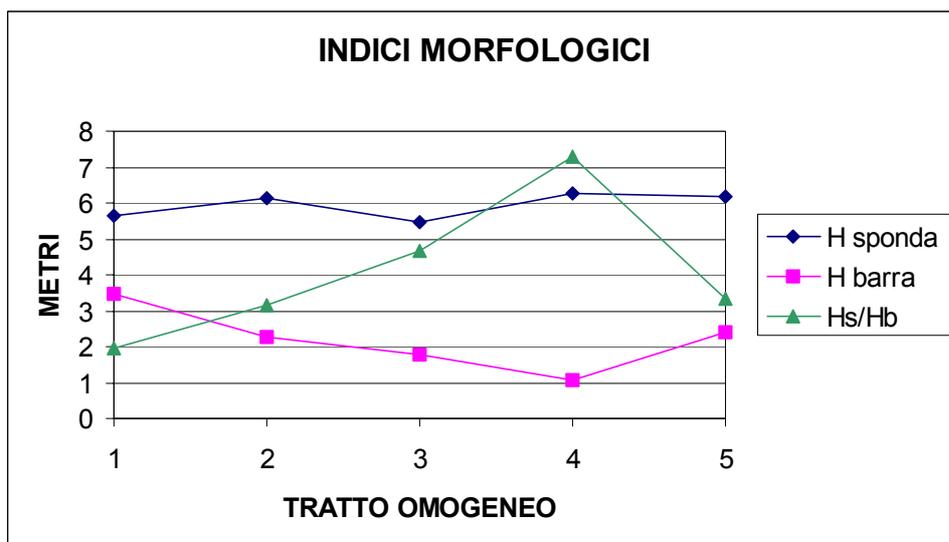


Figura 5.8 – Andamento indice morfologico Hs/Hb

5.4 L'analisi delle modificazioni altimetriche del fondo alveo

L'analisi dell'evoluzione del fondo alveo è stata condotta utilizzando le sezioni topografiche rilevate dal ex Magistrato per il Po, ora AIPO (Agenzia Interregionale per il Po). I rilievi più significativi e quindi utili per l'analisi delle dinamiche in atto sono quelli del 1954, 1968/69, 1979, 1984, 1991 e 1999. Si può osservare inoltre che confrontando tra loro i dati del 1999 con quelli del 1979 si ottiene un dato temporalmente congruo al ventennio per il quale è stata condotta l'analisi geomorfologica della tendenze evolutive delle forme di fondo.

L'informazione disponibile a livello di sezioni risulta poco dettagliata, pertanto è possibile effettuare solo un'analisi relativa a "condizioni medie" con individuazione di "tendenze evolutive". Ciò nonostante il risultato numerico finale, pur interpolando sezioni in media distanti circa 6 km (29 sezioni in circa 170 km di fiume), è da ritenersi significativo.

5.4.1 La metodologia di analisi

Il confronto tra i profili longitudinali del thalweg ricavati da detti rilievi mostra che lo stesso ha subito continui cambiamenti dovuti alla movimentazione delle barre e dei depositi spondali.

Pertanto, l'irregolarità assai marcata di tali profili non consente di determinare in modo sicuro le linee che hanno caratterizzato l'evoluzione a grande scala del fondo alveo.

È pertanto sembrato assai preferibile individuare tali linee evolutive non confrontando i thalweg a varie epoche, ma confrontando i profili di pelo libero di magra. Questi infatti conducono ad una rappresentazione idraulica assai più rappresentativa per lo scopo di cui sopra, dal momento che il pelo libero si dispone sempre al di sopra delle irregolarità del fondo e con quote idriche sempre decrescenti verso valle.

Si è pertanto utilizzato un modello idrodinamico (Mike 11), per ricostruire i profili di pelo libero in condizioni di magra. Si è in proposito utilizzata una portata costante di

100 m³/s che rappresenta un valore particolarmente basso, se paragonato alla capacità dell'intero alveo inciso.

Tali profili di pelo libero sono qui indicati come "profili di fondo medio", in quanto a differenza dei poco rappresentativi profili di thalweg, forniscono l'andamento del pelo libero che si forma in magra in funzione della morfologia media dell'alveo di magra.

Dal confronto fra i diversi profili di fondo medio si può determinare l'evoluzione in atto nel fondo alveo e individuare quindi i tratti che sono soggetti a fenomeni di deposito o di erosione, oppure quei tratti che risultano essere sostanzialmente stabili.

Nel paragrafo successivo verranno descritti e commentati i risultati ottenuti. Nel seguito sono riportate le precisazioni essenziali sul metodo utilizzato, confrontandolo con metodologie utilizzate in altri studi per analizzare l'evoluzione del fondo alveo.

In altri studi l'analisi della dinamica di fondo alveo è stata condotta con altre metodologie, tra cui le seguenti:

1. confronto fra le quote di fondo minimo (thalweg) con riferimento alle diverse campagne di rilievo;
2. confronto fra i volumi idrici contenuti nell'alveo inciso, sempre con riferimento a rilievi multitemporali.

Tali metodologie appaiono meno aderenti al caso del fiume Po in studio in quanto:

- il confronto fra i profili di thalweg, per un fiume come il Po, può portare ad interpretazioni errate in quanto a volte il punto più basso nella sezione può non essere rappresentativo dell'intera sezione, ma solo di situazioni particolari, come ad esempio buche isolate in corrispondenza delle pile dei ponti o in presenza di curve accentuate o di fenomeni erosivi localizzati. E' evidente, analizzando il profilo di thalweg, l'andamento a denti di sega caratterizzato dal rilievo di sezioni in curva, dalla presenza di buche, ecc., dove il fondo alveo è dettato da fattori locali. Tali singolarità risultano localizzate, variabili nel tempo e poco rappresentative delle condizioni complessive;
- i volumi idrici compresi nell'alveo inciso danno informazioni con riferimento non solo al fondo alveo, ma all'intero alveo, quindi comprendono anche le forme di fondo e le sponde. Pertanto il confronto porta a stimare, in modo decisamente più approssimato rispetto alla metodologia riportata nel capitolo precedente, tutte le dinamiche evolutive in atto nell'alveo inciso (erosioni di sponda, depositi di barra, ecc.) oltre che a quanto avviene nel fondo alveo. La stima risulta imprecisa in quanto la densità delle sezioni (poste a diversi chilometri di distanza) non è sufficiente a rappresentare le numerose forme di fondo che viceversa sono state censite singolarmente.

Da quanto sperimentato, qualsiasi tipo di analisi condotta mediante l'utilizzo delle sole sezioni topografiche, oltretutto tra loro molto distanti, porta a ottenere i risultati affetti da notevole incertezza. Per superare tali problematiche occorrerebbe disporre di rilievi batimetrici lungo l'intero tratto d'interesse con cadenza biennale o quinquennale e con densità notevolmente superiore. Tali necessità saranno esposte nel paragrafo relativo al monitoraggio.

5.4.2 I risultati delle analisi

L'applicazione della metodologia descritta nel paragrafo precedente ha portato a determinare il profilo di fondo medio per i diversi anni (1954, 1968/69, 1979, 1984, 1991 e 1999). Tali profili sono riportati di seguito in Figura 5.9 (dalla sezione 1 alla sezione 16) e in Figura 5.10 (dalla sezione 15 alla sezione 29).

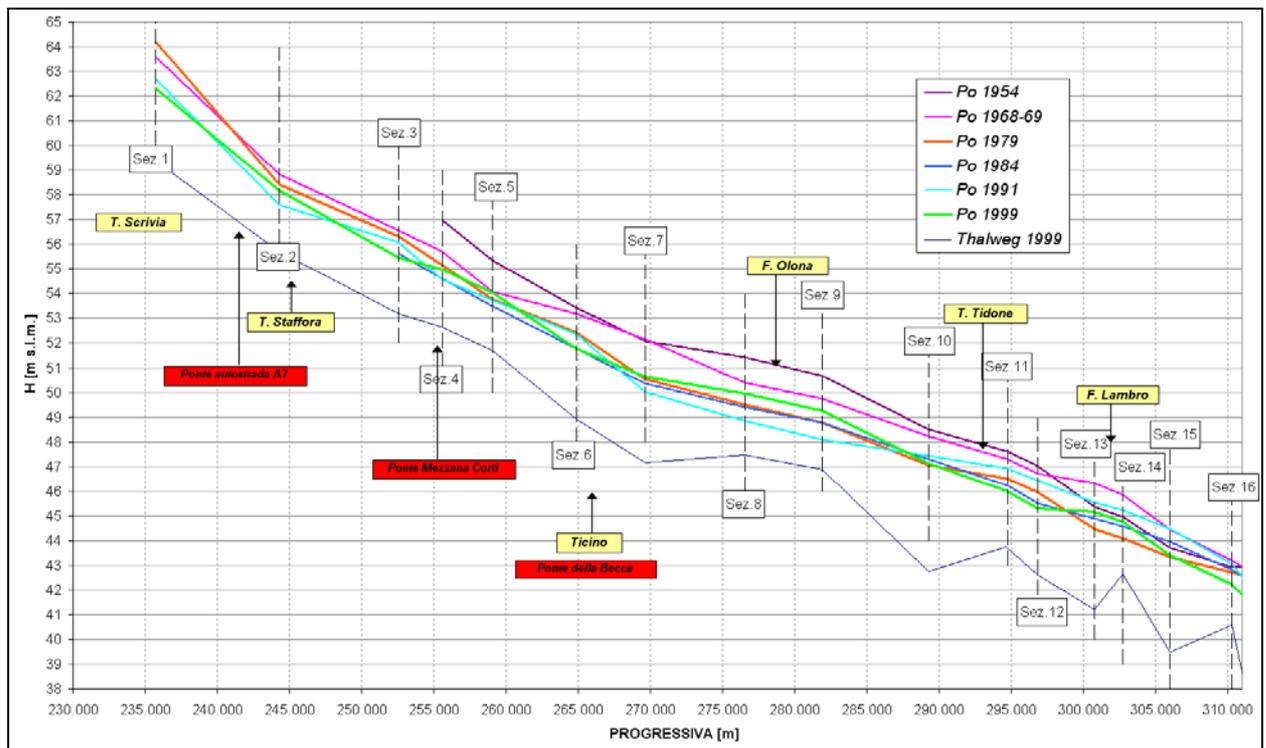


Figura 5.9 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 1 alla sezione 15

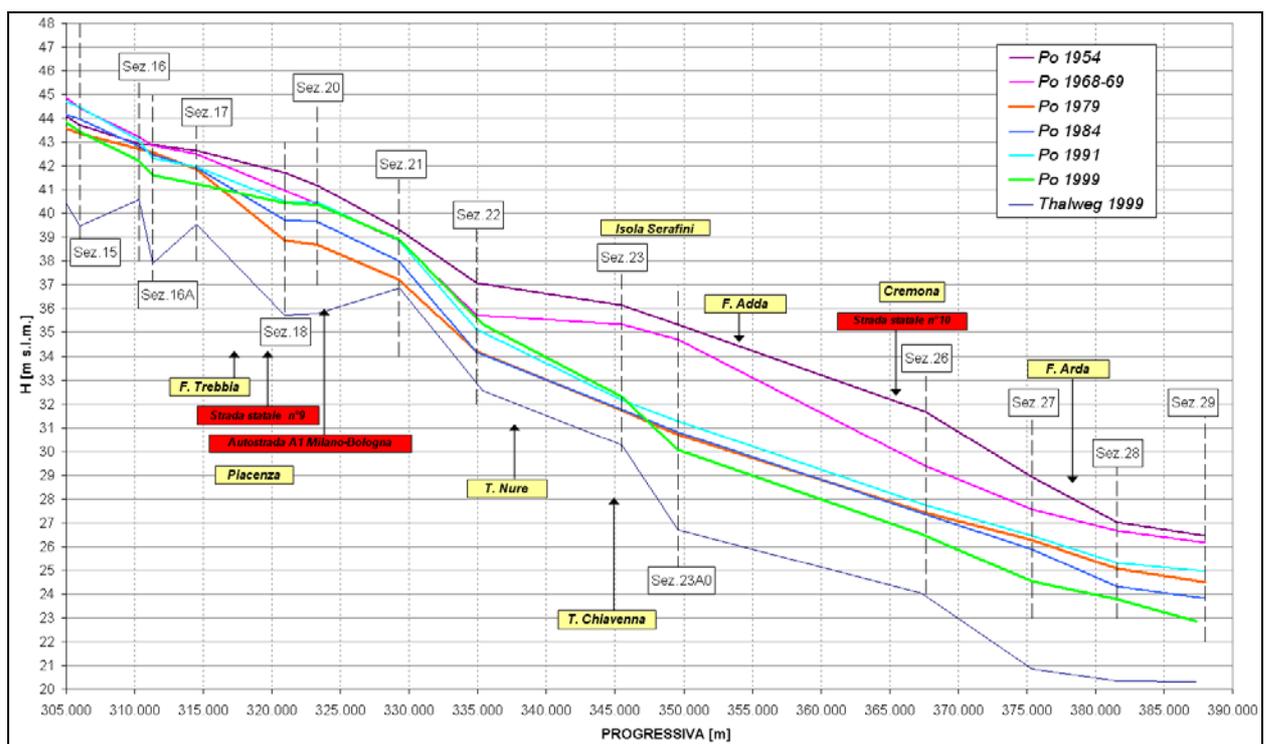


Figura 5.10 – profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 16 alla sezione 29

Dall'analisi dei suddetti profili si possono trarre le seguenti osservazioni:

- si è verificato un generale abbassamento dell'alveo dal 1954 in poi per quasi l'intero tratto in studio, con dinamiche molto più accentuate nei primi 25 anni; tale dinamica è molto marcata a valle di Isola Serafini, dove tra il 1954 e il 1999 si sono calcolati abbassamenti di 4 ÷ 5 m (tasso medio annuo di circa 10 cm); tale effetto è senz'altro dovuto agli effetti indotti dall'estrazione degli inerti che negli anni 60-70 è stata molto intensa. L'abbassamento è evidente anche nel ventennio 1979 ÷ 1999;

- anche nel tratto di monte, almeno fino alla sezione 3 (posta a monte del ponte di Mezzana Corti e pochi chilometri a valle della fine del sistema braided), si riscontra un fenomeno di erosione del fondo alveo abbastanza costante negli ultimi vent'anni, in attenuazione da una riduzione procedendo da monte verso valle;
- il tratto compreso tra la sezione 4 (a valle del ponte di Mezzana Corti) e la sezione 17 (7 km a monte di foce Trebbia) è caratterizzato, a partire dal 1979, da una sostanziale stabilità, infatti nel ventennio si riscontrano variazioni contenute (non superiori al metro e quindi a 5 cm/anno) ed alterne (in alcune sezioni si verificano erosioni, mentre in altre si verificano deposizioni);
- nel tratto compreso tra la sezione 18 (foce Trebbia) e la sezione 23A00 (a monte della centrale di Isola Serafini) si osserva, invece, a partire dal 1979 fino al 1999 un progressivo innalzamento delle quote di fondo medio, a dimostrazione che il suddetto tratto è caratterizzato da una tendenza al deposito sul fondo alveo;
- il tratto a valle di Isola Serafini fino alla confluenza con il fiume Arda, presenta notevoli abbassamenti del fondo alveo, non solo considerando l'intervallo temporale 1954 – 1999, ma anche l'ultimo ventennio compreso tra il 1979 e il 1999.

I due ultimi fenomeni, deposito tra Piacenza e Isola Serafini ed erosione tra Isola Serafini e il fiume Arda, sono in parte tra loro correlabili e spiegabili con la presenza dello sbarramento di Isola Serafini: come evidenziato anche in studi precedenti, e confermato nel presente Programma generale, lo sbarramento induce sicuramente effetti sulla dinamica di trasporto. Indubbiamente la combinazione di tali fattori determina un rallentamento della corrente a monte e quindi condizioni medie che favoriscono la deposizione con una sezione liquida molto ampia ed una concentrazione della corrente a valle in sezioni ristrette con sponde "corazzate" e quindi condizioni medie che favoriscono l'erosione del fondo.

Nel grafico di Figura 5.11 sono riportate le variazioni del profilo di fondo medio considerando il ventennio compreso tra gli anni 1979 e 1999, in modo da avere un dato quanto più omogeneo con l'analisi delle tendenze evolutive delle forme di fondo, che come descritto nel capitolo precedente sono state condotte nel ventennio 1982-2002.

Nel medesimo grafico sono riportate inoltre le linee di tendenza della dinamica in atto nel fondo alveo prendendo come riferimento i cinque tratti omogenei in cui è stato suddiviso l'ambito in studio in funzione delle condizioni litologiche, geomorfologiche, sedimentologiche.

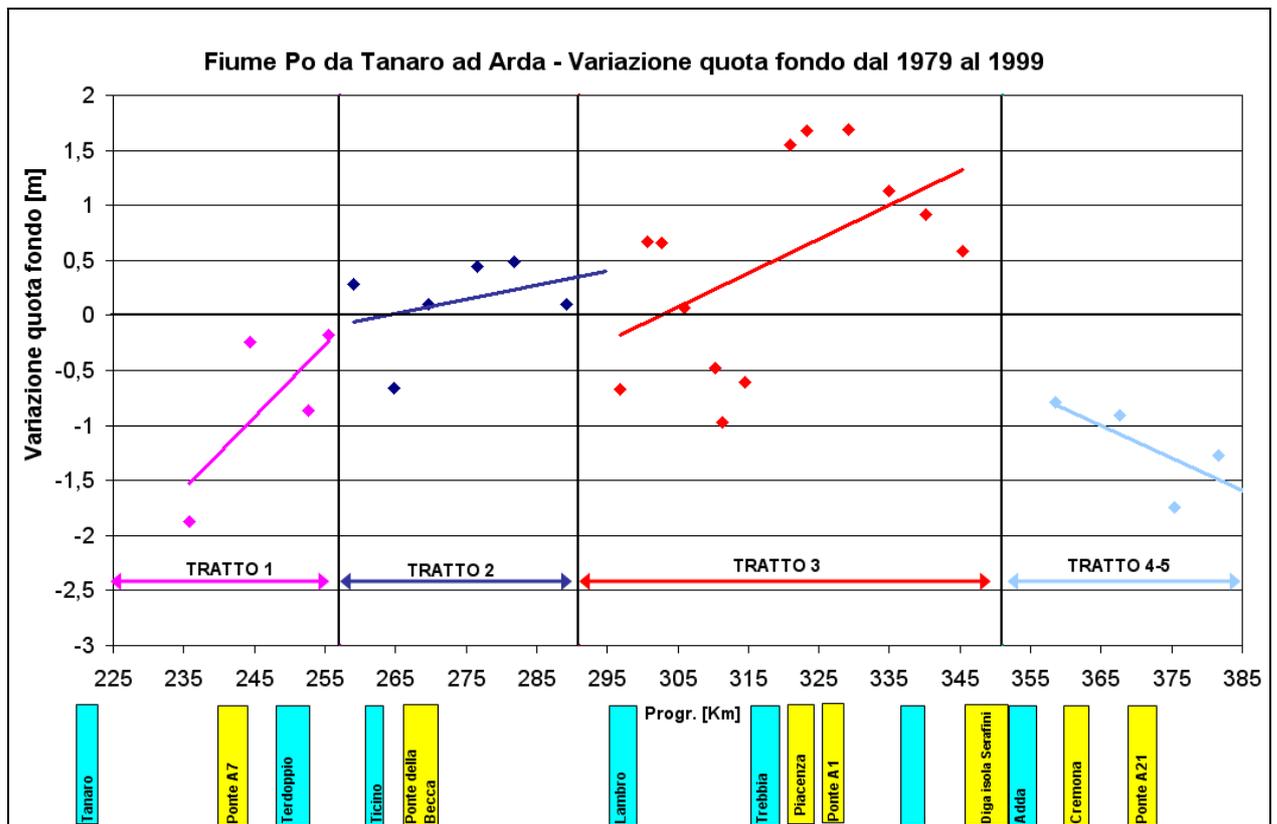


Figura 5.11 - Variazioni delle quote di fondo medio nel ventennio 1979 - 1999

Analizzando il grafico si osserva che:

- il tratto 1 è caratterizzato da fenomeni di erosioni del fondo alveo, che si riducono procedendo da monte verso valle;
- nel tratto 2 si ha una sostanziale condizione di stabilità del fondo alveo, in quanto le variazioni sono contenute e generalmente inferiori a 50 cm;
- il tratto 3 è caratterizzato da una prima parte, fino a foce Trebbia, in cui si verifica un'alternanza di erosioni e depositi, e da una seconda parte, fino a Isola Serafini, in cui, come già descritto in precedenza si verifica un innalzamento delle quote di fondo alveo; tale rialzo è maggiormente localizzato tra le progressive 320 e 340 e correlabile al progressivo "impoverimento" del carico solido della corrente all'approssimarsi di Isola Serafini;
- i tratti 4 e 5 sono invece caratterizzati da notevoli abbassamenti delle quote di fondo alveo.

Il passaggio delle variazioni delle quote di fondo medio alla stima dei volumi complessivamente erosi e depositati sul fondo alveo è stato condotto come segue:

- determinazione della superficie dell'alveo di magra compreso tra due sezioni, utilizzando sia la carta geomorfologica del 1982 che quella del 2002: tale superficie è individuata nell'ambito dell'alveo inciso al netto di tutte le forme censite nell'attività caratterizzazione geomorfologica delle tendenze evolutive delle forme di fondo;
- determinazione della superficie media tra quelle precedentemente misurate;
- moltiplicazione di tale superficie per la media della variazione di quota del fondo alveo relativa a ciascuna delle due sezioni estreme;

- la somma algebrica dei volumi così ottenuti, determina l'andamento dei volumi complessivamente movimentati sul fondo alveo.

L'applicazione di tale metodologia fornisce i risultati rappresentati nel grafico di Figura 5.12.

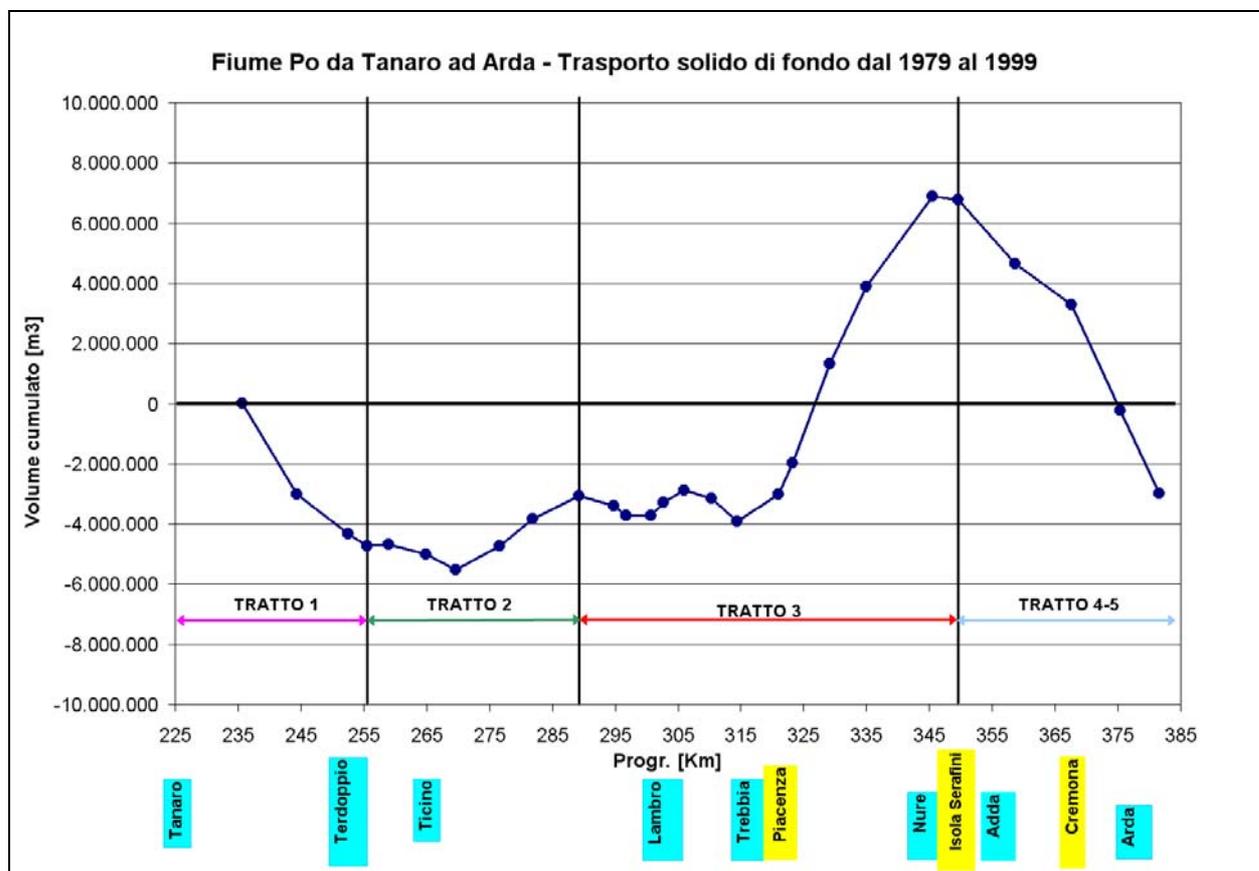


Figura 5.12 - Volume eroso e depositato lungo il fondo alveo

I tratti con pendenza verso il basso sono caratterizzati da erosione, mentre i tratti con pendenza verso l'alto sono caratterizzati da deposito.

Notevole interesse presenta la "campana" tra Piacenza e foce Arda.

Si può osservare come durante il ventennio nel tratto tra Piacenza e Isola Serafini si sia depositato un volume (circa $10'000'000 \text{ m}^3$) pari a quello eroso a valle di Isola Serafini fino alla confluenza con il fiume Arda.

5.5 I contributi esterni al sistema

Per completare il bilancio del trasporto solido secondo la metodologia precedentemente descritta risulta ancora necessario definire i contributi "esterni" al sistema: le estrazioni e gli apporti dagli affluenti.

Come detto entrambi questi dati risultano caratterizzati da livelli di incertezza superiori rispetto ai dati derivanti dall'analisi geomorfologica e dall'analisi idraulica.

Tuttavia la metodologia adottata, che si fonda sulla semplice replicabilità del metodo previa acquisizione iterativa dei nuovi dati via via perfezionati dall'implementazione di una procedura codificata, tenderà nel breve periodo a ridurre in termini assoluti la percentuale di errore che risulta insita in tali dati.

Apporti dagli affluenti

L'ambito di indagine risulta circoscritto all'asta principale del fiume Po dalla confluenza del fiume Tanaro alla confluenza del fiume Arda. Resta escluso pertanto dal Programma generale sia tutto il bacino sotteso dagli affluenti (tra cui nel tratto si citano principalmente il fiume Tanaro, il fiume Ticino ed il fiume Adda) ed il bacino sotteso dal fiume Po a monte della confluenza con il fiume Tanaro. Tali apporti risultano significativi ed eventuali errori nella determinazione del regime medio di ingresso dei sedimenti può avere ripercussioni sia a scala locale sia a scala di tratto omogeneo.

Tra gli studi consultati quello di maggior completezza per le informazioni ricercate è il Sottoprogetto SP4 "Compatibilità delle attività estrattive" (1995), in particolare l'attività 4.8 "Definizione di un modello di bilancio del trasporto solido nel bacino".

Lo studio è stato scelto in quanto affronta la tematica del trasporto solido nell'intero bacino del fiume Po e quindi fornisce dati tra loro omogenei su tutti gli affluenti nel tratto in studio, oltre che sull'asta del fiume Po a monte di confluenza Tanaro.

In sintesi lo studio si fonda sui seguenti principi:

- l'apporto dei bacini montani (identificati in numero di 40) è calcolato mediante l'applicazione del metodo di Gavrilovic con erosione specifica variabile tra un minimo di 0,06 ed un massimo di 0,42 mm/anno. Il calcolo è ripetuto per un trentennio (1949-1978) verificando la sostanziale invarianza del potenziale apporto in relazione alla variazione del regime pluviometrico;
- l'apporto effettivo dei tratti di pianura dei corsi d'acqua a monte della confluenza in fiume Po è stato calcolato mediante confronto tra le aree bagnate (per la portata Q10) in rilievi temporalmente distinti ovvero mediante l'applicazione di formulazioni teoriche basate sulla capacità di trasporto nei casi in cui si disponeva di un solo rilievo o si conoscevano solo geometrie medie per tratti.

I principi, come sopra definiti, in effetti si discostano da quelli adottati nel presente Programma generale, specie per l'ipotesi di calcolo basate sulla variazione di volumetria dell'alveo. Come già discusso, infatti, i volumi idrici compresi nelle sezioni non tengono conto di tutte le dinamiche in atto nell'alveo inciso (fenomeni in atto localizzati tra due sezioni successive non vengono presi in considerazione). Per evitare errori grossolani tuttavia si dovrebbe disporre di sezioni localizzate in corrispondenza di ogni singolarità rilevante: ad esempio se si dispone di due sezioni a distanza di 1 chilometro tra cui è compresa una forma di fondo che nel periodo temporale si è evoluta, tale informazione è del tutto "invisibile" e quindi tali volumi non rientrano nel computo finale. L'utilizzo di tale metodologia, pertanto, deve essere preceduta da un attento esame della morfologia dell'alveo relativamente ai rilievi utilizzati per eseguire il confronto e da una stima dell'errore introdotto trascurando ciò che non viene individuato dalle sezioni trasversali disponibili. Seppur tale metodologia porti a stimare in modo decisamente meno dettagliato, rispetto alla metodologia utilizzata nel presente Programma generale per il fiume Po, tutte le dinamiche evolutive in atto nell'alveo inciso (erosioni di sponda, depositi di barra, ecc.) oltre che a quanto avviene nel fondo alveo, i risultati conseguenti in termini di apporto medio annuo alle sezioni di confluenza sono stati utilizzati (previa verifica sommaria di congruenza del dato con i valori medi di letteratura) nel modello di bilancio qui esposto.

Nel seguito è riportata la tabella con l'apporto medio annuo di ciascun affluente.

CORSO D'ACQUA	PROG. PO	APPORTO ANNUO
	[m]	m ³
PO monte	224.300	480.452
TANARO	224.600	101.058
SCRIVIA	237.600	16.318
AGOGNA	238.900	12.190
CURONE - STAFFORA - TERDOPPIO	255.300	15.000
TICINO	269.400	398.124
OLONA - TIDONE	297.100	10.000
LAMBRO	305.100	35.721
TREBBIA	326.300	28.931
NURE	345.900	3.307
CHIAVENNA	355.100	2.286
ADDA	362.600	136.892

Tabella 5.6 – Apporto solido medio annuo proveniente dagli affluenti

I dati sopra calcolati non risultano temporalmente omogenei con l'orizzonte temporale del presente Programma generale (1982-2002), ma tuttavia, vista l'analisi condotta nel medesimo Sottoprogetto SP4 in merito alla sostanziale invarianza nel trentennio degli apporti delle zone di monte, si è assunto tale insieme di dati come valido.

Il dato è stato unicamente rimodulato considerando che nei 20 anni di indagine si sia effettivamente avuto un apporto pari ad almeno 22 anni, considerando il fatto che il dato derivante da SP4 si riferisce all'anno idrologicamente medio mentre nel ventennio 1982 – 2002 si sono verificate due piene straordinarie (1994 e 2000), per cui si è stimato (in analogia a studi precedenti e dati di letteratura) un apporto concentrato di trasporto solido durante ciascuna piena straordinaria, pari all'apporto medio annuo.

Estrazioni

Oltre al dato degli apporti da monte e dagli affluenti, significativa influenza nel bilancio di trasporto solido assume la voce relativa all'estrazione di inerti dal corso d'acqua.

La stima della voce in oggetto, che dovrebbe costituire una certezza in quanto normata ed assentita caso per caso, di fatto presenta valori di elevata aleatorietà dovuta alla frammentazione del dato (archiviato presso ciascuna sede operativa AIPO), all'imprecisa localizzazione delle singole autorizzazioni (in molti casi è noto unicamente il comune ove è stata concessa l'estrazione), all'esecuzione di svasi per motivi di sicurezza idraulica con archiviazione separata, all'effettiva durata della concessione e pertanto al periodo in cui viene prelevato il materiale ed infine alle estrazioni abusive, delle quali non è possibile conoscere né la localizzazione, né tanto meno la quantità.

Le fonti ufficiali, da cui abbiamo reperito i dati relativi alle estrazioni sono, come detto, le sedi AIPO provinciali di: Alessandria, Pavia, Piacenza e Cremona.

E' stato effettuato un incontro presso ciascuna sede e sono stati visionati i registri ufficiali su cui sono riportate le concessioni e/o autorizzazioni all'estrazione. Occorre premettere come tali fonti informative non siano omogenee tra loro e pertanto come sia difficile uniformare il dato. Inoltre in nessun caso è risultato possibile acquisire i progetti o le planimetrie di dettaglio dei singoli interventi ovvero le contabilità finale a chiusura dell'attività.

Per quanto sopraccitato il dato relativo alle singole estrazioni risulta "carente" e quindi di minor affidabilità rispetto ai dati relativi ad erosioni, deposizioni, ecc.

A parziale soccorso di tali imprecisioni o mancanze di dati è intervenuta la scelta dell'orizzonte temporale di analisi (1982-2002) e del metodo utilizzato.

Per quanto concerne l'orizzonte temporale si evidenzia come si operi in un periodo che, a seguito di apposite normative, le estrazioni dai corsi d'acqua di fatto risultano impedito o quanto meno assai limitate ad eccezione di quanto già assentito in passato e non ancora esaurito.

Per quanto concerne la metodologia (analisi puntuale di carattere geomorfologico ed idraulico) si evidenzia come, anche nel caso in cui il bilancio sia affetto da errori, il risultato finale in termini di evoluzione nel periodo contenga di fatto tutti i dati. In altre parole l'evoluzione che si è riscontrata nel fiume Po nel periodo 1982-2002 è costituita dall'insieme di tutti gli elementi considerati anche se gli stessi sono stimati in forma approssimata. In ultima analisi pertanto si può concludere che, anche se i singoli numeri del bilancio non sono tutti affidabili allo stesso modo, il risultato finale non risente dello stesso ordine di grandezza di errore.

Come per le altre componenti risulta tuttavia fondamentale che nel breve periodo si arrivi ad un archivio unico dei dati estrattivi con controllo ed aggiornamento annuale.

Nella seguente tabella sono riportati i dati reperiti presso le sedi AIPO provinciali ed inseriti (abbinati alla progressiva ipotizzata o rilevata dell'intervento) nel modello di bilancio.

	AIPO Alessandria	AIPO Pavia	AIPO Piacenza				AIPO Milano	AIPO Cremona
Sponda SX		<i>da Tanaro a Lambro</i>					<i>da Lambro a Adda</i>	<i>da Adda a Arda</i>
prog. Iniziale	-	224300	-	-	-	-	305100	362600
prog. Finale	-	305100					362600	386900
	-	80800	0	0	0	0	57500	24300
Sponda DX	<i>da Tanaro a Scrvia</i>	<i>da Scrvia a Pievetta</i>	<i>da Pievetta a Trebbia</i>	<i>da Trebbia a Nure</i>	<i>da Nure a Isola Serafini</i>	<i>da Isola Serafini a Arda</i>	-	-
prog. Iniziale	224300	237600	289300	326300	345900	357300		
prog. Finale	237600	289300	326300	345900	357300	386900		
	13300	51700	37000	19600	11400	29600	0	0
1982	18.900	1.099.700	-	-	-	-		-
1983	45.100	472.150	-	-	-	-		-
1984	11.000	561.470	196.000	673.860	-	50.500		-
1985	48.600	318.250	201.200	160.500	70.000	45.000		142.840
1986	21.000	406.750	71.000	348.000	75.000	-		145.240
1987	14.250	325.850	148.100	681.440	97.000	-		160.800
1988	37.000	513.390	165.200	45.400	32.500	-		75.800
1989	39.100	40.000	88.900	206.932	18.600	-		100.600
1990	-	41.000	-	23.600	-	-		7.468
1991	120.900	-	-	-	-	-		38.664
1992	60.100	-	-	-	-	-		14.742
1993	-	-	-	-	-	-		-
1994	-	-	-	-	-	-		24.478
1995	-	-	-	-	-	-		5.400
1996	-	-	-	-	-	-		11.664
1997	-	-	-	-	-	-		5.832
1998	-	-	-	-	-	-		12.333
1999	-	-	-	19.500	-	-		-
2000	-	-	-	19.750	-	-		-
2001	-	-	-	-	3.860	-		-
2002	-	-	10.000	-	-	242.767		2.430
m3 tot	415.950	3.778.560	880.400	2.178.982	296.960	338.267	-	748.291
m3/m sponda sx		29					0	31
m3/m sponda dx	31	29	24	111	26	11		

Tabella 5.7 – Estrazioni di inerti secondo i dati di concessione recuperati presso sedi AIPO

5.6 *Il bilancio del trasporto solido*

In base a quanto definito nei precedenti paragrafi, nel grafico di Figura 5.13 sono riportate le cumulate dei singoli fattori che partecipano alla definizione del bilancio del trasporto solido:

- erosioni di sponda;
- erosioni di barra;
- depositi di sponda;
- depositi di barra;
- apporti da affluenti;
- estrazioni;
- deposito di fondo alveo,
- erosione di fondo alveo.

La somma algebrica lungo la progressiva di ogni singola voce determina la portata di trasporto solido (in termini di metri cubi nel ventennio) che è transitata nella detta sezione.

In termini assoluti il primo elemento di bilancio che si ricava dall'analisi del grafico è una sostanziale capacità di trasporto omogenea (da confluenza Tanaro a confluenza Trebbia circa) pari in media a $500'000 \div 600'000$ metri cubi all'anno.

Come evidente infatti il trasporto solido lungo la progressiva oscilla tra un valore di $11'000'000$ ed un valore di $15'000'000$ milioni circa. Le oscillazioni maggiori in positivo si evidenziano in corrispondenza degli affluenti (Tanaro e Ticino) a cui seguono tratti, più o meno lunghi, in cui la dinamica fluviale tende a redistribuire il "carico eccedente" ricevuto in modo da riportarsi al valore caratteristico. Tale dinamica risulta particolarmente evidente a valle della confluenza del fiume Ticino: tale affluente è in grado di raddoppiare l'apporto solido, ma nei successivi 25 chilometri circa (sino alla progressiva 294, a monte della confluenza con il Tidone) la portata di trasporto solida tende progressivamente a diminuire fino a riportarsi al valore caratteristico sopraccennato.

In sintesi si osserva un sostanziale equilibrio globale del corso d'acqua determinato tuttavia da una serie di fattori in disequilibrio (equilibrio dinamico):

- nella zona a monte della confluenza con il Ticino si ha un equilibrio attorno al valore di $500'000$ metri cubi annui, dettato da notevolissimi fenomeni di erosione spondale, di fondo e di barre compensati da altrettanto significativi fenomeni di accrescimento spondale, di deposito di barre e dagli apporti degli affluenti (in particolar modo il fiume Tanaro);
- nella zona a valle della confluenza con il Ticino l'equilibrio è dettato da un forte accrescimento delle barre che compensano gli apporti esterni (Ticino) e le erosioni spondali.

Nei due tratti, pertanto, si assiste ad una notevole dinamica che coinvolge tutto l'alveo inciso, sia in termini planimetrici che in termini altimetrici a monte del Ticino e prevalentemente in termini planimetrici (ciò che viene eroso dalle sponde o apportato dall'esterno viene a depositarsi in prevalenza sulle barre o viene estratto) a valle del Ticino.

Detto equilibrio viene alterato approssimandosi a Isola Serafini. Nel tratto a valle di Piacenza infatti si assiste alla seguente dinamica:

- planimetricamente l'alveo inciso appare sostanzialmente fermo, in quanto i fenomeni di accrescimento o erosione di sponda e/o barra sono pressoché nulli a partire dalla confluenza Trebbia (progressiva 324,00);
- non sono presenti apporti significativi dagli affluenti (Tidone, Lambro, Trebbia, Nure);
- il regime delle estrazioni si mantiene significativo e in linea con i tratti di monte;
- il fondo presenta una dinamica di deposito.

Detta dinamica culmina con il pressoché totale azzeramento del trasporto solido in corrispondenza di Isola Serafini. In altri termini il transito di portata solida al fondo nel ventennio 1982-2002 appare del tutto trascurabile alla sezione sottesa dallo sbarramento. Il termine "trascurabile" deve essere letto come valore marginale rispetto al valore di 10'000'000 – 15'000'000 che caratterizza tutto il tratto a monte per oltre 100 chilometri.

A valle dello sbarramento di Isola Serafini si assiste ad un progressivo aumento del trasporto solido, con recupero di circa il 50% del valore di monte (5'000'000 di metri cubi) entro il termine del tratto in studio (36 chilometri fino a confluenza Arda) con tendenza costante ed omogenea e senza segnali di attenuazione. Tale recupero è determinato dall'abbassamento del fondo alveo che risulta solo in parte compensato dalla formazione di barre. I due fenomeni hanno tendenza pressoché omogenea in tutto il tratto e pertanto risulta necessario indagare la zona di valle al fine di verificare la prevalenza di uno o l'altro aspetto e di valutare l'influenza del regime delle estrazioni su tale dinamica. Dette estrazioni (pari ad alcuni milioni di metri cubi secondo i dati ufficiali) rivestono un ruolo non marginale.

Nella sostanza il modello utilizzato consente di leggere il bilancio di trasporto solido nelle sue varie componenti e di attribuire a ciascuna di esse il corretto peso nell'evoluzione del ventennio.

In sintesi si rileva che il Po, nel tratto in studio, è un corso d'acqua che presenta caratteristiche di stabilità ed equilibrio nel suo complesso, pur se lo stesso è determinato da notevoli dinamiche spondali, di fondo, di apporto esterno e di estrazione.

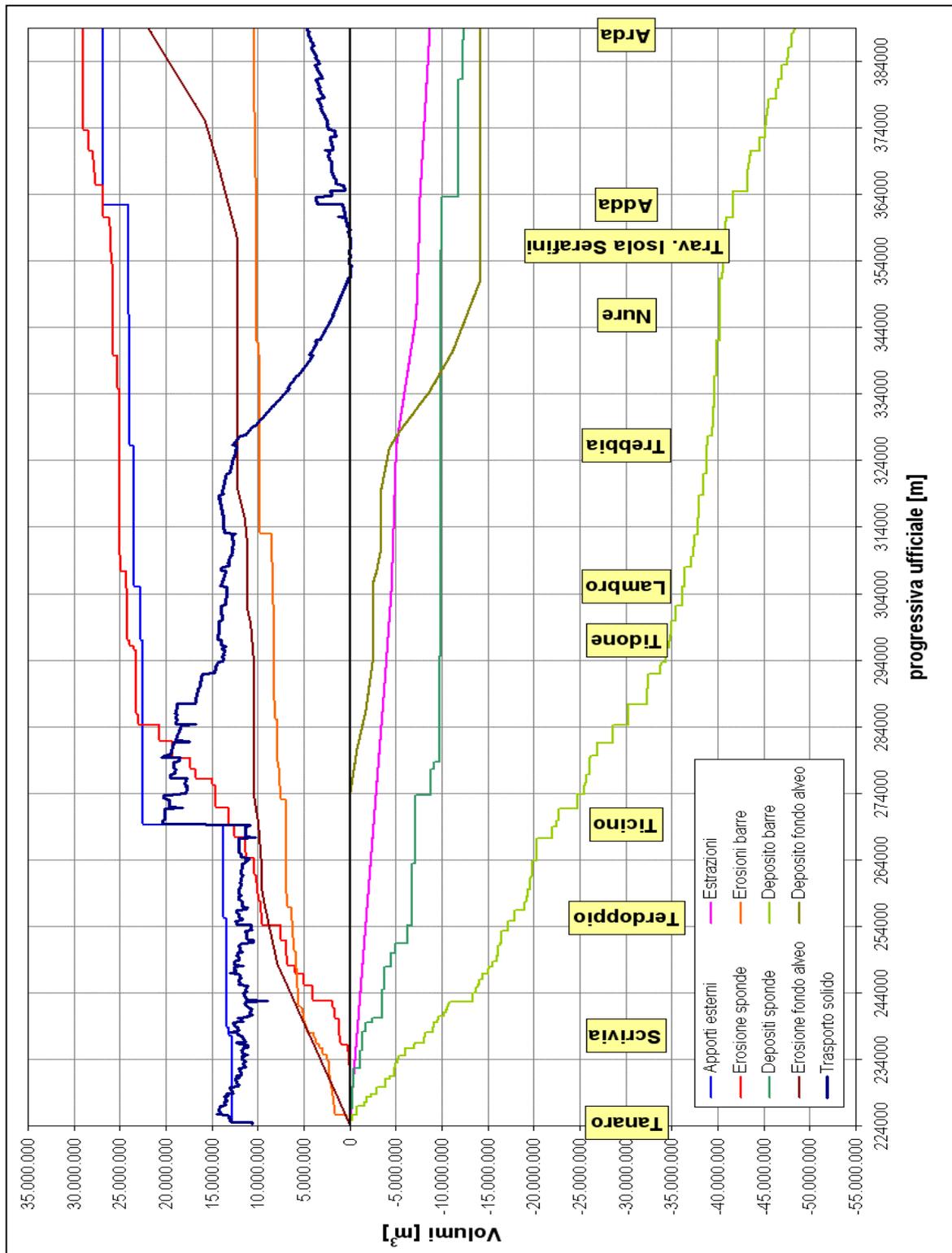


Figura 5.13 – Diagramma del bilancio del trasporto solido

6. L'assetto attuale del corso d'acqua e le condizioni di criticità

6.1 La "Cartografia dell'assetto attuale"

Il presente capitolo ha la finalità di sintetizzare il quadro delle conoscenze attualmente disponibili in relazione al tema della gestione dei sedimenti alluvionali del corso d'acqua.

Utilizzando i dati già disponibili e sintetizzando le analisi idrauliche e geomorfologiche condotte appositamente nell'ambito del presente Programma generale si è definito l'assetto attuale lungo l'intera asta in oggetto. All'interno di tale assetto sono state messe in evidenza le principali criticità e potenzialità del sistema fluviale analizzato.

L'assetto attuale è rappresentato in un cartogramma di sintesi (Allegato 3) e in una cartografia tematica, in scala 1:25'000, (Allegato 4), in cui sono riportati tutti gli elementi significativi.

In particolare sono riportate le seguenti categorie di informazioni:

- caratterizzazione dell'alveo di magra (progressiva ufficiale);
- usi antropici (porti, approdi, derivazioni ad uso irriguo ed industriale, cave, pioppeti, ecc.);
- infrastrutture di attraversamento;
- argini;
- opere di difesa;
- caratterizzazione dello stato attuale dell'alveo inciso.

Per quanto concerne la caratterizzazione dell'alveo inciso, sono riportate le seguenti informazioni:

- evoluzione del fondo medio dell'alveo nel periodo 1979 – 1999;
- deposito di sponda formatosi nel periodo 1982 – 2002;
- barre preesistenti al 1982;
- depositi di barra formati nel periodo 1982 – 2002;
- fenomeni erosivi formati nel periodo 1982 – 2002;
- trasporto solido.

Nella Figura 6.1 viene riportata la legenda della cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua, all'interno della quale si possono riconoscere, tra l'altro, le categorie sopra riportate.



Figura 6.1 – legenda cartografia assetto attuale del corso d'acqua

Nel dettaglio vengono di seguito riprese e descritte le varie categorie di informazioni riportate all'interno della cartografia, utilizzate per definire l'assetto attuale del corso d'acqua.

6.2 Le dinamiche in atto nell'alveo inciso

All'interno dell'alveo inciso sono in atto diverse dinamiche con riferimento alle forme di fondo, alle sponde e al fondo alveo. Nella cartografia sono state riportate le caratteristiche salienti di tali tendenze evolutive evidenziando le possibili situazioni di criticità ad esse connesse.

L'evoluzione del fondo medio dell'alveo

Per quanto riguarda il fondo alveo, in corrispondenza delle sezioni Brioschi, si fornisce una valutazione della tendenza evolutiva; in particolare si sono distinti tre casi:

- fondo alveo con tendenza all'abbassamento, nel caso in cui la variazione della quota di fondo medio tra il 1979 e il 1999 sia inferiore a -0,5 m;
- fondo alveo con tendenza all'innalzamento, nel caso in cui la variazione della quota di fondo medio tra il 1979 e il 1999 sia superiore a 0,5 m;
- fondo alveo con tendenza alla stabilità, nel caso in cui la variazione della quota di fondo medio tra il 1979 e il 1999 sia compresa tra -0,5 m e 0,5 m.

Anche se l'intervallo di stabilità -0,5 e 0,5 m può sembrare ampio, in realtà lo stesso è coerente con i livelli di precisione attesa per la qualità e la quantità dei rilievi multitemporali oggi disponibili. L'infittimento (spaziale e temporale) dei rilievi, in futuro potrà ridurre tale intervallo a valori decisamente inferiori e più consoni alle problematiche da indagare ed alle risposte ricercate.

Come precedentemente descritto in relazione, è bene sottolineare come le linee evolutive del fondo alveo sono state determinate non confrontando i thalweg a varie epoche, ma confrontando i profili di pelo libero di magra. Questi infatti conducono ad una rappresentazione idraulica assai più rappresentativa per lo scopo di cui sopra, dal momento che il pelo libero si dispone sempre al di sopra delle irregolarità del fondo e con quote idriche sempre decrescenti verso valle.

Nella Figura 6.2 viene riportato uno stralcio della cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua in cui sono riportate le informazioni legate alle dinamiche in atto nel fondo alveo.

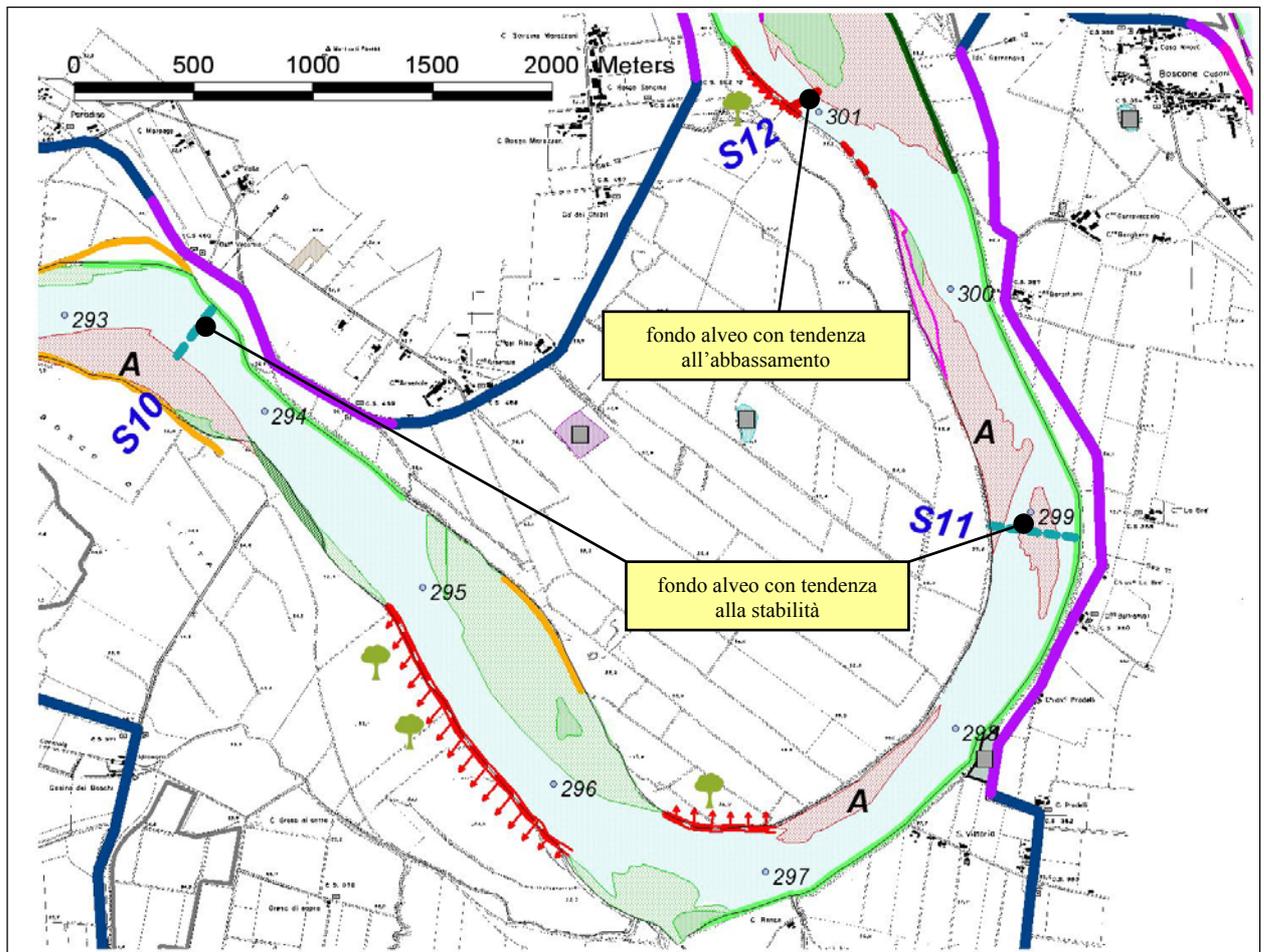


Figura 6.2 - Cartografia assetto attuale con caratterizzazione fondo alveo

Le forme di fondo

Per quanto riguarda i fenomeni di deposizione delle forme di fondo e delle sponde, nella cartografia sono state riportati i seguenti elementi, ricavati dall'analisi geomorfologica delle tendenze evolutive:

- depositi di barra preesistenti al 1982;
- depositi di barra formati nel periodo compreso tra il 1982 e il 2002;
- depositi di sponda formati nel periodo 1982 – 2002.

Ad ogni elemento si è attribuito un giudizio relativamente al fatto che lo stesso possa indurre criticità, oppure se sia in grado di indurre effetti positivi o comunque non negativi.

La possibilità di indurre criticità è legato al fatto che:

- l'elemento è in grado di indirizzare la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche (in cartografia le criticità di questo tipo sono definite con la lettera A);
- l'elemento è in grado di limitare od ostacolare gli usi antropici, come ad esempio le opere di derivazione, i porti, gli attracchi più importanti, ecc. (in cartografia le criticità di questo tipo sono definite con la lettera B);
- l'elemento, posto in prossimità di infrastrutture di attraversamento, presenta una vegetazione idraulicamente critica, nel senso che in caso di rimozione della

stessa durante la piena, si viene a creare un'ostruzione parziale dei manufatti di attraversamento (in cartografia le criticità di questo tipo sono definite con la lettera C);

- l'elemento ha dimensioni tali da ridurre la capacità idraulica dell'alveo inciso, sebbene tale riduzione si sia dimostrata comunque compatibile con le dinamiche in atto (in cartografia le criticità di questo tipo sono definite con la lettera D).

L'eventuale effetto positivo indotto dall'elemento è associato al fatto che l'elemento stesso è localizzato in posizione tale, ad esempio, da proteggere un'opera di difesa dall'azione della corrente ordinaria. Comunque per tutte quegli elementi che non inducono gli effetti indesiderati precedentemente elencati, sono stati definiti come "elemento che non induce criticità o induce effetti positivi".

Nella Figura 6.3 viene riportato uno stralcio della cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua in cui sono riportate alcune tipologie di forme di fondo, secondo quanto sopra riportato.

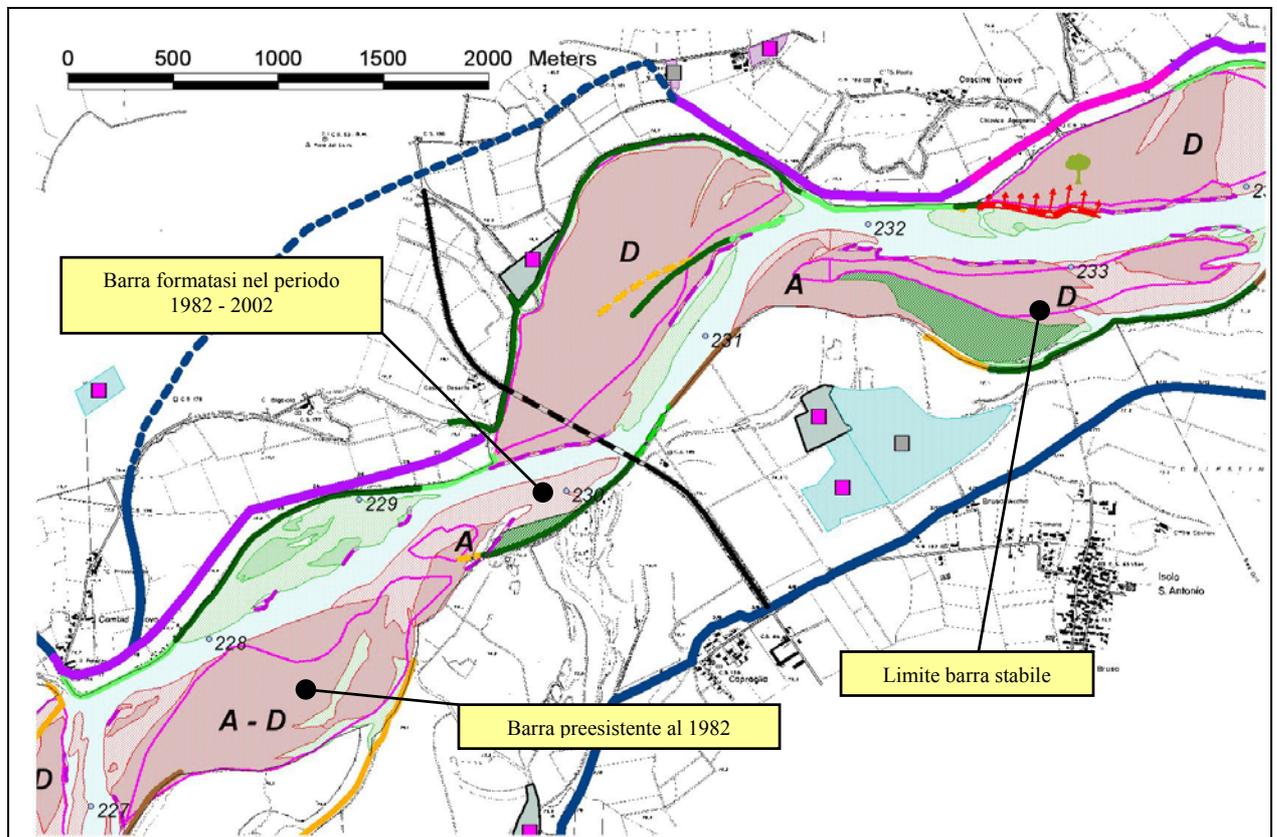


Figura 6.3 - Cartografia assetto attuale con caratterizzazione forme di fondo

Ogni forma di fondo è stata caratterizzata mediante l'utilizzo di un modello idraulico monodimensionale a fondo fisso (Mike 11), il quale ha permesso di:

- determinare la portata limite di sommergenza di ogni elemento morfologico (barre, isole);
- valutare gli effetti sulla capacità idraulica e sulle caratteristiche dell'alveo inciso che potrebbero derivare da eventuali interventi di rimozione di sedimenti e di rimodellamento degli elementi morfologici più importanti, fra cui:

- riduzione in altezza delle dimensioni di alcune barre presenti nel tratto di fiume compreso tra la foce del Tanaro e la località di Pancarana;
- abbassamento dell'isolotto Maggi, in corrispondenza di Piacenza;
- apertura del canale in sponda destra, sempre in corrispondenza dell'isolotto Maggi;
- apertura del canale in sponda destra in corrispondenza dell'isola presente in prossimità della località di Boscone Cusani;
- apertura del canale in sponda sinistra in corrispondenza dell'isola presente in prossimità della località di Mezzana Vigoleno.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei risultati ottenuti.

Considerando il tratto di fiume compreso tra la foce Tanaro e la località Pancarana, punto in cui il corso d'acqua perde la configurazione "braided", si è ipotizzata l'asportazione di materiale in corrispondenza di barre che sono state definite stabili, ricoperte da vegetazione o alberate che non hanno subito modifiche nell'arco temporale che va dal 1982 al 2002.

Tali estese estrazioni (circa 7'000'000 m³) producono effetti idraulici di modesta entità e comunque tali da non giustificare tale tipologia di intervento. In particolare gli effetti riguardano una variazione contenuta e locale dei tiranti idrici dell'ordine di qualche decina di centimetri, in corrispondenza di portate variabili tra 4'000 m³/s e 9'000 m³/s, con conseguente ridotto incremento della capacità idraulica dell'alveo inciso (5 – 10 % massimo). A ciò va aggiunto il fatto estesi interventi di estrazione su barre non sono compatibili con l'assetto morfologico e ambientale del corso d'acqua

Inoltre con riferimento agli aspetti idraulici occorre osservare come l'incremento di capacità dell'alveo inciso non sia, in senso assoluto un obiettivo da perseguire, ma debba essere sempre rapportato alla funzionalità del sistema difensivo presente. Tale incremento, infatti, determina la riduzione di capacità di laminazione naturale del corso d'acqua all'interno delle fasce fluviali, la riduzione dei tempi di traslazione delle piene, il conseguente incremento dei colmi di piena a valle oltre che la tendenza ad incrementare la tendenza ad incidere il fondo in quanto le portate vengono concentrate nell'alveo senza interessamento delle golene.

Anche con riferimento all'ipotesi di abbassamento dell'isolotto presente in prossimità di Piacenza (di circa 2-4 m), le risultanze delle analisi idrauliche condotte hanno evidenziato una scarsa influenza in termini di riduzione dei tiranti idrici per portate variabili tra 4'000 m³/s e 9'000 m³/s, e di incremento della capacità idraulica dell'alveo.

Viceversa, per quanto riguarda l'ipotesi di apertura di canali in corrispondenza delle isole sopra riportate, l'intervento, oltre ad rivestire una maggiore compatibilità con gli aspetti morfologici ed ambientali, produce effetti idraulici positivi, in termini di riduzione dell'azione erosiva della corrente in corrispondenza della sponda più prossima agli argini maestri, mediante la redistribuzione della corrente in entrambi i canali.

I fenomeni erosivi

Per quanto riguarda i fenomeni di erosione verificatisi nel ventennio 1982 – 2002, nella cartografia sono riportati i seguenti elementi, ricavati dall'analisi geomorfologica delle tendenze evolutive:

- fronte attivo di erosione spondale: rappresenta l'attuale limite della sponda che nel ventennio considerato ha subito un'arretramento ad opera di fenomeni erosivi in atto;
- fronte potenziale di erosione spondale: rappresenta un tratto di sponda che nel ventennio 1982 – 2002 è rimasto stabile, ma per il quale si prevede una tendenza futura all'erosione e al progressivo arretramento del fronte esposto all'azione della corrente fluviale;
- tendenza erosione spondale attiva: rappresenta indicativamente il possibile avanzamento, considerando una proiezione temporale pari a 20 anni, del fronte di erosione attivo;
- fronte attivo di erosione di barra: rappresenta l'attuale limite della barra che nel ventennio considerato ha subito un'asportazione di materiale conseguente all'azione erosiva della corrente;
- fronte potenziale di erosione di barra: rappresenta un tratto di barra che nel ventennio 1982 – 2002 è risultata essere vegetata e stabilizzata, ma per la quale si prevede una tendenza evolutiva all'erosione e al progressivo arretramento.

Nella Figura 6.4 viene riportato uno stralcio della cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua in cui sono riportate alcune tipologie di fenomeni erosivi, secondo quanto sopra riportato.

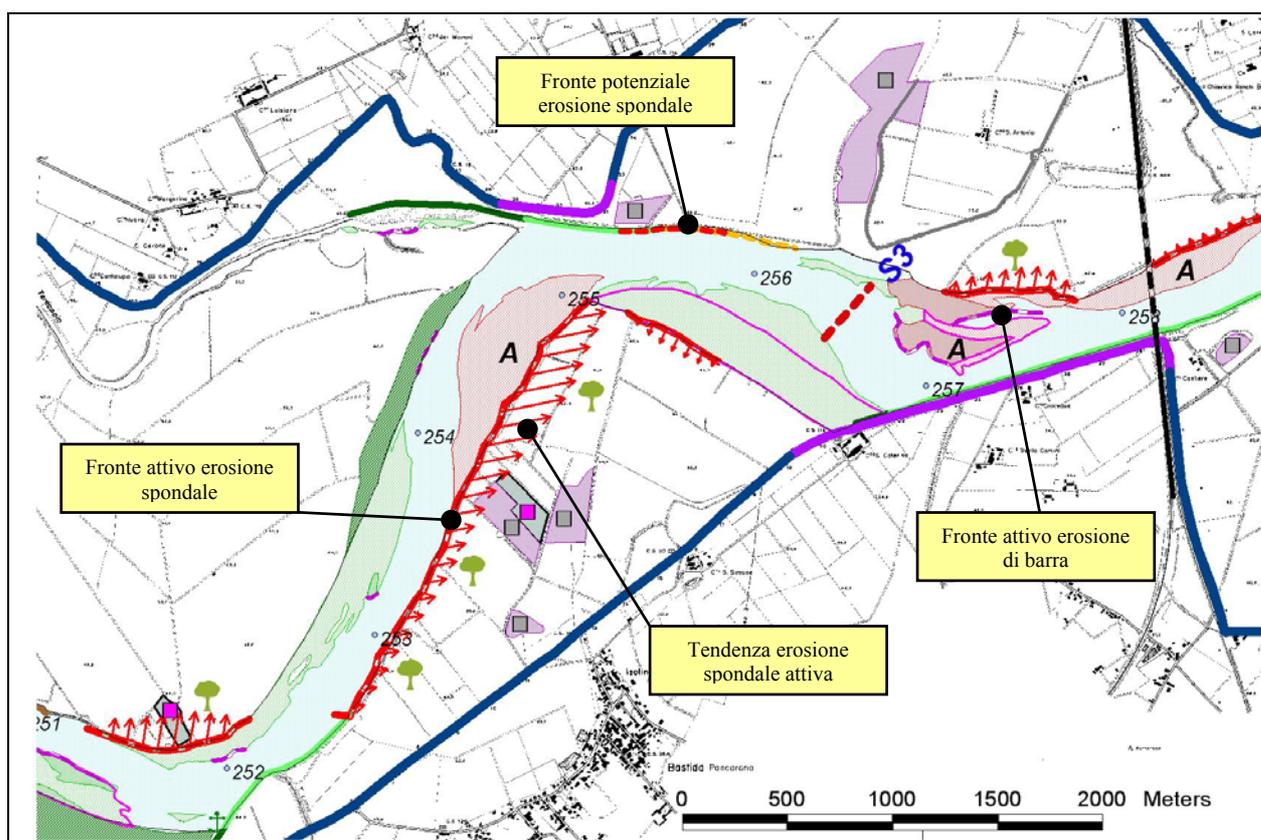


Figura 6.4 - Cartografia assetto attuale con caratterizzazione fenomeni erosivi

6.3 Il sistema difensivo

Gli argini

Lungo il Po è presente un esteso sistema di difese arginali, costituito da argini maestri, posti a delimitare l'alveo di piena del Po, e da argini golenali, posti a difesa di alcune aree golenali.

Mentre gli argini golenali sono presenti solo saltuariamente laddove più intense si sono manifestate nel tempo le richieste di protezione rispetto alle piene più frequenti, le arginature maestre sono presenti con continuità sia in sponda destra che in sponda sinistra, con isolate interruzioni, tra cui quelle ove il terrazzo morfologico assume quote sufficienti per la sicurezza idraulica. In alcuni tratti dove oggi sono presenti interruzioni del sistema arginale, la pianificazione di bacino vigente (P.A.I. – Piano per l'Assetto Idrogeologico) ha previsto la necessità di nuovi argini, allo scopo di dare continuità quelli esistenti (in particolare le località interessate da tali interventi sono: Pieve del Cairo, Balossa Bigli, San Cipriano Po, Port'Albera, Arena Po).

Ovviamente gli argini maestri sono opere da salvaguardare, in seguito alla funzione di difesa che essi svolgono. E' appena il caso di ricordare come tali rilevati difendono dalle inondazioni circa 7000 km² di pianura padana e che delle 225 rotte verificatesi negli ultimi duecento anni (come risulta da un recente lavoro condotto dal CNR IRPI per conto dell'Autorità di bacino del fiume Po) parte di esse sia strettamente connessa a fenomeni di instabilità planimetrica dell'alveo del fiume.

Le arginature maestre sono state pertanto classificate, a seconda della loro condizione di criticità, e cioè della loro posizione rispetto alla sponda dell'alveo inciso (sponda stabile o fronte di erosione attiva con proiezione ventennale) e a seconda della presenza o meno di opere di protezione. Nei riguardi della posizione è stata individuata una distanza *d* "di attenzione" con estensione di 200 m, intesa come la distanza tra gli argini maestri e la sponda incisa, al di sotto della quale può manifestarsi la necessità di salvaguardia. La cartografia riporta in particolare:

- argine maestro arretrato ($d > 200$ m) rispetto alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale, pari a quella registrata nel periodo 1982 – 2002;
- argine maestro prossimo ($d < 200$ m) alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale, protetto da opere di difesa dall'erosione (scogliere, primate, ecc.) della sponda dell'alveo inciso;
- argine maestro prossimo ($d < 200$ m) alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale non protetto da opere di difesa dall'erosione (scogliere, primate, ecc.) della sponda dell'alveo inciso.

Lungo i 170 km di fiume Po in studio sono presenti, complessivamente in sponda sinistra ed in sponda destra, circa 294 km di arginature; le tre tipologie di argini presentano il seguente sviluppo:

- 219'700 m di tipo arretrato (75% del totale);
- 70'680 m di tipo prossimo e protetto (24% del totale);
- 3'140 m di tipo prossimo non protetto (1% del totale).

L'ultima tipologia di argini (1%) rappresenta una criticità, in quanto l'azione dell'acqua risulta essere prossima al corpo arginale, mentre la seconda tipologia (24%) rappresenta una situazione di attenzione, in quanto il possibile cedimento o ammaloramento dell'opera di difesa porterebbe l'argine a condizioni di criticità.

Nella Figura 6.5 è riportato uno stralcio della cartografia dell'assetto attuale, nel quale sono evidenziati le tre tipologie con le quali sono stati classificati gli argini maestri.

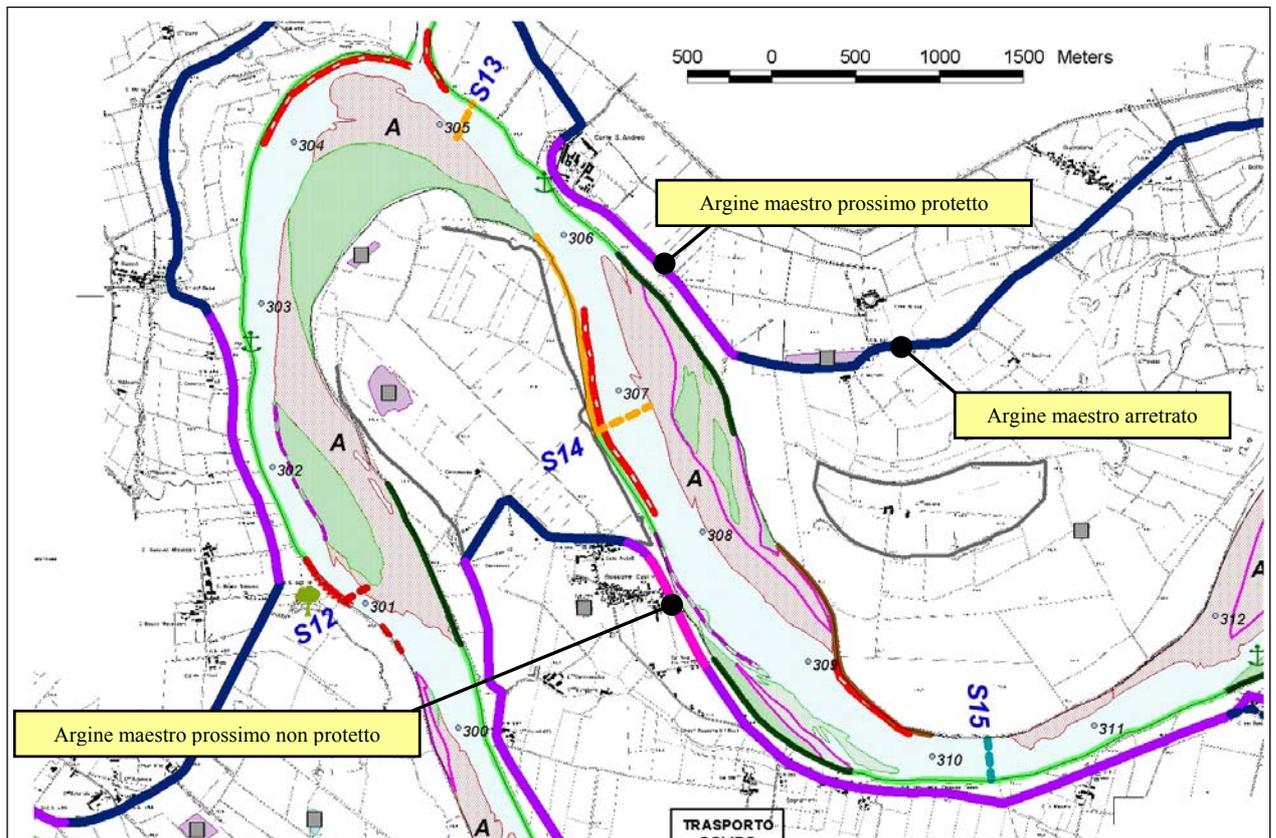


Figura 6.5 – Cartografia assetto attuale con caratterizzazione argini maestri

Le opere di difesa spondale

Lungo l’asta del Po in esame sono presenti diverse opere di difesa (longitudinali e pennelli), realizzate laddove, nel tempo, si sono manifestate o attese azioni erosive della corrente fluviale in prossimità di aree o infrastrutture da proteggere.

Alcune difese spondali presentano spesso tracciati e sviluppi che risentono delle variabili necessità di protezione locale delle aree golenali, allorché nell’evoluzione dinamica delle forme fluviali la curvatura dell’alveo di magra o dell’intero alveo inciso ha condotto allo sviluppo di pesanti azioni erosive concentrate. Soprattutto nel primo tratto da Tanaro a Ticino, di tipo pluricursale, le difese spondali presentano giaciture e andamenti planimetrici che evidentemente risentono delle progressive trasmigrazioni degli alvei volta per volta più pericolosi. Ad esempio in Figura 6.6 sono mostrate nel tratto pluricursale a valle di foce Tanaro alcune vecchie difese spondali attualmente inefficaci essendo ormai completamente assorbite all’interno di depositi di sponda, ed altre difese di sponda che invece sono oggi attive. Naturalmente la rapida dinamica del Po, qualora essa tornasse ad essere effettivamente libera di esplicarsi, potrebbe condurre sia ad una nuova vita delle difese oggi inattive, sia all’obsolescenza di quelle oggi attive.

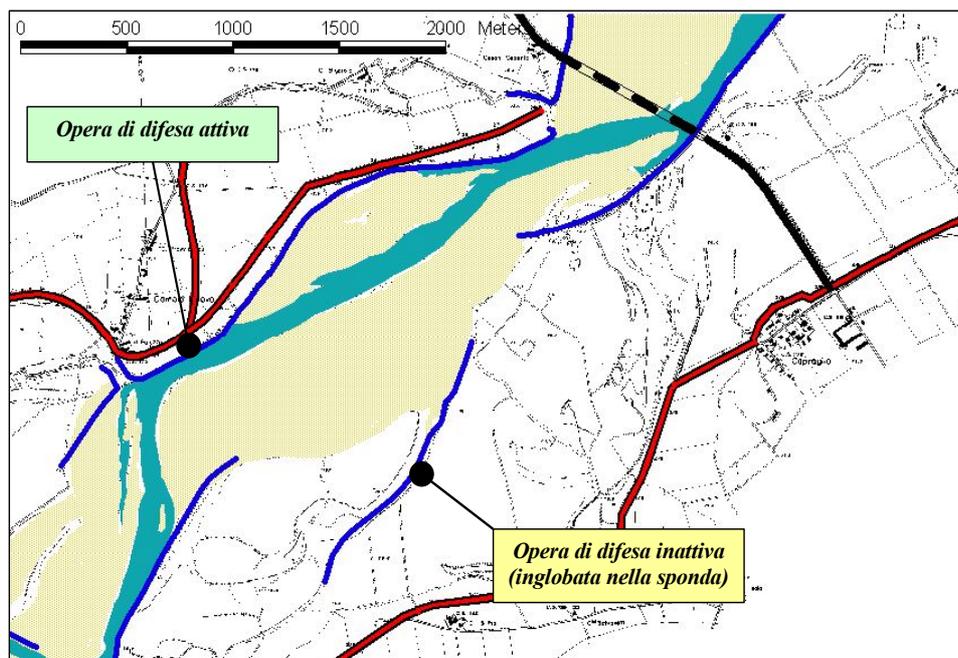


Figura 6.6 - Difese spondali attive e inattive nei pressi di Isola S. Antonio

In ogni caso è da sottolineare l'elevata influenza determinata da tali opere sulle caratteristiche morfologiche e idrauliche locali, tanto che in molti casi l'andamento dell'alveo inciso ne risulta oggi decisamente vincolato e canalizzato.

Le difese spondali sono state considerate nel presente Programma generale come "strategiche" solo nel caso in cui esse rispondono a locali esigenze di carattere idraulico o di protezione di insediamenti e infrastrutture strategiche (argini, ponti), mentre le restanti opere sono state definite "non strategiche".

Le opere strategiche, a loro volta, sono state classificate in tre tipologie differenti:

- opere strategiche soggette a sollecitazioni dirette: opere di difesa con funzione di protezione di opere strategiche soggette all'azione della corrente idrica anche in condizioni di magra;
- opere strategiche non soggette a sollecitazioni dirette: opere di difesa con funzione di protezione di opere strategiche non soggette all'azione della corrente idrica in condizioni di magra; tali opere sono poste generalmente a tergo di forme di fondo (barre);
- opere strategiche distrutte: opere di difesa attualmente distrutte, che svolgevano funzione di protezione di opere strategiche.

Anche le opere non strategiche sono state classificate in tre tipologie:

- opere non strategiche che inducono sollecitazioni su opere strategiche: opere di difesa poste a protezione di aree che non necessitano di protezione, che in seguito alla loro configurazione indirizzano la corrente idrica contro opere strategiche (argini maestri, opere di difesa strategiche);
- opere non strategiche che non inducono sollecitazioni su opere strategiche: opere di difesa poste a protezione di aree che non necessitano di protezione, che in seguito alla loro configurazione non indirizzano la corrente idrica contro opere strategiche (argini maestri, opere di difesa strategiche);

- opere non strategiche distrutte: opere di difesa attualmente distrutte, che svolgevano funzione di protezione di aree che non necessitano di difesa.

Lungo i 170 km di fiume Po in studio sono presenti, complessivamente in sponda sinistra ed in sponda destra, circa 230 km di opere di difesa, suddivise nelle seguenti tipologie:

- 173 km di opere strategiche (75% del totale), di cui:
 - 111'900 m soggette a sollecitazioni critiche (49% del totale);
 - 58'950 m non soggette a sollecitazioni critiche (25% del totale);
 - 2'100 m distrutte (1% del totale);
- 57 km di opere non strategiche (25% del totale), di cui:
 - 13'140 m che inducono sollecitazioni su opere strategiche (6% del totale);
 - 39'630 m che non inducono sollecitazioni su opere strategiche (17% del totale);
 - 4'190 m distrutte (2% del totale).

Nella Figura 6.7 è ripotato uno stralcio della cartografia dell'assetto attuale, nel quale sono evidenziati le diverse tipologie con le quali sono state classificate le opere di difesa.

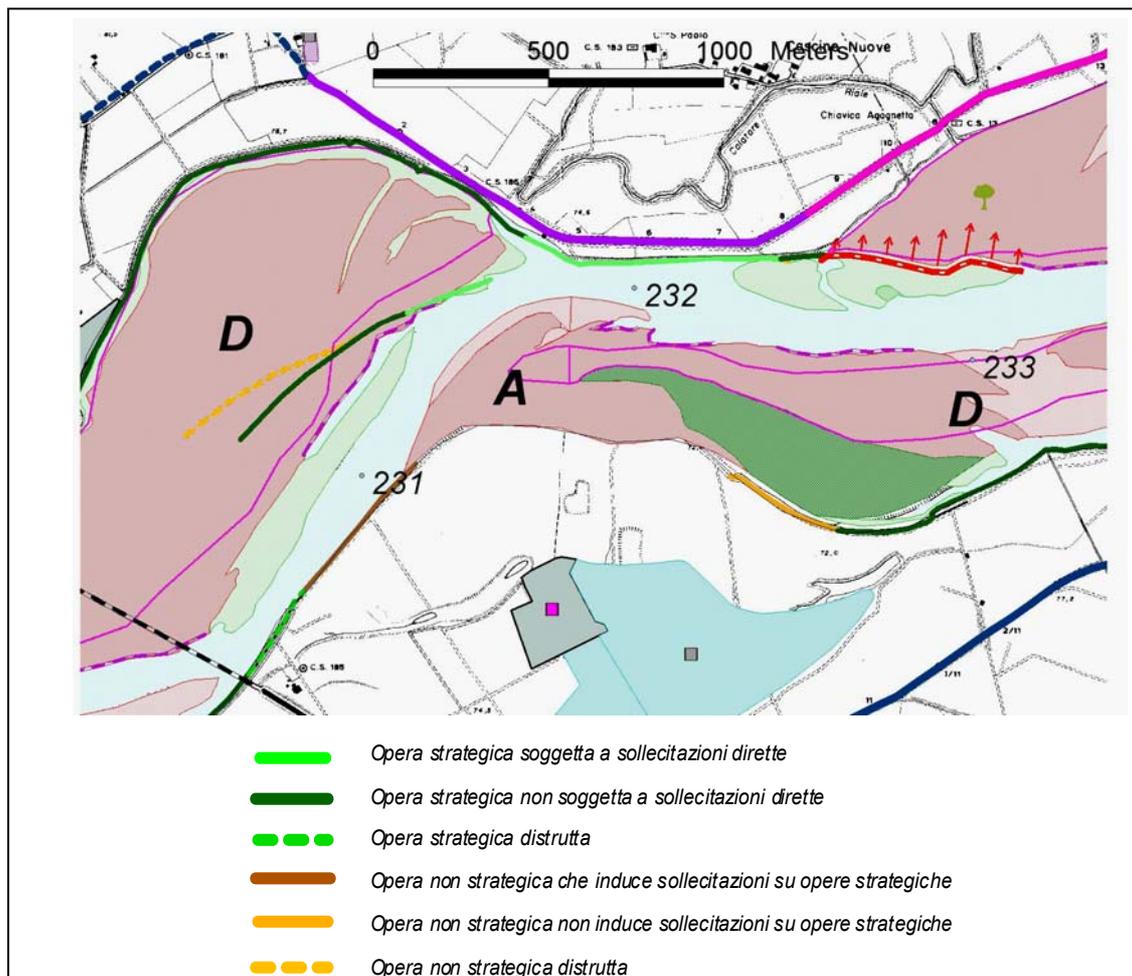


Figura 6.7 –Cartografia assetto attuale con caratterizzazione opere di difesa

A valle di Cremona le opere di difesa (pennelli) sono finalizzate al mantenimento del canale navigabile. Si tratta di opere sia in destra che in sinistra idraulica che vincolano decisamente l'andamento e le caratteristiche idrodinamiche del Po e che peraltro sono da considerare strategiche, data la loro finalità, e quindi non modificabili nella loro disposizione planimetrica. Eventuali correzioni nella loro dimensione altimetrica potrebbero risultare necessarie in funzione dell'evoluzione nel tempo delle quote di fondo alveo. Buona parte delle opere vengono oggi sommerse da portate ben superiori a quelle di progetto e quindi determinano la pressoché costante canalizzazione del deflusso anche in piena ordinaria, con conseguente innesco di processi erosivi a carico del fondo, unica elemento ancora libero di evolvere.

6.4 I fattori di pressione antropica

L'asta del Po e le sue aree golenali sono da sempre state oggetto di utilizzo da parte dell'uomo al fine di soddisfare diversi tipi di esigenze; in particolare, i principali utilizzi sono rappresentati da:

- navigazione;
- derivazione irrigua;
- estrazione di inerti;
- coltivazioni agricole in aree golenali prospicienti le sponde dell'alveo.

Per descrivere tali tipi di utilizzazioni antropiche, nella cartografia sono rappresentati i seguenti elementi, di seguito analizzati:

- porti e attracchi;
- derivazione ad uso irriguo e ad uso industriale o idroelettrico;
- cava attiva e non attiva;
- cava a fossa, con o senza acqua;
- impianti di vagliatura e stoccaggio degli inerti;
- presenza di pioppeti a tergo di sponde in erosione
- opere di attraversamento.

Porti e attracchi

Lungo il tratto di Po compreso tra la confluenza del fiume Tanaro e la confluenza con il fiume Arda sono presenti alcuni porti e numerosi punti di approdo.

I porti presenti sono localizzati a Cremona (unico porto adibito ad uso commerciale) e nei pressi del ponte della Becca, a valle della confluenza con il fiume Ticino, adibito ad uso turistico.

Nel medesimo tratto sono invece presenti numerosi punti di approdo destinati a diversi usi: turistico, sportivo, attività estrattiva, commerciale (cantiere navale).

Derivazioni idriche

Lungo il tratto di Po in studio sono presenti alcuni notevoli impianti di derivazione idrica. Alcune di esse sono destinate ad uso irriguo, altre hanno un uso industriale (acque di raffreddamento per centrali elettriche) e una, quella di Isola Serafini, è destinata per la produzione di energia idroelettrica. Ovviamente tali derivazioni sono da considerarsi elementi da salvaguardare per la tutela delle attività economiche ad esse collegate. In particolare sono da ricordare:

- la presa per irrigazione a Pievezza del Consorzio di Bonifica Bacini Tidone – Trebbia;
- la presa per irrigazione a Mezzanone del Consorzio di Bonifica Muzza – Bassa Lodigiana;
- la presa della centrale ENEL “La Casella” ubicata a monte di Piacenza;
- la presa della centrale termoelettrica di Piacenza;
- la presa della centrale nucleare di Caorso;
- l’opera di presa della centrale idroelettrica ENEL di Isola Serafini.

Le prese irrigue e quelle delle centrali di Piacenza e Caorso sono di modesta rilevanza nell’ambito della dinamica del Po, dal momento che non presentano opere in alveo tali da modificare le caratteristiche della corrente, salvo la necessità di interventi periodici per la rimozione di eventuali sedimenti penalizzanti l’opera di presa.

Al contrario la centrale ENEL “La Casella” ubicata a monte di Piacenza presenta due opere radenti in destra e sinistra idraulica, all’interno dell’alveo di magra, di fatto due lunghi pennelli (Figura 6.8) costruiti allo scopo di concentrare la corrente di magra in modo da mantenere sempre attiva l’opera di presa. Si tratta di due opere fortemente influenti sul comportamento della corrente e sulla stabilità del fondo alveo.

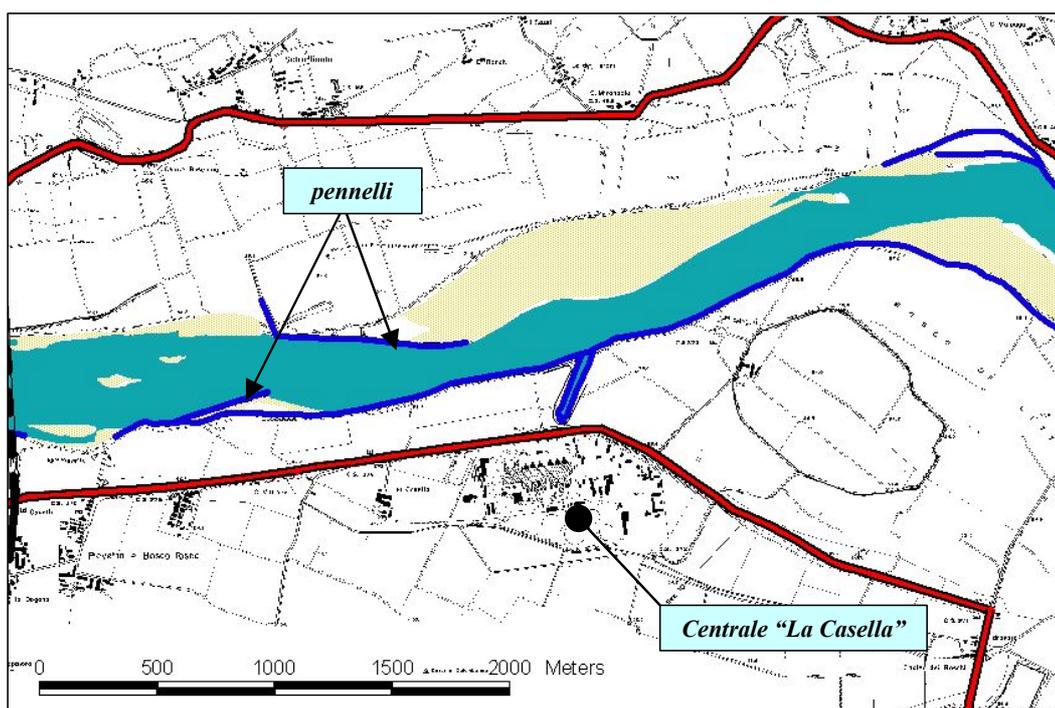


Figura 6.8 - Pennelli nel tratto a monte della derivazione della Centrale La Casella

Con riferimento alla traversa di isola Serafini si evidenzia da subito come il regime idraulico del tratto di fiume in esame è notevolmente influenzato dalla presenza e dalla gestione dello sbarramento, il cui funzionamento condiziona, in fase di normale esercizio, i valori dei livelli idrici, che configurano un profilo di rigurgito che risale a monte di essa per un tratto di fiume della lunghezza di circa 29 km fino in prossimità di Piacenza.

Il disciplinare di derivazione per usi idroelettrici relativo allo sbarramento di Isola Serafini prevede il mantenimento a monte della centrale della quota di pelo libero pari a 41,00 m s.m.. In occasione delle piene, quando la quota di valle supera i 41 m s.m.,

le paratoie devono essere invece totalmente alzate azzerando di fatto il rigurgito dello sbarramento e la produzione di energia elettrica.

A seguito del progressivo abbassamento dell'alveo, l'apertura completa delle paratoie secondo il vincolo previsto dal disciplinare si realizza per portate progressivamente crescenti, tanto che in condizioni di media piena le macchine e le paratoie potevano evidenziare difficoltà operative.

Sulla base del colloquio con i tecnici gestori dell'impianto risulta che attualmente la centrale sia in grado di turbinare 1'000 m³/s. Oltre tale portata inizia la regolazione con paratoie a ventola e quindi, al formarsi di un adeguato controstante a valle (per portate superiori a 1'500 m³/s) la regolazione avviene anche mediante le paratoie di fondo.

La centrale idroelettrica interrompe inoltre la produzione per portate in transito superiori a circa 3000 ÷ 4000 m³/s, lasciando in tal caso defluire a valle la portata.



Figura 6.9 – Planimetria delle opere in corrispondenza dello sbarramento di Isola Serafini



Foto 1 – Sbarramento di Isola Serafini



Foto 2 – Isola Serafini

Cave ed impianti

Come è noto l'alveo del Po è stato oggetto negli anni passati di un'intensa attività estrattiva di inerti di interesse delle costruzioni.

Ancor oggi se da un lato l'estrazione nell'alveo inciso è vietata se non strettamente giustificata da esigenze idrauliche, dall'altro numerosi sono gli impianti di vagliatura e stoccaggio posti lungo le sponde dell'alveo inciso, funzionali a lavorare il materiale estratto nelle numerose cave presenti nelle aree golenali.

Nella cartografia dello stato attuale sono riportate le cave e gli impianti di vagliatura e stoccaggio. La presenza numerosa di tali opere è indice del fatto che l'attività estrattiva lungo il Po è, o per lo meno è stata, molto intensa.

Coltivazioni di pioppeti

La presenza di coltivazioni di pioppeti in aree golenali rappresenta elemento di forte criticità qualora le stesse si trovino ubicate a tergo di sponde in erosione, attiva o potenziale.

Tale aspetto rappresenta infatti una criticità, in quanto l'erosione della sponda non può essere contrastata dal pioppeto che presenta apparati radicali molto superficiali; la conseguente asportazione dei pioppi è inoltre causa principale del trasporto di materiale flottante, che durante le piene più intense può creare pericolose parzializzazioni delle luci di deflusso dei ponti.



Foto 3 - Pioppeto in corrispondenza di una sponda in erosione a valle del ponte della Becca



Foto 4 – Materiale vegetale flottante in corrispondenza delle pile di un ponte nel pavese

Opere di attraversamento

L'alveo del fiume Po nel tratto analizzato è attraversato da 14 importanti ponti stradali e ferroviari (di cui uno in costruzione per la linea ferroviaria Alta Velocità Milano – Bologna). Si tratta di infrastrutture che evidentemente devono considerarsi strategiche per la funzione che svolgono. I manufatti di attraversamento presenti sono riportati nella Tabella 6.1.

	Attraversamento	Località
1	Strada provinciale n°211	Pieve del Cairo
2	Ponte Gerola	Balossa Bigli
3	Autostrada A7 Milano-Genova	Ghiaia di Corana
4	Ferrovia Pavia-Voghera – S.S. 35	Mezzana Corti
5	Strada Provinciale n°617	Ponte della Becca
6	Strada Comunale	Spessa Po
7	Strada provinciale n°412	Pieve Porto Morone - Pievetta
8	Strada Statale n°9	Piacenza
9	Attraversamento ferroviario	Piacenza
10	Autostrada A1 Milano-Bologna	Piacenza
11	Strada Comunale	San Nazzaro
12	Attraversamento ferroviario	Cremona
13	Strada Statale n°10	Cremona
14	Autostrada A21 Brescia-Piacenza	Cremona

Tabella 6.1 – Attraversamenti presenti lungo il fiume Po fra Tanaro e Arda

All'interno della cartografia sono distinti, per ogni manufatto di attraversamento, la parte di struttura realizzata in viadotto da quella realizzata in rilevato; questo allo scopo di evidenziare eventuali pesanti condizionamenti indotti al deflusso fluviale da opere in rilevato poste in zone di possibile evoluzione dell'alveo inciso.

L'interferenza tra le opere in alveo (spalle, pile e rilevati attraversanti le aree golenali) e la dinamica delle correnti liquide e solide è notevole e si traduce in molti casi sia in erosioni localizzate delle opere di sostegno sovente assai pronunciate, sia in vincoli idraulici talvolta violenti imposti alla corrente fluviale e al movimento dei sedimenti.

Spesso tali effetti critici hanno comportato la necessità di costruire locali difese spondali atte ad un migliore indirizzamento della corrente, ma che non sarebbero state necessarie qualora le dette opere di sostegno fossero state diversamente progettate e realizzate.

inciso), di seguito vengono presentati alcune valutazioni di sintesi per tratti omogenei, secondo la suddivisione proposta dall'analisi geomorfologica delle tendenze evolutive, mentre si rimanda all'esame della cartografia per tutti gli aspetti di dettaglio.

Tratto 1 – da fiume Tanaro a Pancarana

Il tratto 1, dalla confluenza con il Tanaro (km 224) fino alla località Pancarana (km 252), all'interno del quale il fiume Po assume caratteristiche tipiche di un sistema "braided", presenta il seguente assetto:

- alveo inciso:
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo ha mostrato nell'ultimo ventennio una tendenza all'abbassamento. Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono disponibili solo a partire dal km 239 (sezione S1) e all'interno del tratto sono disponibili 3 serie di sezioni;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di numerose forme di fondo, alcune delle quali sono in grado di indurre criticità, soprattutto legate all'azione di indirizzamento della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche e alla presenza di barre stabili aventi dimensioni tali da ridurre la capacità dell'alveo inciso, seppur a valori compatibili con le dinamiche in atto. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: il tratto è interessato da fenomeni di erosione spondale e di barra. Si segnala che attualmente tali fenomeni risultano sostanzialmente compatibili, mentre la proiezione ventennale dei fenomeni stessi porta a individuare alcune zone critiche (in sponda sinistra in località Cascine Nuove e a monte e a valle del ponte dell'autostrada A7, sempre in sinistra idraulica);
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è pressoché continuo, fatti salvi due tratti posti in sponda sinistra in corrispondenza delle località di Pieve del Cairo e Balossa Bigli. In tali zone il PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) prevede la realizzazione di argini al fine di rendere il sistema di difesa continuo. I tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono ubicati prevalentemente in sinistra idraulica, dal km 227 fino sostanzialmente al km 239, mentre in destra idraulica si ha un solo tratto di 3 km (dal km 241 al km 244) posto a monte del ponte dell'autostrada A7. Sono presenti inoltre due tratti di argini prossimi ($d < 200$ m) a sponde in erosione in assenza di opere di difesa: località Cascine Nuove al km 233 in sinistra idraulica e a monte del ponte dell'autostrada A7, sempre in sinistra, al km 244;
 - opere di difesa: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa, fatta salva la parte terminale del tratto compreso tra il ponte dell'A7 e Pancarana. Per la caratterizzazione dello stato delle opere (strategiche - soggette o non soggette a sollecitazioni critiche – e non strategiche – che inducono o non inducono sollecitazioni su opere strategiche) si rimanda alla cartografia. Si segnala tuttavia la presenza di alcune opere non strategiche, che indirizzano la corrente ordinaria contro opere di difesa poste a protezione di argini in frodo: al km 227 in destra idraulica, al km 231 in destra idraulica a valle del ponte di Pieve del Cairo, al km 250 in sinistra idraulica in corrispondenza della località Piana Rabattone;



Foto 5 – Ponte autostrada A7

- pressione antropica: all'interno del tratto sono sostanzialmente assenti porti, approdi e derivazioni ad uso irriguo e industriale; sono presenti, nelle aree golenali diverse cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di diverse pioppeti ubicati in corrispondenza delle sponde in erosione attiva. All'interno del tratto sono presenti tre manufatti di attraversamento, ponte della S.P. 211 a Pieve del Cairo, ponte di Gerola a Balossa Bigli e il ponte dell'autostrada A7 Milano-Genova. Per quanto riguarda i ponti di Pieve del Cairo e di Gerola, si segnala che ampi tratti degli stessi sono realizzati all'interno dell'area golenale su rilevato, limitando di fatto la possibile evoluzione dell'alveo inciso del Po e creando ostruzioni al deflusso nelle aree golenali durante le piene importanti. Con riferimento al ponte dell'autostrada A7, si segnala che studi condotti per conto dell'ente gestore hanno evidenziato la presenza di buche di notevoli profondità (6-8 m) in corrispondenza delle pile poste in destra idraulica interessate dal deflusso di magra, che presenta una direzione d'incidenza della corrente molto inclinata rispetto all'orientamento delle pile stesse;
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a definire il presente tratto come tendente all'equilibrio. Si sottolinea come tale equilibrio sia la sommatoria di effetti contrapposti. Infatti a fronte di una tendenza all'erosione del fondo alveo, nella parte emersa si ha una prevalenza di depositi (soprattutto barre) rispetto alle erosioni (22 milioni di metri cubi depositati nel ventennio 1982 – 2002 a fronte di 13 milioni di materiale eroso).

Tratto 2 – da Pancarana a Pieve Porto Morone

Nel tratto 2, dalla località Pancarana (km 252) fino a Pieve Porto Morone (km 286), dove il fiume Po assume i connotati di un corso d'acqua monocursale, relativamente rettilineo o sinuoso, frutto soprattutto dei massicci interventi di rettificazione operati dall'uomo in epoca storica, si ha il seguente assetto:

- alveo inciso:

- evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo ha mostrato nell'ultimo ventennio una tendenza all'equilibrio (ad eccezione della zona a monte della confluenza con il Ticino dove si registra una tendenza all'abbassamento). Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 7 serie di sezioni;
- depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di numerose forme di fondo, alcune delle quali sono in grado di indurre criticità, soprattutto legate all'azione di indirizzamento della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si registra la presenza di barre che possono limitare alcuni usi antropici (approdi localizzati nei pressi di Mezzanino Siccomario e a valle del ponte della Becca). Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione di tali forme di fondo;
- fenomeni erosivi: il tratto è interessato da fenomeni di erosione spondale e di barra. Si segnala che attualmente tali fenomeni risultano sostanzialmente compatibili, mentre la proiezione ventennale dei fenomeni stessi porta a individuare alcune zone critiche (in sponda sinistra nei pressi di Spessa);
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo, ad esclusione di due zone: in sinistra idraulica da confluenza Ticino fino a Spessa ed in destra idraulica da Buffalora fino a Pievetta (ad eccezione della zona di Port'Albera). Nella zona di Buffalora e di Arena Po il PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) prevede la realizzazione di nuovi argini. I tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono ubicati a monte del ponte di Mezzana Corti, nei pressi della località Rea, in corrispondenza della località Busca, nei pressi della Chiavica Camatta, a Spessa e a San Zenone. Non sono presenti tratti di argini prossimi ($d < 200$ m) in assenza di opere di difesa;
 - opere di difesa: all'interno del tratto non sono presenti molte opere di difesa. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche - soggette o non soggette a sollecitazioni critiche – e non strategiche – che inducono o non inducono sollecitazioni su opere strategiche) si rimanda alla cartografia. Si segnala l'assenza di opere non strategiche in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche;
- pressione antropica: all'interno del tratto sono presenti alcuni approdi importanti (a Mezzano Siccomario, a confluenza Ticino e a Port'Albera), alcuni dei quali destinati ad uso commerciale, mentre non sono presenti opere di derivazione ad uso irriguo e industriale; nelle aree golenali sono presenti diverse cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di numerosi pioppeti ubicati in corrispondenza delle sponde in erosione attiva. All'interno del tratto sono presenti tre manufatti di attraversamento, il ponte di Mezzana Corti (S.S. 35 e linea FS Pavia – Voghera), il ponte della Becca (S.S. 617) in corrispondenza della confluenza con il Ticino, e il ponte di Spessa. Per quanto riguarda il ponte di Mezzana Corti, si segnala che un ampio tratto del manufatto in sinistra idraulica è realizzato in rilevato all'interno dell'area golenale, limitando di fatto la possibile evoluzione dell'alveo inciso del Po e creando ostruzioni al deflusso nelle aree golenali durante le piene importanti;
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a definire il presente tratto come tendente all'equilibrio. Si sottolinea come tale equilibrio deriva dal sostanziale equilibrio del fondo alveo e dal fatto che per quanto riguarda la parte emersa, nel ventennio 1982 – 2002, il volume eroso è praticamente pari al volume depositato (17 milioni di metri cubi).

Tratto 3 – da Pieve Porto Morone ad Isola Serafini

Nel tratto 3, da Pieve Porto Morone (km 286) fino alla traversa di Isola Serafini (km 357), dove il fiume Po assume progressivamente i connotati di un corso d'acqua decisamente monocursale, fortemente canalizzato e meandriforme, si ha il seguente assetto:

- alveo inciso:
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo ha mostrato, con riferimento all'ultimo ventennio, una sostanziale tendenza all'equilibrio tra Pieve Porto Morone e Piacenza (alternanza di sezioni in cui si sono verificati abbassamenti, innalzamenti e situazioni di equilibrio), mentre tra Piacenza e Isola Serafini si è riscontrata una costante tendenza all'innalzamento del fondo alveo medio. Si segnala che i dati utilizzati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 15 serie di sezioni;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di numerose forme di fondo, tra cui alcune isole che durante il ventennio si sono unite alla sponda più vicina. Alcune forme di fondo sono in grado di indurre criticità, soprattutto legate all'azione di indirizzamento della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si segnala la presenza di alcune barre che possono limitare alcuni usi antropici (opera di derivazione di Pievetta e opera di presa della Centrale di "La Casella" – è in atto una dinamica locale di abbassamento del fondo alveo, dovuta agli effetti indotti dai pennelli e dalle barre, che rischia di limitare la possibilità di prelievo di acqua). Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: il tratto è interessato da fenomeni di erosione spondale; si segnala che attualmente tali fenomeni risultano sostanzialmente compatibili, mentre la proiezione ventennale dei fenomeni stessi porta a individuare alcune zone di possibile criticità (in sponda sinistra nei pressi di Cascina Bosco Soncina);
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è continuo. I tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono molto estesi, di cui i principali sono ubicati a: Monticelli Pavese, Boscone Cusani (in destra idraulica), Mezzana Vigoleno (in destra idraulica), Piacenza (in destra idraulica), Roncarolo (in destra idraulica, a valle confluenza Nure), a Caselle Landi (in sinistra idraulica), San Nazzaro (in destra idraulica). All'interno del tratto sono presenti tratti di argini prossimi ($d < 200$ m) in assenza di opere di difesa, ubicati a: Boscone Cusani (al km 308 in destra idraulica), a Mezzana Casoli (al km 332 in sinistra idraulica), a Mortizza (al km 333 in destra idraulica);
 - opere di difesa: all'interno del tratto la presenza di opere di difesa è molto diffusa. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche - soggette o non soggette a sollecitazioni critiche – e non strategiche – che inducono o non inducono sollecitazioni su opere strategiche) si rimanda alla cartografia. Si segnala la presenza di alcune opere non strategiche in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche; tali opere sono localizzate a: Pievetta, pennelli posti a monte della Centrale "La Casella", nei pressi della Cascina Isolone, a Piacenza (in sponda sinistra), nei pressi della località Chiavicone, in corrispondenza dell'area golenale denominata l'Isolone e in località Cascina La Baracca;

- pressione antropica: all'interno del tratto sono presenti diversi approdi ad uso turistico e per l'estrazioni di inerti; sono presenti diverse opere di derivazione, sia ad uso irriguo (la presa per irrigazione a Pieve Porto Morone del Consorzio di Bonifica Bacini Tidone – Trebbia, la presa per irrigazione a Mezzanone del Consorzio di Bonifica Muzza – Bassa Lodigiana) che ad uso industriale (la presa della centrale ENEL “La Casella” ubicata a monte di Piacenza, la presa della centrale termoelettrica di Piacenza, la presa della centrale nucleare di Caorso e l'opera di presa della centrale idroelettrica ENEL di Isola Serafini); nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di alcuni pioppeti ubicati in corrispondenza delle sponde in erosione attiva. All'interno del tratto sono presenti cinque manufatti di attraversamento, il ponte di Pieve Porto Morone - Pieve Porto Morone (S.S. 412), i due ponti di Piacenza (S.S. 9 e linea FS Milano – Bologna), il ponte dell'autostrada A1 Milano – Napoli e il ponte di San Nazzaro. Si segnala che circa 1 km a valle del ponte autostradale è in fase di realizzazione il ponte della TAV (Treni Alta Velocità);
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a definire all'interno del tronco alcune differenti tendenze evolutive:
 - nel tratto compreso tra Pieve Porto Morone e Monticelli Pavese si osserva una tendenza al deposito (fondo alveo in equilibrio, deposizioni di barre, ridotte erosioni);
 - nel tratto tra Monticelli Pavese e Piacenza si osserva una sostanziale tendenza all'equilibrio (fondo alveo in equilibrio e sostanziale uguaglianza tra volumi erosi e volumi depositati);
 - nel tratto tra Piacenza e Isola Serafini si osserva una decisa tendenza al deposito (innalzamento fondo alveo, depositi di forme di fondo e ridotte erosioni) con “azzeramento” del deflusso solido a valle.

Tratto 4 – Meandro naturale di Isola Serafini

Nel tratto 3, dalla traversa di Isola Serafini (km 357) fino alla confluenza con il canale di scarico della centrale idroelettrica, si ha il seguente assetto:

- alveo inciso
 - evoluzione fondo medio alveo: all'interno del tratto non sono disponibili sezioni battute in diverse epoche, per cui non è possibile caratterizzare bene l'andamento del fondo nel presente tratto; tuttavia le dinamiche in atto (formazioni di barre estese e sponde fisse) porta a ritenere il tratto in approfondimento;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di barre molto estese. Alcune forme di fondo sono in grado di indurre criticità, soprattutto legate all'azione di indirizzamento della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: il tratto è interessato da fenomeni di erosione spondale, tra cui il più rilevante è ubicato in sponda sinistra, appena a valle dello sbarramento di Isola Serafini (dal km 358 al km 361); si segnala che attualmente tali fenomeni risultano sostanzialmente compatibili, sia a breve che a lungo termine;
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è continuo sia in sponda sinistra (argine prossimo alla sponda) che in sponda destra (l'argine è ubicato nei pressi della sponda destra del canale di scarico della centrale di Isola Serafini). I

tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono ubicati a valle della confluenza con il fiume Adda e presso la località S. Giovanni, in sponda destra del canale di restituzione della centrale. All'interno del tratto non sono presenti tratti di argini prossimi ($d < 200$ m) in assenza di opere di difesa;

- opere di difesa: all'interno del tratto la presenza di opere di difesa è molto diffusa, praticamente continua in sponda sinistra. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche - soggette o non soggette a sollecitazioni critiche – e non strategiche – che inducono o non inducono sollecitazioni su opere strategiche) si rimanda alla cartografia;
- pressione antropica: all'interno del tratto non sono presenti importanti approdi e sono assenti opere di derivazione; nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di alcuni pioppeti ubicati in corrispondenza delle sponde in erosione attiva. All'interno del tratto non sono presenti manufatti di attraversamento;
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a definire all'interno del tronco una tendenza all'erosione: il volume complessivamente depositato su barre e sponde nel ventennio 1982 - 2002 ammonta a circa $4'700'000 \text{ m}^3$, verificatosi verosimilmente durante le due piene del '94 e del 2000, mentre le erosioni complessive (barre, sponde e fondo alveo) ammontano a circa $5'200'000 \text{ m}^3$. A tali valori deve poi essere aggiunto l'apporto del fiume Adda, pari a $2'700'000 \text{ m}^3$, mentre le estrazioni hanno un minor impatto.



Foto 6 – Meandro Isola Serafini

Tratto 5 – Dalla confluenza con il canale di scarico della centrale fino a confluenza Arda

Nel tratto 5, dalla confluenza con il canale di scarico della centrale di Isola Serafini (km 371) fino alla confluenza con il fiume Arda (km 387), dove il fiume Po assume caratteristiche di corso d'acqua navigabile, si ha il seguente assetto:

- alveo inciso
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo ha mostrato nell'ultimo ventennio una netta tendenza all'abbassamento. Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 3 serie di sezioni (una localizzata poco a valle dell'ambito in studio);
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di forme di fondo, formatesi in seguito all'azione indotta dalle opere realizzate per la navigazione (pennelli); per tale motivo a nessun elemento è stato attribuito un giudizio di criticità in quanto la loro presenza è funzionale al mantenimento di condizioni di navigabilità all'interno del tratto. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: il tratto è scarsamente interessato da fenomeni erosivi per il fatto che le opere di difesa sono continue lungo l'intero tratto;
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è continuo. I tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono molto ridotti e comunque tutti risultano protetti da opere di difesa;
 - opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto, oltre alle opere di difesa longitudinale sono presenti anche pennelli per la navigazione. Si sottolinea, inoltre, che le opere presentano un'altezza elevata per effetto dell'abbassamento del fondo alveo. Tale circostanza induce un'eccessiva canalizzazione dell'alveo inciso, il quale è oggi in grado di convogliare portate di piena dell'ordine di $7'000 \div 8'000 \text{ m}^3/\text{s}$, escludendo, di fatto, le aree golenali dall'espansione della corrente. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche - soggette o non soggette a sollecitazioni critiche – e non strategiche – che inducono o non inducono sollecitazioni su opere strategiche) si rimanda alla cartografia. Si segnala l'assenza di opere non strategiche in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche;
- usi antropici: all'interno del tratto è presente il porto di Cremona ed altri approdi di minor importanza; non sono presenti opere di derivazione ad uso irriguo e industriale; nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala l'assenza di pioppeti ubicati in corrispondenza delle sponde in erosione attiva. All'interno del tratto sono presenti tre manufatti di attraversamento, i due ponti di Cremona (linea FS Cremona – Bologna e S.S. 10), il ponte dell'autostrada A21; si segnala che a causa dei fenomeni di continuo abbassamento del fondo alveo i ponti possono presentare problemi strutturali;
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a definire il presente tratto come tendente all'erosione, in quanto il quantitativo di materiale asportato dal fondo alveo (complessivamente pari a circa $7'800'000 \text{ m}^3$) è superiore al materiale depositatosi sulle barre e sulle sponde (complessivamente pari a circa $4'400'000 \text{ m}^3$). Nella sostanza, nel tratto in oggetto il fiume Po rialimenta, in modo particolare dal fondo, la propria capacità di trasporto con crescita tendente al valore caratteristico di monte ($500'000$

m³/anno). Data la brevità del tratto in studio a valle della traversa di Isola Serafini, non si riesce a raggiungere, all'interno del tratto, la capacità rilevata a monte.



Foto 7 – Po a Cremona – ponte autostrada A21

7. Gli obiettivi

7.1 *Gli obiettivi generali e locali e la “Cartografia degli obiettivi”*

Il presente capitolo ha la finalità di esplicitare gli obiettivi di manutenzione da conseguire sul corso d’acqua.

Sono state individuate due diverse tipologie di obiettivi, necessarie alla definizione dell’assetto di progetto del corso d’acqua. In particolare, tali tipologie sono suddivisibili in *obiettivi generali* ed *obiettivi locali*.

Gli obiettivi generali individuati per la gestione dei sedimenti sono:

- il mantenimento di condizioni di equilibrio in atto rispetto alle dinamiche in corso (evoluzione forme di fondo e fondo alveo, bilancio di trasporto solido);
- la correzione delle dinamiche in corso (evoluzione forme di fondo e fondo alveo, bilancio di trasporto solido) ove queste mostrino una tendenza a configurazioni morfologiche non in linea con le condizioni di sicurezza e stabilità delle opere e degli insediamenti o ad accentuare situazioni oggi ritenute non compatibili;
- il miglioramento della capacità di convogliamento delle portate di piena con particolare riguardo ai tratti canalizzati, qualora le tendenze in atto siano tali da ridurre sensibilmente tale capacità;
- il mantenimento di determinate condizioni di navigabilità turistiche e/o commerciali, compatibilmente con le finalità di carattere idraulico – morfologico e ambientale del corso d’acqua;
- il miglioramento dell’assetto ecologico del corso d’acqua.

Per quanto riguarda invece gli obiettivi locali, legati cioè agli elementi che caratterizzano l’assetto di progetto fluviale, sono stati individuati i seguenti elementi:

- opere strategiche da salvaguardare (argini maestri, porti e principali approdi, opere di derivazione, ecc.);
- opere esistenti di difesa spondale strategiche (protezioni longitudinali delle sponde dell’alveo inciso, pennelli);
- fascia di salvaguardia delle opere strategiche in cui non risulta compatibile la divagazione dell’alveo inciso del fiume Po;
- configurazione planimetrica dell’alveo inciso compatibile con le opere strategiche e da salvaguardare.

Ovviamente tali due tipologie di obiettivi non devono contrapporsi, ma integrarsi: in particolare, gli obiettivi locali, pur rispondendo ad esigenze puntuali, devono rientrare in un’ottica complessiva, così come individuata dagli obiettivi generali.

Gli obiettivi citati in premessa (generali e locali) sono stati raccolti e rappresentati attraverso una cartografia tematica illustrativa (Carta degli obiettivi del corso d’acqua), in scala 1:25’000 (Allegato 5).

Nella Figura 7.1 viene riportata la legenda della cartografia degli obiettivi del corso d’acqua, all’interno della quale si possono riconoscere le diverse categorie di informazioni riportate.



Figura 7.1 – legenda della cartografia degli obiettivi del corso d'acqua

7.1.1 Gli obiettivi generali

Per quanto concerne gli obiettivi generali, gli stessi sono assegnati a tronchi omogenei del corso d'acqua.

Tali obiettivi generali sono riferiti a:

- trasporto solido;
- fondo alveo;
- navigazione.

Per ciascuno di essi, nel seguito, vengono date alcune specificazioni, mentre nella Figura 7.2 viene riportato uno stralcio della cartografia con riportati tali obiettivi generali.

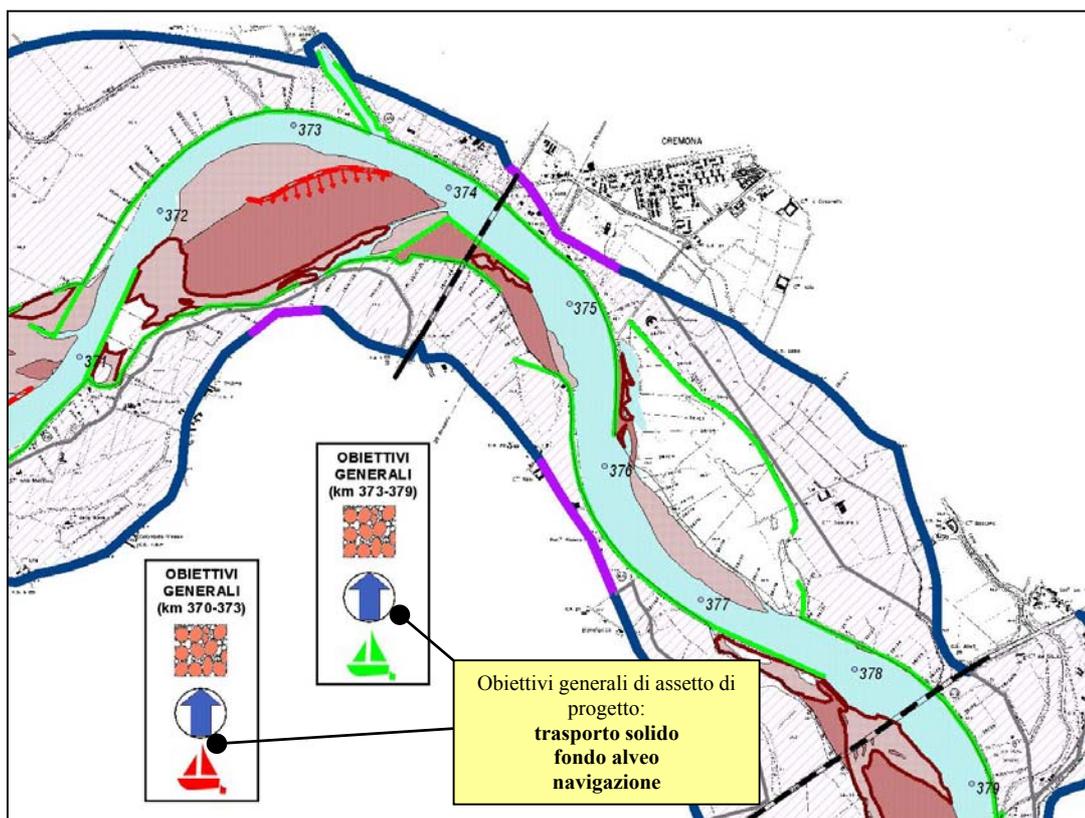


Figura 7.2 – obiettivi generali di assetto di progetto

Trasporto solido

Le valutazioni di dettaglio effettuate sulle tendenze evolutive dei singoli elementi morfologici, insieme alle valutazioni quantitative sul trasporto solido hanno permesso di determinare con buona affidabilità le tendenze generali all'erosione, al deposito o all'equilibrio. La cartografia degli obiettivi qui presentata sintetizza tali risultati e riporta, per tratti omogenei, i seguenti obiettivi a cui è necessario fare riferimento per la successiva definizione degli interventi:

- tratto fluviale ove mantenere le attuali condizioni, qualora le dinamiche in atto, riscontrate durante l'analisi dello stato attuale, possano ritenersi compatibili con un assetto di equilibrio;
- tratto fluviale ove occorre aumentare la capacità di trasporto; tale obiettivo è riferito generalmente a quei tratti in cui allo stato attuale è in atto una marcata tendenza al deposito non compatibile con l'intero sistema (es. depositi a monte di Isola Serafini che concorrono ad indurre marcate erosioni del fondo alveo a valle dello sbarramento);
- tratto fluviale ove si verifica la necessità di ripascimento da monte; tale obiettivo è generalmente richiesto in quei tratti in cui allo stato attuale si verificano

fenomeni erosivi non compatibili con il sistema fluviale (es. erosione fondo alveo nel tratto a valle di Isola Serafini, nei pressi di Cremona).

Fondo alveo

Le analisi idrauliche di dettaglio effettuate con riferimento al fondo medio dell'alveo, hanno permesso di determinare con buona affidabilità le tendenze evolutive in atto lungo l'asta in studio. La cartografia degli obiettivi qui presentata, riporta, per singoli tratti omogenei, i seguenti obiettivi a cui è necessario fare riferimento per la successiva definizione degli interventi:

- tratto ove favorire l'abbassamento delle quote di fondo medio dell'alveo. Tale obiettivo è stato fissato in quei tratti in cui l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire una tendenza all'innalzamento delle quote di fondo che innesca fenomeni non compatibili con l'assetto fluviale complessivo (es. innalzamento fondo a monte di Isola Serafini);
- tratto ove favorire l'innalzamento delle quote di fondo medio dell'alveo. Tale obiettivo viene fissato in quei tratti in cui l'analisi dell'assetto attuale ha portato a riscontrare una tendenza all'abbassamento delle quote di fondo medio che risultano non essere compatibili con il sistema fluviale (es. Cremona);
- tratto ove monitorare l'attuale tendenza in atto senza necessità di correzione. Tale obiettivo viene fissato per quei tratti in cui l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire una tendenza in atto che risulta essere compatibile con le condizioni al contorno e gli obiettivi.

Navigazione

Per quanto riguarda l'utilizzo dell'asta del Po ai fini della navigazione, nella cartografia vengono riportati, per tratti, i seguenti obiettivi:

- navigazione di tipo commerciale. Tale obiettivo è stato fissato in quei tratti in cui vi è la necessità espressa di disporre di un alveo in grado di essere navigato da grosse imbarcazioni, adibite al trasporto di merci. In particolare tale obiettivo è richiesto solo a valle di Cremona, ove è ubicato l'unico porto in grado di ricevere tale tipologia di imbarcazioni;
- navigazione di tipo turistico permanente. Tale obiettivo presuppone la presenza in alveo di tiranti di almeno 0,5 m, in modo da permettere la navigazione di imbarcazioni in grado di svolgere la funzione di trasporto di persone;
- navigazione di tipo turistico non permanente. Tale obiettivo non presuppone la presenza di particolari condizioni idrauliche, ma comporta di considerare il tratto navigabile solo in alcune condizioni non permanenti; tale scelta è riferita in particolare al tratto a monte del Ticino, in prevalenza di tipo pluricursale, avente geometrie dell'alveo in continua evoluzione e che quindi non può consentire interventi in grado di garantire un canale principale navigabile stabile nel tempo. Inoltre, la portata presente nel tratto durante i periodi di magra è ridotta e non riesce a garantire ovunque tiranti almeno di 0,5 m.

7.1.2 Gli obiettivi locali

La presente tipologia di obiettivi riguarda quegli aspetti che assumono una valenza locale e che sono riferibili a singoli elementi (argini, opere di difesa, ecc.), in particolare:

- opere strategiche da salvaguardare;

- assetto di progetto delle opere di difesa esistenti;
- assetto di progetto dell'alveo.

Opere strategiche da salvaguardare

Tra gli obiettivi specifici a cui fare riferimento per la definizione dell'assetto del corso d'acqua, sono state individuate le opere che occorre salvaguardare in quanto considerate strategiche; in particolare sono state definite come oggetto di salvaguardia le seguenti opere:

- argini maestri;
- porti e principali approdi;
- derivazioni irrigue ed industriali.

Gli argini maestri sono stati classificati, a seconda della loro condizione di criticità, e cioè della loro posizione rispetto alla sponda dell'alveo inciso (sponda stabile o fronte di erosione attiva con proiezione ventennale) e a seconda della presenza o meno di opere di protezione. Nei riguardi della posizione è stata individuata una distanza d "di attenzione" con estensione di 200 m, intesa come la distanza tra gli argini maestri e la sponda incisa, al di sotto della quale può manifestarsi la necessità di salvaguardia. La cartografia riporta in particolare:

- argine maestro arretrato ($d > 200$ m) rispetto alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale;
- argine maestro prossimo ($d < 200$ m) alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale, protetto da opere di difesa dall'erosione (scogliere, primate, ecc.) della sponda dell'alveo inciso;
- argine maestro prossimo ($d < 200$ m) alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale non protetto da opere di difesa dall'erosione (scogliere, primate, ecc.) della sponda dell'alveo inciso;

L'ultima tipologia di argini rappresenta una criticità, in quanto l'azione erosiva dell'acqua risulta essere prossima al corpo arginale; in questi casi si evidenzia una necessità di protezione che occorre apportare per salvaguardare l'opera stessa. La seconda tipologia di argine rappresenta una situazione di attenzione, in quanto il possibile cedimento o ammaloramento dell'opera di difesa porterebbe l'argine a condizioni di criticità.

Nella Figura 7.3 è riportato uno stralcio della cartografia degli obiettivi del corso d'acqua, nel quale sono evidenziati le tre tipologie con le quali sono stati classificati gli argini maestri.

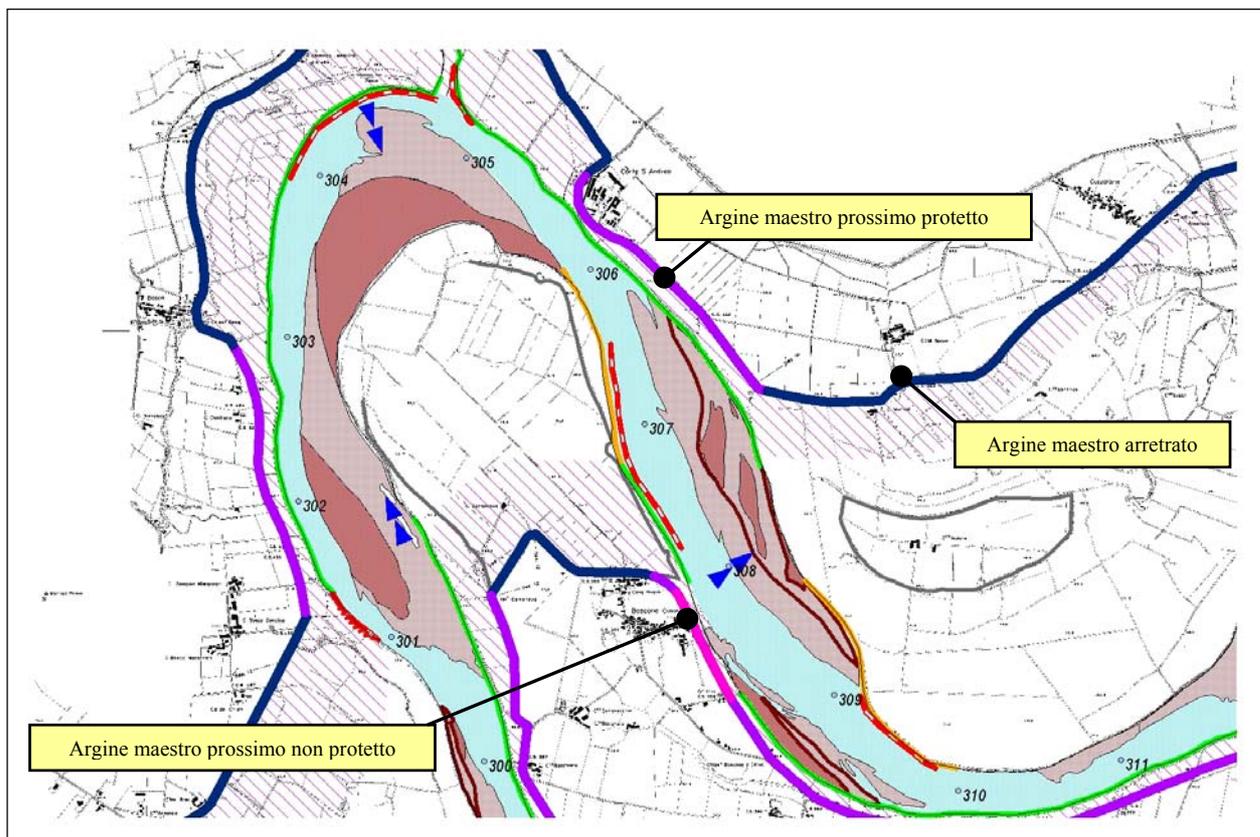


Figura 7.3 – caratterizzazione argini maestri

Oltre agli argini sono state localizzate le seguenti opere strategiche:

- i porti di Cremona (unico porto adibito ad uso commerciale) e quello nei pressi del ponte della Becca, a valle della confluenza con il fiume Ticino, adibito ad uso turistico;
- i principali approdi, localizzati a Mezzano Siccomario e a Port'Albera;
- le derivazioni ad uso irriguo (la presa per irrigazione a Pievetta del Consorzio di Bonifica Bacini Tidone – Trebbia e la presa per irrigazione a Mezzanone del Consorzio di Bonifica Muzza – Bassa Lodigiana);
- le derivazioni ad uso industriale (la presa della centrale ENEL “La Casella” ubicata a monte di Piacenza, la presa della centrale termoelettrica di Piacenza, la presa della centrale nucleare di Caorso, l’opera di presa della centrale idroelettrica ENEL di Isola Serafini).

Assetto di progetto delle opere di difesa esistenti

Lungo l’asta del Po in esame sono presenti diverse opere di difesa della sponda dell’alveo inciso (longitudinali e pennelli), realizzate laddove, nel tempo, si sono manifestate o attese azioni erosive della corrente fluviale in prossimità di aree o infrastrutture da proteggere.

Tali difese spondali sono state classificate nella cartografia degli obiettivi come “strategiche” solo nel caso in cui esse rispondano a locali esigenze di carattere idraulico o di protezione di insediamenti e infrastrutture strategiche (es. argini maestri), mentre le restanti opere sono state definite “non strategiche”.

In particolare le opere di difesa strategiche sono quelle che individuano il limite della fascia di salvaguardia esterno della fascia di mobilità compatibile dell'alveo inciso, mentre le difese che sono contenute nella suddetta fascia sono ritenute non strategiche. Ovviamente per quanto riguarda le opere strategiche occorrerà prevedere azioni di monitoraggio e manutenzione, mentre per quanto riguarda le opere di difesa non strategiche, non occorrerà prevedere nessun intervento conservativo, mentre potranno essere previste eventuali rimozioni nei casi in cui tali opere contribuiscano a non rispettare gli obiettivi fissati.

Nella Figura 7.4 è riportato uno stralcio della cartografia degli obiettivi del corso d'acqua, nel quale sono evidenziate le diverse tipologie con le quali sono state classificate le opere di difesa in relazione agli obiettivi del corso d'acqua.

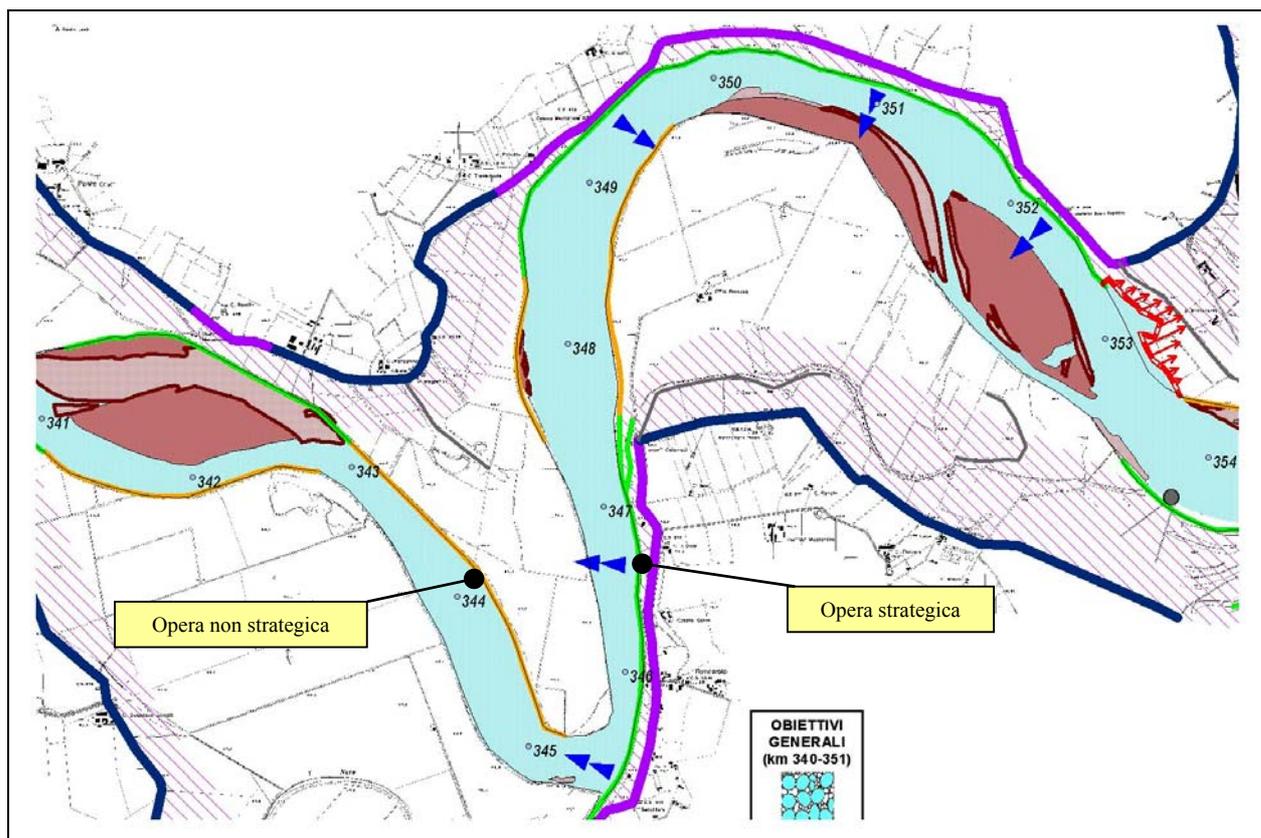


Figura 7.4 – assetto di progetto opere di difesa

Assetto di progetto dell'alveo

Per quanto concerne l'assetto planimetrico dell'alveo, nella cartografia vengono riportate alcune informazioni che hanno lo scopo di individuare la configurazione planimetrica dell'alveo stesso; tali informazioni riguardano in particolare:

- per quanto riguarda l'alveo inciso viene indicata una fascia entro la quale non è permessa la libera divagazione dello stesso. Per quanto riguarda il tratto di Po a monte di Isola Serafini, tale zona, che fisicamente rappresenta una parte dell'area golenale, serve ad individuare una fascia di rispetto a protezione del sistema arginale nei confronti delle dinamiche erosive in atto; per contro, nelle aree golenali comprese tra l'attuale alveo inciso e la fascia così definita l'alveo è considerato libero di divagare senza dare origine a situazioni di rischio nei confronti delle opere da salvaguardare. Tale area è stata individuata in base al seguente criterio: nelle zone dove l'argine maestro è arretrato rispetto alla sponda ($d > 200$ m) tale area ha generalmente una larghezza pari a 200 m, mentre nelle zone dove l'argine è prossimo ($d < 200$ m) alla linea di sponda stabile o alla proiezione ventennale del

fronte di erosione, la fascia di rispetto si estende fino alle opere di difesa, se presenti, o alla linea di sponda attuale, per la quale si rende necessaria la salvaguardia. Per quanto riguarda, invece, il tratto di Po a valle di Isola Serafini, a causa della necessità di navigazione, il criterio di tracciamento prima esposto legato esclusivamente alla tutela degli argini, viene integrato con le necessità di salvaguardia delle curve di navigazione. In tale tratto il limite della fascia di salvaguardia coincide, in curva esterna, con il limite delle opere di difesa presenti, mentre in curva interna il limite della stessa è stato tracciato in modo da includere nello spazio di divagazione compatibile i rami laterali presenti, che un tempo risultavano essere attivi per portate di piena ordinaria.

- relativamente alla configurazione dell'alveo di magra vengono invece riportate le direzioni (simboleggiate da frecce) secondo cui occorre correggere l'assetto planimetrico dell'alveo al fine di ridurre l'azione idrodinamica della corrente che attualmente sollecita direttamente opere strategiche.

Nella Figura 7.5 è riportato uno stralcio della cartografia degli obiettivi di assetto di progetto del corso d'acqua.

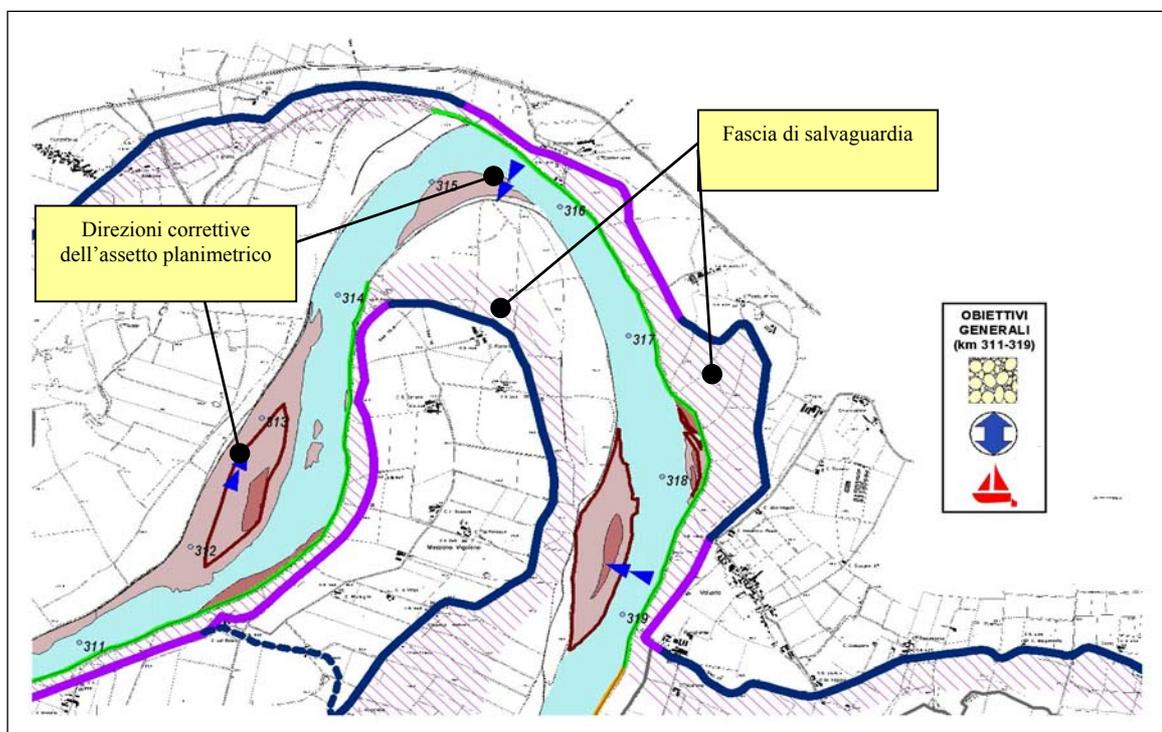


Figura 7.5 – obiettivi di assetto di progetto dell'alveo

7.2 La sintesi degli obiettivi di gestione dei sedimenti sul corso d'acqua

In seguito all'analisi dei diversi elementi che, in base a quanto specificato nel paragrafo precedente, concorrono a rappresentare l'insieme degli obiettivi di assetto del corso d'acqua (obiettivi generali e locali), di seguito vengono presentate le valutazioni di sintesi per tratti omogenei, secondo la suddivisione proposta dall'analisi geomorfologica delle tendenze evolutive, mentre si rimanda all'esame della cartografia per tutti gli aspetti di dettaglio.

Tratto 1 - da F. Tanaro a Pancarana

Il tratto 1, dalla confluenza con il Tanaro (km 224) fino alla località Pancarana (km 252), all'interno del quale il fiume Po assume le caratteristiche tipiche di un sistema "braided", presenta, dal punto di vista degli obiettivi, il seguente quadro:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è pressoché continuo, fatti salvi due tratti posti in sponda sinistra in corrispondenza delle località di Pieve del Cairo e Balossa Bigli; in tali zone il PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) prevede la realizzazione di argini al fine di rendere il sistema di difesa continuo. I tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono ubicati prevalentemente in sinistra idraulica, dal km 227 fino sostanzialmente al km 239, mentre in destra idraulica si ha un solo tratto di 3 km (dal km 241 al km 244) posto a monte del ponte dell'autostrada A7. Sono presenti inoltre due tratti di argini prossimi ($d < 200$ m) a sponde in erosione in assenza di opere di difesa: località Cascine Nuove al km 233 in sinistra idraulica e a monte del ponte dell'autostrada A7, sempre in sinistra, al km 244. Nel tratto in oggetto non sono presenti porti e approdi importanti, nè opere di derivazione irrigua e industriale;
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa, fatta salvo la parte terminale compresa tra il ponte dell'A7 e Pancarana. Per la caratterizzazione dello stato delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere al fine di salvaguardare gli argini maestri è riportata nella cartografia; qui si accenna al fatto che tale fascia è generalmente prossima alla sponda dell'alveo inciso in sinistra idraulica, ad eccezione del tratto compreso tra Balossa Bigli e Cascinotto Mensa, mentre in destra è in genere distante dalla linea di sponda attuale, ad eccezione del tratto appena a monte del ponte dell'A7. Tale configurazione è frutto dell'assetto attuale che presenta, per lo più, l'alveo inciso prossimo alle difese in sinistra. L'alveo di magra assume in diversi punti una configurazione tale da indurre importanti azioni idrodinamiche ordinarie contro alcune opere di difesa strategiche; nei confronti di tali tratti sono stati ipotizzati alcuni obiettivi specifici di correzione della configurazione planimetrica. Tale circostanza dipende dal fatto che il presente tratto ha caratteristiche braided. L'alveo di magra è quindi estremamente mobile e sono presenti numerose forme di fondo, costituite in prevalenza da materiale grossolano, le quali resistono all'azione di trascinamento della corrente ordinaria e a volte indirizzano la corrente fluviale contro opere di difesa strategiche con angolature accentuate, causando azioni idrodinamiche notevoli;
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire il presente tratto come tendente all'equilibrio, pertanto l'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto non può che essere quello di mantenere le attuali condizioni. Si sottolinea come l'attuale equilibrio sia la sommatoria di effetti contrapposti, infatti a fronte di una tendenza all'erosione del fondo alveo (pari a circa 10 milioni di metri cubi), nella parte emersa si ha una prevalenza di depositi (soprattutto barre) rispetto alle erosioni (22 milioni di metri cubi depositati nel ventennio 1982 – 2002 a fronte di 13 milioni di materiale eroso);
 - fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha mostrato nell'ultimo ventennio una tendenza all'abbassamento. Tale aspetto non risulta essere, almeno nel periodo di tempo considerato nel presente Programma generale, incompatibile con il sistema fluviale; pertanto non vi è la necessità di fissare

- un obiettivo specifico, salvo quello di effettuare un monitoraggio periodico per verificare che la tendenza in atto non assuma caratteri di incompatibilità;
- navigazione: all'interno del tratto in oggetto non sono presenti né porti né punti di approdo significativi. Inoltre, le caratteristiche morfologiche ed idrauliche dell'alveo non sono tali da garantire la presenza di canali navigabili continui con battenti adeguati al passaggio di imbarcazioni durante tutto l'anno; pertanto l'obiettivo è quello di considerare il presente tratto navigabile solo per funzionalità turistiche e solo in determinati periodi dell'anno, in cui le portate transitanti siano tali da garantire altezze idriche compatibili con le esigenze di pescaggio di piccole imbarcazioni.

Tratto 2 - da Pancarana a Pieve Porto Morone

Il tratto 2, dalla località Pancarana (km 252) fino a Pieve Porto Morone (km 286), dove il fiume Po assume i connotati di un corso d'acqua monocursale, relativamente rettilineo o sinuoso, frutto soprattutto dei massicci interventi di rettificazione operati dall'uomo in epoca storica, presenta, dal punto di vista degli obiettivi, il seguente quadro:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo, ad esclusione di due zone: in sinistra idraulica da confluenza Ticino fino a Spessa (dal km 266 al km 278) ed in destra idraulica da Buffalora fino a Pieve (dal km 273 al km 288, ad eccezione della zona di Port'Albera); l'assenza di arginature in tali zone è giustificata dalla presenza di terrazzi morfologici. Nella zona di Buffalora e di Arena Po il PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) prevede la realizzazione di nuovi argini. Per quanto riguarda i porti e gli approdi si segnala la presenza di strutture da salvaguardare, per il loro utilizzo di tipo commerciale, nei pressi di Mezzano Siccomario, a valle del ponte della Becca e a monte del ponte di Spessa. Per quanto concerne, invece, le opere di derivazione si segnala l'assenza di strutture da salvaguardare;
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: all'interno del tratto non sono presenti molte opere di difesa. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini maestri, è riportata nell'apposita cartografia. Tale fascia è solo in alcuni tratti prossima alla sponda dell'alveo inciso: in sinistra idraulica tale circostanza si verifica nei pressi della confluenza con il Terdoppio, a monte della confluenza con il Ticino e nella zona di Spessa e San Zenone; in destra, invece la fascia di salvaguardia è prossima alla sponda attuale a monte del ponte di Mezzana Corti, in località Rea, in corrispondenza della confluenza con il Ticino, a Buffalora, a Port'Albera e ad Arena Po. L'alveo di magra assume solo in alcuni punti una configurazione tale da indurre consistenti azioni idrodinamiche durante condizioni di deflusso ordinarie contro opere di difesa strategiche. Tale aspetto si verifica in corrispondenza della confluenza con il Terdoppio (sponda sinistra), a monte del ponte di Mezzana Corti (sponda destra) ed in corrispondenza della confluenza con il Ticino (in sponda destra). Nei confronti di tali criticità sono stati individuati gli obiettivi di correzione della configurazione planimetrica riportati nella cartografia di cui trattasi;
- obiettivi generali:

- trasporto solido: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire il presente tratto come tendente all'equilibrio, pertanto l'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto non può che essere quello di mantenere le attuali condizioni. Si sottolinea come tale equilibrio derivi dalla sostanziale stabilità del fondo alveo e dal fatto che per quanto riguarda la parte emersa, nel ventennio 1982 – 2002, il volume eroso è praticamente pari al volume depositato (17 milioni di metri cubi);
- fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha mostrato nell'ultimo ventennio una tendenza all'equilibrio, pertanto l'obiettivo è quello di mantenere la dinamica evolutiva in atto;
- navigazione: all'interno del tratto in oggetto sono stati fissati due differenti obiettivi. Per la zona a monte del Ticino, valendo in parte le considerazioni fatte per il tratto precedente (portata ridotta nei periodi di magra con battenti insufficienti) è possibile ottenere un tipo di navigazione a scopo turistico solo in alcuni periodi dell'anno. Per il tratto tra la confluenza Ticino e Pieve Porto Morone, la presenza dei deflussi provenienti dal Ticino, regolarizzati dal Lago Maggiore, permettono di avere per l'intero arco dell'anno (salvo in presenza di magre eccezionali) battenti medi in grado di permettere la navigazione di piccole imbarcazioni, pertanto si può ottenere una navigazione di tipo turistico permanente.

Tratto 3 - da Pieve Porto Morone ad Isola Serafini

Il tratto 3, da Pieve Porto Morone (km 286) fino alla traversa di Isola Serafini (km 357), dove il fiume Po assume progressivamente i connotati di un corso d'acqua decisamente monocursale, fortemente canalizzato e meandriforme, presenta, dal punto di vista degli obiettivi, il seguente quadro:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è continuo. I tratti di arginature posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono molto estesi. Sono presenti diverse opere di derivazione, sia ad uso irriguo (la presa per irrigazione a Pievetta del Consorzio di Bonifica Bacini Tidone – Trebbia, la presa per irrigazione a Mezzanone del Consorzio di Bonifica Muzza – Bassa Lodigiana) che ad uso industriale (la presa della centrale ENEL “La Casella” ubicata a monte di Piacenza, la presa della centrale termoelettrica di Piacenza, la presa della centrale nucleare di Caorso e l'opera di presa della centrale idroelettrica ENEL di Isola Serafini);
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: all'interno del tratto la presenza di opere di difesa è molto diffusa, soprattutto in sponda destra. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini maestri, è riportata nell'apposita cartografia. Tale fascia è prossima alla sponda dell'alveo inciso per lunghi tratti. In sponda sinistra tale circostanza si verifica nel tratto tra Pievetta e la centrale di La Casella, nel meandro dove confluisce il Lambro, nella zona a monte della località Valloria, a Mezzano Passone e lungo il meandro tra la confluenza Nure e lo sbarramento di Isola Serafini. In destra, invece, la fascia di salvaguardia è prossima alla sponda attuale nei tratti tra Pievetta e La Casella, da Boscone Cusani fino a Mezzano Vigoleno, da confluenza Trebbia fino a Mortizza, Piacenza inclusa, a valle della confluenza del T. Nure e a monte della centrale di Isola

Serafini. L'alveo di magra assume in diversi punti una configurazione tale da indurre consistenti azioni idrodinamiche durante condizioni di deflusso ordinarie contro opere di difesa strategiche; tale aspetto si verifica in corrispondenza del tratto nei pressi della centrale di La Casella, a Boscone Cusani, a confluenza Lambro, a Mezzano Vigoleno, a monte della confluenza con il Trebbia, a Piacenza (Isolotto Maggi), a Mezzano Passone, in corrispondenza della confluenza con il T. Nure e lungo il meandro a monte di Isola Serafini. Nei confronti di tali criticità sono stati individuati gli obiettivi di correzione della configurazione planimetrica riportati nella cartografia di cui trattasi;

- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire all'interno del tronco alcune differenti tendenze evolutive:
 - nel tratto compreso tra Pieve Porto Morone e Monticelli Pavese si osserva una tendenza al deposito (fondo alveo in equilibrio, deposizioni di barre - 4'000'000 m³ – e ridotte erosioni - 200'000 m³);
 - nel tratto tra Monticelli Pavese e Piacenza si osserva una sostanziale tendenza all'equilibrio (fondo alveo in equilibrio e sostanziale uguaglianza tra volumi erosi e volumi depositati);
 - nel tratto tra Piacenza e Isola Serafini si osserva una tendenza al deposito (innalzamento fondo alveo – 9'000'000 m³ - e sostanziale uguaglianza tra volumi erosi e volumi depositati).

Dal punto di vista degli obiettivi è quindi auspicabile l'aumento della capacità di trasporto fino a Monticelli Pavese e tra Piacenza e Isola Serafini, mentre nel tratto tra Monticelli Pavese e Piacenza l'obiettivo è quello di mantenere le attuali condizioni di equilibrio;

- fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha mostrato nell'ultimo ventennio una sostanziale tendenza all'equilibrio del fondo medio dell'alveo nel tratto tra Pieve Porto Morone e Piacenza, mentre tra Piacenza e Isola Serafini si è riscontrata una costante tendenza all'innalzamento. Nel primo tratto l'obiettivo scelto è quello di mantenere la dinamica evolutiva in atto, mentre nel secondo tratto l'obiettivo è quello di agevolare l'abbassamento del fondo in quanto il deposito che attualmente si forma (causato essenzialmente dalla presenza dello sbarramento di Isola Serafini) è in grado, in base ai risultati del bilancio del trasporto solido, di ridurre praticamente a zero la portata solida in grado di transitare a valle di Isola Serafini. Non si registra pertanto una criticità locale, quanto una dinamica che induce criticità verso valle;
- navigazione: all'interno del tratto in oggetto, grazie alla presenza dei deflussi provenienti dal Ticino regolarizzati dal lago Maggiore, e dell'aspetto monocursale e canalizzato dell'alveo, si determinano le condizioni atte al mantenimento nell'intero arco dell'anno (salvo in presenza di magre eccezionali) di battenti medi in grado di permettere la navigazione di piccole imbarcazioni, pertanto si può prevedere una navigazione di tipo turistico permanente.

Tratto 4 – Meandro naturale di Isola Serafini

Il tratto 4, dalla traversa di Isola Serafini (km 357) fino alla confluenza con il canale di scarico della centrale idroelettrica, presenta, dal punto di vista degli obiettivi, il seguente quadro:

- obiettivi locali:

- opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è continuo sia in sponda sinistra (argine prossimo alla sponda) che in sponda destra (l'argine è ubicato nei pressi della sponda destra del canale di scarico della centrale di Isola Serafini);
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: all'interno del tratto la presenza di opere di difesa è molto diffusa, praticamente continua in sponda sinistra. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia. Si segnala che le principali opere strategiche sono ubicate, per quanto riguarda la sponda sinistra, praticamente lungo l'intero sviluppo del tronco in oggetto, mentre, per quanto riguarda la sponda destra, le opere strategiche sono ubicate appena a valle dello sbarramento di Isola Serafini e a monte della confluenza con il canale di restituzione della centrale idroelettrica;
 - assetto di progetto dell'alveo: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini maestri, è riportata nell'apposita cartografia. Tale fascia è prossima alla sponda dell'alveo inciso nel tratto immediatamente a valle dello sbarramento di Isola Serafini, in corrispondenza della confluenza del fiume Adda e a monte della confluenza con il canale di restituzione della centrale idroelettrica. L'alveo di magra assume in alcuni punti una configurazione tale da indurre consistenti azioni idrodinamiche durante condizioni di deflusso ordinarie contro opere di difesa strategiche. Tale aspetto si verifica a monte e a valle della confluenza con il fiume Adda. Nei confronti di tali criticità sono stati individuati gli obiettivi di correzione della configurazione planimetrica riportati nella cartografia di cui trattasi;
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dello stato attuale ha portato a definire all'interno del tronco una tendenza all'erosione: il volume complessivamente depositato su barre e sponde nel ventennio 1982 - 2002 ammonta a circa 4'700'000 m³, verificatosi verosimilmente durante le due piene del '94 e del 2000, mentre le erosioni complessive (barre, sponde e fondo alveo) ammontano a circa 5'200'000 m³. A tali valori deve poi essere aggiunto l'apporto del fiume Adda, pari a 2'700'000 m³, mentre le estrazioni hanno un minor impatto. Dal punto di vista degli obiettivi si ha la necessità di aumentare l'apporto di materiale da monte, in modo da favorire il ripascimento del tratto;
 - fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire per il tratto in questione una tendenza all'abbassamento; l'obiettivo è di favorire l'innalzamento delle quote di fondo medio al fine di proteggere le opere esistenti e di ridurre l'effetto di eccessiva canalizzazione;
 - navigazione: all'interno del tratto in oggetto, a causa dell'assenza di deflusso per la maggior parte dei giorni dell'anno (per portate inferiori a 1'000 m³/s lo sbarramento di Isola Serafini è completamente chiuso) nel tratto compreso tra lo sbarramento e la confluenza con il fiume Adda, delle portate ridotte presenti tra l'Adda e la confluenza del canale di restituzione della centrale, la navigazione non è praticabile in assoluto, se non nel tratto tra l'Adda e la confluenza con il canale di restituzione della centrale con imbarcazioni modeste.

Tratto 5 – Dalla confluenza con il canale di scarico della centrale fino a confluenza Arda

Il tratto 5, dalla confluenza con il canale di scarico della centrale di Isola Serafini (km 371) fino alla confluenza con il fiume Arda (km 387), dove il fiume Po assume caratteristiche di corso d'acqua navigabile, presenta, dal punto di vista degli obiettivi, il seguente quadro:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è continuo. I tratti di arginatura posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono molto ridotti e comunque risultano tutti protetti da opere di difesa. All'interno del tratto è presente il porto di Cremona, mentre non sono presenti opere di derivazione ad uso irriguo e industriale;
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: all'interno del tratto in oggetto, oltre alle opere di difesa longitudinali sono presenti anche pennelli per la navigazione. Per la caratterizzazione dello stato delle opere presenti (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia. Si segnala che le opere strategiche, ubicate lungo l'intero tratto, svolgono sia la funzione di protezione delle opere da salvaguardare (argini), sia la funzione di consentire la navigazione di tipo commerciale. Si sottolinea, inoltre, che le opere presentano, allo stato attuale, un'altezza elevata per effetto dell'abbassamento del fondo alveo. Tale circostanza induce un'eccessiva canalizzazione dell'alveo inciso, il quale è oggi in grado di convogliare portate di piena dell'ordine di $7'000 \div 8'000 \text{ m}^3/\text{s}$, escludendo, di fatto, le aree golenali dall'espansione della corrente. Nella fase di definizione degli interventi sarà necessario prevedere la riduzione di tali opere al fine di consentire l'espansione golenale per portate di piena ordinaria, senza tuttavia alterare le condizioni di navigabilità;
 - assetto di progetto dell'alveo: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini maestri e le curve di navigazione, è riportata nell'apposita cartografia. Tale fascia, a causa soprattutto delle necessità di tutela della navigazione, è prossima alla sponda dell'alveo inciso, fatte salve le zone golenali poste all'interno delle curve di navigazione, dove è possibile ipotizzare un'evoluzione dell'alveo inciso. Tale evoluzione, al fine di non pregiudicare la navigazione commerciale, deve essere intesa, in base a quanto affermato in precedenza, come riappropriazione di aree golenali, attualmente interessate dal deflusso solo per portate di piena elevate ($7'000 \div 8'000 \text{ m}^3/\text{s}$), da destinare all'espansione di deflussi di piena ordinaria, riservando l'attuale alveo inciso per le portate di magra. L'alveo di magra, progettato per consentire la navigazione commerciale, non assume in alcun punto una configurazione tale da indurre consistenti azioni idrodinamiche durante condizioni di deflusso ordinarie contro opere di difesa strategiche;
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dello stato attuale ha portato a definire il presente tratto come tendente all'erosione, in quanto il quantitativo di materiale asportato dal fondo alveo e dalle forme di fondo (complessivamente pari a circa $7'800'000 \text{ m}^3$) è superiore al materiale depositatosi sulle barre e sulle sponde (complessivamente pari a circa $4'400'000 \text{ m}^3$). Dal punto di vista degli obiettivi si ha la necessità di aumentare l'apporto di materiale da monte, in modo da favorire il ripascimento del tratto;

- fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire per il tratto in questione una tendenza all'abbassamento. L'obiettivo è quello di favorire l'innalzamento delle quote di fondo medio al fine di proteggere le opere esistenti e di ridurre l'effetto di eccessiva canalizzazione in atto. Si osserva altresì che l'abbassamento del fondo alveo avvenuto negli anni precedenti ha portato a rendere inutilizzabile per alcuni periodi dell'anno le conche di navigazione presenti nel porto di Cremona e a Isola Serafini. In particolare si osserva che in corrispondenza del porto di Cremona è già stata realizzata un'avanconca e anch'essa non risulta sempre utilizzabile. Tale circostanza rende necessaria la realizzazione di nuove opere strutturali. Attualmente sono in fase di progettazione il rifacimento della conca di navigazione in corrispondenza della centrale di Isola Serafini e l'avan-avanconca a Cremona;
- navigazione: all'interno del tratto in oggetto, come più volte citato nel presente paragrafo, l'obiettivo è quello di consentire una navigazione di tipo commerciale. Attualmente l'alveo in sé è in grado di rispettare tale obiettivo, fatte salve le opere puntuali (conche di navigazione) di cui si è discusso nel punto precedente.

8. Gli interventi

8.1 Premessa

Il presente capitolo ha come oggetto la descrizione degli interventi di gestione dei sedimenti del corso d'acqua.

L'individuazione di tali interventi scaturisce dal confronto tra gli obiettivi di assetto del corso d'acqua e gli elementi che concorrono a definirne lo stato attuale, ambedue descritti nei capitoli precedenti e rappresentati negli elaborati allegati.

Gli interventi individuati riguardano essenzialmente: manutenzione dell'alveo in termini di rimozione e/o movimentazione di materiale litoide; interventi di modifica dell'assetto difensivo mediante dismissione e modifica di opere esistenti o attraverso la realizzazione di nuove opere di difesa; l'individuazione di tratti di alveo in cui assicurare la libera evoluzione; interventi necessari per garantire, nel tempo, un recupero delle quote di fondo alveo e il raggiungimento di una configurazione caratterizzata da maggior stabilità per quei tratti attualmente caratterizzati da una dinamica non ritenuta compatibile.

8.2 Le tipologie di intervento e la “Cartografia degli interventi”

Per il raggiungimento degli obiettivi di gestione sono stati determinati interventi riconducibili alle seguenti macro – categorie:

- interventi strutturali strategici di carattere straordinario;
- interventi strutturali strategici di carattere ordinario;
- interventi non strutturali strategici di carattere ordinario;
- interventi locali.

Nella prima categoria rientrano principalmente gli interventi relativi alla dismissione e modifica delle opere di difesa esistenti, alla realizzazione di nuove opere di difesa, alla movimentazione e/o asportazione di materiale litoide in quantità significativa rispetto al trasporto medio annuo.

Nella seconda categoria fanno parte gli interventi di movimentazione di materiale litoide dal fondo alveo al fine di garantire la continuità del trasporto solido e il ripascimento dei tratti attualmente soggetti ad erosione del fondo, qualora tale fenomeno non sia accettabile. In tale categoria rientrano inoltre gli interventi di manutenzione da attuare sulla vegetazione arborea.

Nella terza categoria, rientrano tutti quegli interventi di tipo non strutturale, rappresentati da azioni di controllo e di monitoraggio dei fenomeni in atto (erosioni spondali, depositi di barre) e dello stato di consistenza delle opere di difesa.

Nell'ultima categoria di interventi rientrano quelle misure volte a risolvere criticità locali, legate soprattutto ad utilizzi antropici, per le quali vengono di seguito forniti criteri e prescrizioni, senza entrare nel merito dei singoli interventi.

Tutti gli interventi sopraccitati (strutturali e non strutturali) sono stati raccolti e rappresentati in una cartografia tematica (Carta degli interventi sul corso d'acqua), in scala 1:25'000 (Allegato 6) a cui si rimanda per gli aspetti di dettaglio. Nella Figura 8.1

viene riportata la legenda della cartografia degli interventi sul corso d'acqua, all'interno della quale si possono riconoscere le categorie di informazioni sopra descritte.



Figura 8.1 – Legenda della cartografia degli interventi sul corso d'acqua

Di seguito vengono descritte le singole tipologie d'intervento.

8.2.1 Gli interventi strutturali strategici di carattere straordinario

Gli interventi strutturali strategici di carattere straordinario sono costituiti essenzialmente dalla realizzazione di opere che tendono a modificare l'assetto delle opere di difesa dell'alveo e la configurazione planoaltimetrica dell'alveo stesso.

In particolare tra gli interventi strutturali strategici di carattere straordinario rientrano:

- realizzazione di nuove opere di difesa (scogliere e pennelli);
- modifica di opere di difesa presenti;
- dismissione di opere di difesa non funzionali all'assetto obiettivo;
- adeguamento di strutture interferenti non compatibili con gli obiettivi di assetto di progetto del corso d'acqua;
- movimentazione e asportazione di materiale.

La realizzazione di nuove opere di difesa spondali è prevista unicamente nei tratti d'alveo in cui sono presenti argini maestri aventi una distanza dalla linea di sponda stabile o al fronte di erosione attiva, con proiezione ventennale, minore di 200 m e in assenza di opere di protezione. Tale scelta implica, di fatto, il mantenimento di buona parte delle erosioni spondali in atto, le quali svolgono la funzione di fonte di alimentazione del trasporto solido. Nella Figura 8.2 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

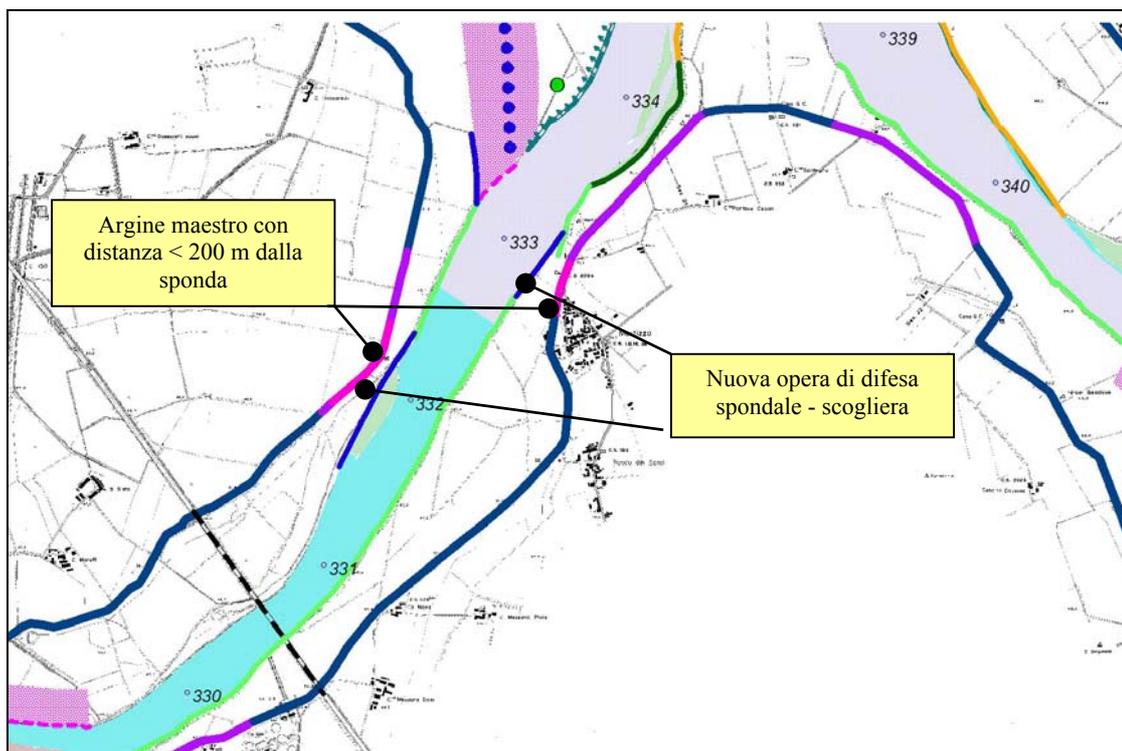


Figura 8.2 – Intervento di realizzazione nuova scogliera

La realizzazione di nuovi pennelli è viceversa prevista in quei tratti in cui l'obiettivo dell'assetto di progetto è quello di modificare la configurazione planimetrica dell'alveo di magra. Tale tentativo di modifica dell'assetto fluviale deriva dalla necessità di ridurre l'azione idrodinamica della corrente che attualmente sollecita direttamente opere di difesa strategiche poste a protezione di argini maestri prossimi alla sponda

dell'alveo inciso (distanza minore di 200 m). Lo scopo dei pennelli è quello di deviare la corrente ordinaria, indirizzandola verso il lato opposto rispetto alla sponda in cui sono presenti opere da salvaguardare. Nella Figura 8.3 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

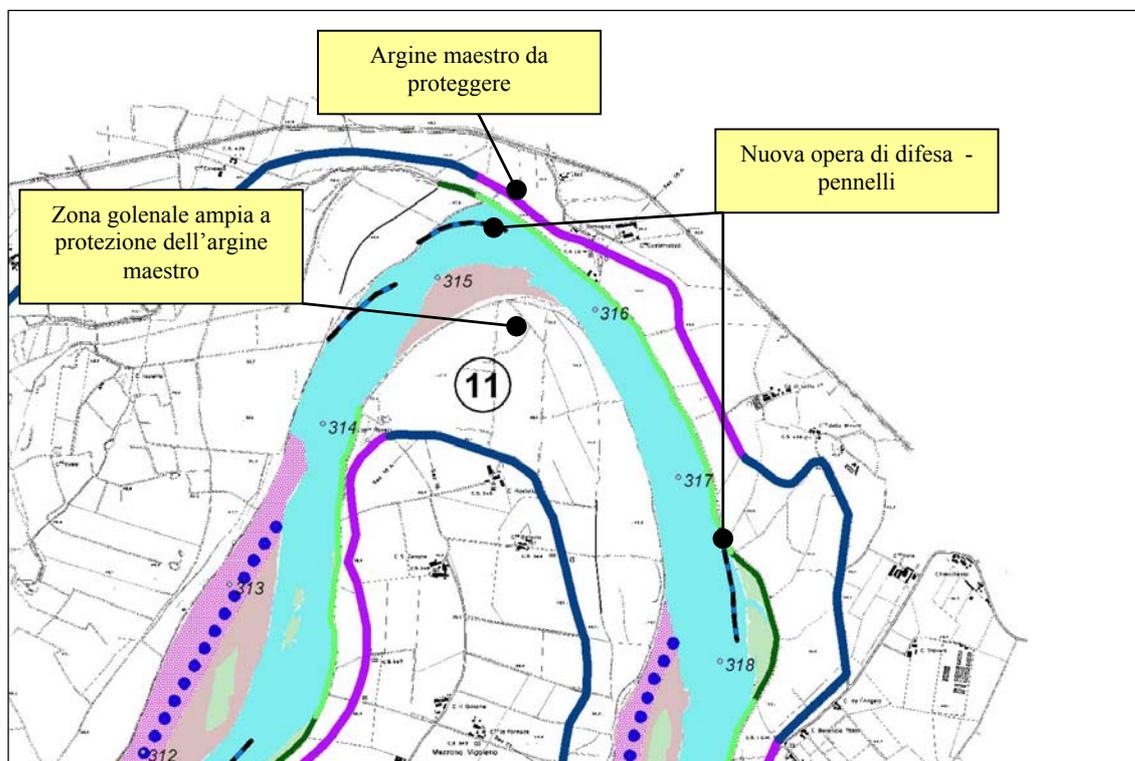


Figura 8.3 - Intervento di realizzazione pennello

La modifica di opere di difesa presenti (generalmente pennelli) è stata prevista in corrispondenza di quei manufatti che attualmente presentano una configurazione tale da indurre dinamiche non congruenti con gli obiettivi di gestione dei sedimenti; le azioni di modifica riguardano essenzialmente la riduzione dell'altezza o della lunghezza dei pennelli. Un esempio è rappresentato dai pennelli di navigazione realizzati nel tratto a valle di Isola Serafini, i quali, in seguito all'abbassamento del fondo alveo avvenuto in passato ed in continua evoluzione, presentano altezze elevate. Tale circostanza induce un'eccessiva canalizzazione dell'alveo inciso, il quale è oggi in grado di convogliare portate di piena dell'ordine di $7'000 \div 8'000 \text{ m}^3/\text{s}$. A tali portate corrispondono forti azioni di trascinarsi sul fondo alveo. Al fine di ridurre tali azioni sul fondo alveo è necessario consentire l'espansione golenale per portate di piena ordinaria, senza tuttavia alterare le condizioni di navigabilità. Per raggiungere tale obiettivo occorre prevedere la riduzione delle altezze dei pennelli. Nella Figura 8.4 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

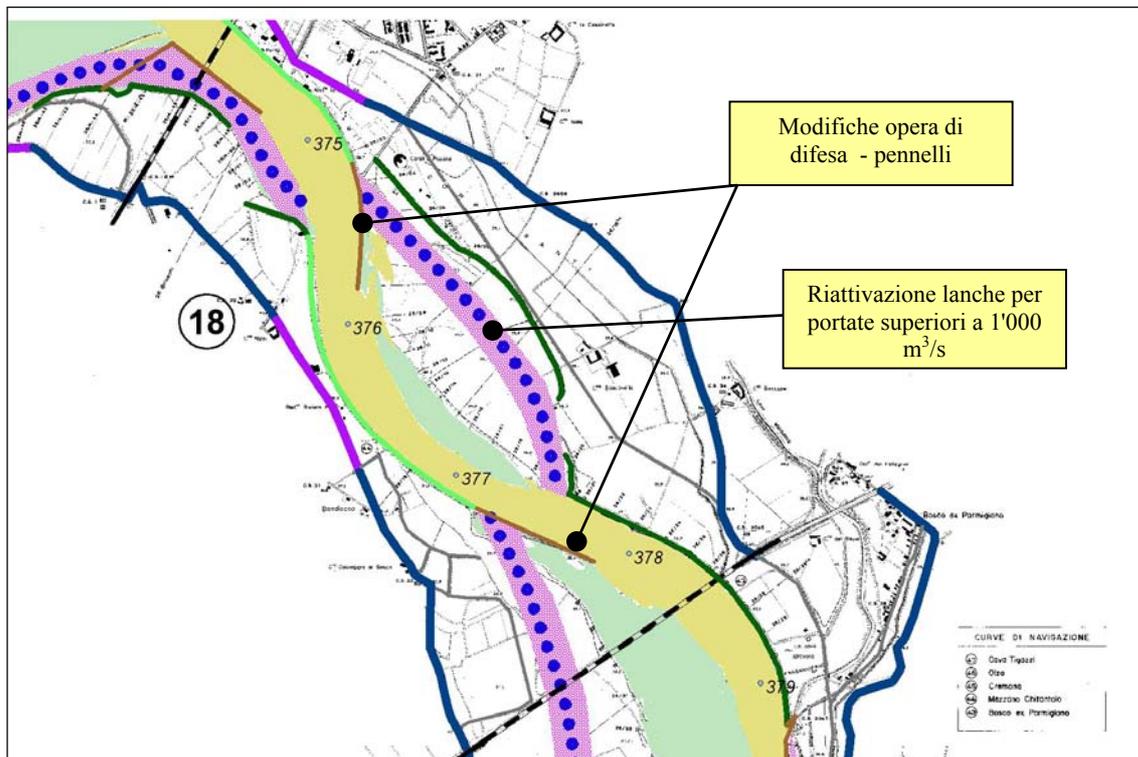


Figura 8.4 - Intervento di modifica dei pennelli

La dismissione di opere di difesa esistenti è stata prevista nei casi in cui manufatti di difesa non strategici, non posti cioè a protezione di opere da salvaguardare (argini), inducono sollecitazioni critiche su opere di difesa strategiche. Di fatto la dismissione di tali opere è fondamentale per il raggiungimento dell'assetto di progetto in quanto permette di eliminare azioni idrodinamiche che causano un'eccessiva sollecitazione delle opere di difesa strategiche, che possono quindi subire una riduzione della propria efficienza. Nella Figura 8.5 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

La dismissione di opere tende inoltre a rendere mobilizzabile dalla corrente di piena il materiale spondale retrostante e quindi a immettere nel bilancio del trasporto solido quantitativi oggi non presenti.

L'adeguamento di strutture interferenti non compatibili con gli obiettivi di assetto di progetto del corso d'acqua riguardano i rilevati degli attraversamenti stradali presenti all'interno dell'area golenale che, a causa della loro posizione ed estensione, limitano fortemente la mobilità planimetrica dell'alveo a fasce molto ristrette. L'intervento di adeguamento consiste essenzialmente nel prevedere la realizzazione di un viadotto al posto del tratto in rilevato. Tale intervento è già in atto, ad esempio, per il ponte della S.S. 211 a Pieve del Cairo. Nella Figura 8.6 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

Anche tali interventi tendono a "liberare l'alveo" in zone oggi vincolate e quindi ad immettere nel sistema fluviale portate solide attualmente non disponibili.

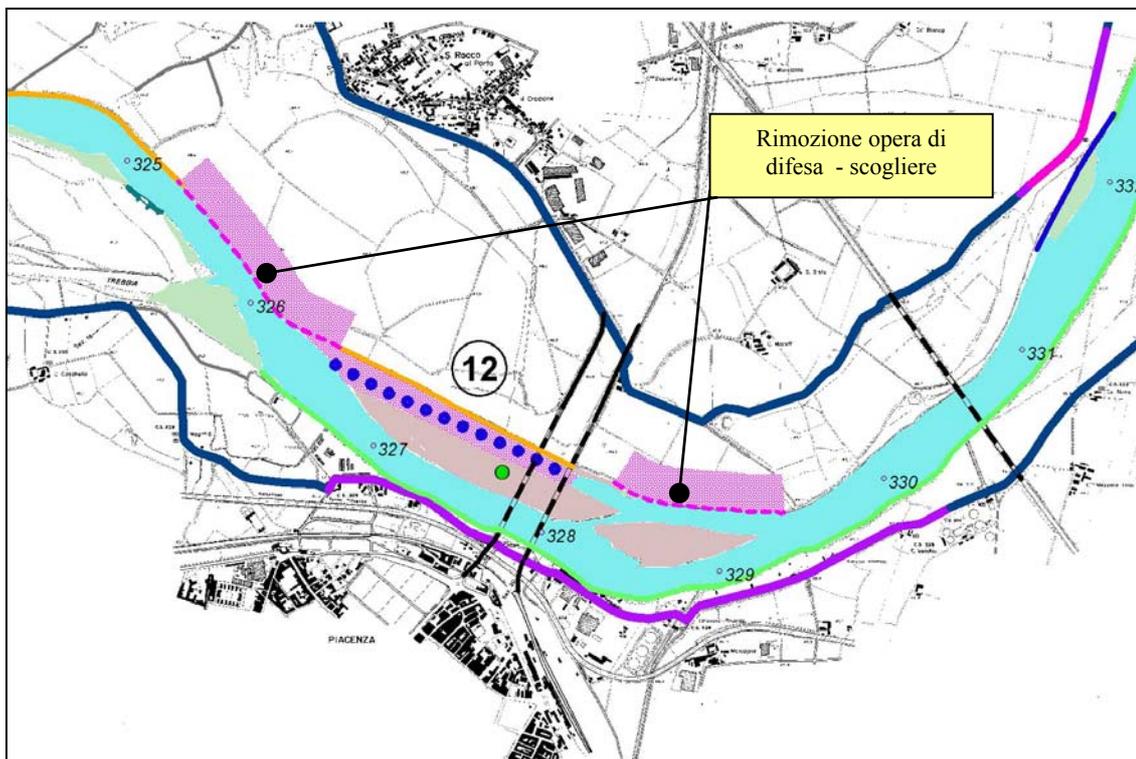


Figura 8.5 - Intervento di dismissione di opere di protezione spondali

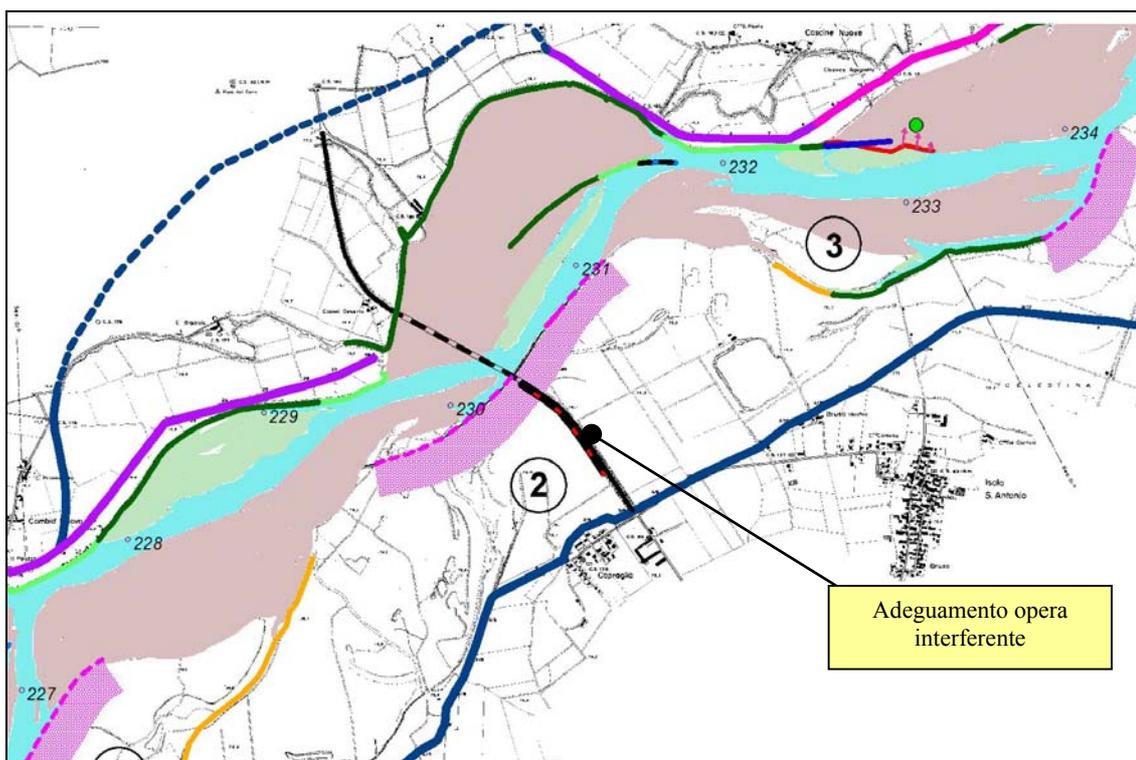


Figura 8.6 - Intervento di adeguamento opera interferente

Per quanto riguarda gli interventi di movimentazione e asportazione del materiale litoide sono previsti essenzialmente due tipologie, entrambe riconducibili all'obiettivo di modificare l'assetto planoaltimetrico dell'alveo al fine di ridurre l'azione idrodinamica della corrente attualmente diretta contro opere di difesa strategiche, poste a protezione di opere da salvaguardare (argini). Tali tipologie sono:

1. riapertura di canali laterali delle isole, attualmente occlusi in seguito a fenomeni di deposito, e movimentazione di barre (nel meandro di Isola Serafini);
2. rimodellamento delle superfici golenali finalizzato a favorire il raggiungimento di un nuovo assetto dei meandri, che attualmente presentano una configurazione planimetrica non naturale ma dovuta alla realizzazione di opere di difesa, la quale comporta l'instaurarsi di condizioni di criticità nei confronti di opere strategiche.

Gli interventi di tipo 1. interessano zone demaniali. Il quantitativo di materiale prelevato può essere destinato alla movimentazione (prelievo, trasporto e deposito) al fine di favorire il ripascimento del fondo alveo nel tratto a valle di Isola Serafini e per necessità locali, oppure può essere prelevato mediante concessione.

Gli interventi di tipo 2. possono interessare soprattutto aree private. Per la realizzazione di tali interventi può essere invece prevista la stipula di accordi tra privati ed ente pubblico (finanza di progetto).

Nella Figura 8.7 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato l'intervento di riapertura del canale laterale in corrispondenza di un'isola, mentre nella Figura 8.8 viene rappresentato l'intervento di rimodellamento delle aree golenali al fine di modificare l'andamento planimetrico di un meandro.

In corrispondenza degli interventi di dismissione di opere di difesa e di movimentazione e asportazione del materiale litoide sono state campite le zone indicativamente correlate alla realizzazione degli interventi citati.

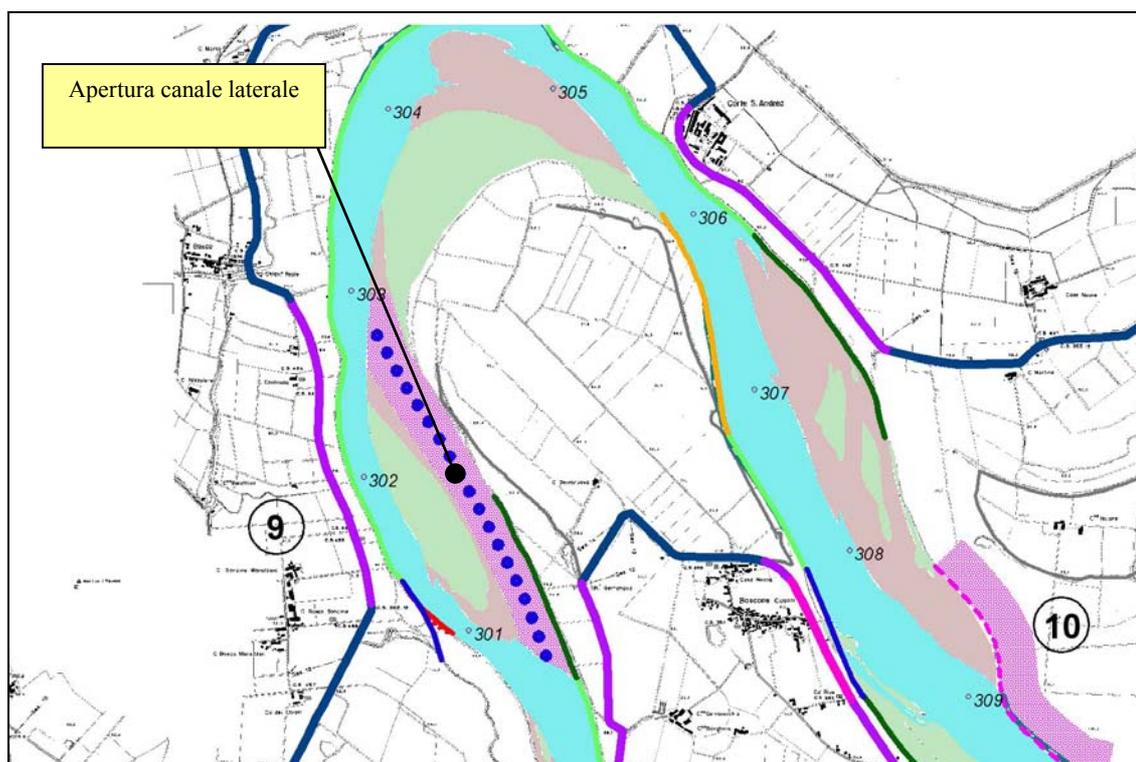


Figura 8.7 – Intervento di apertura del canale laterale

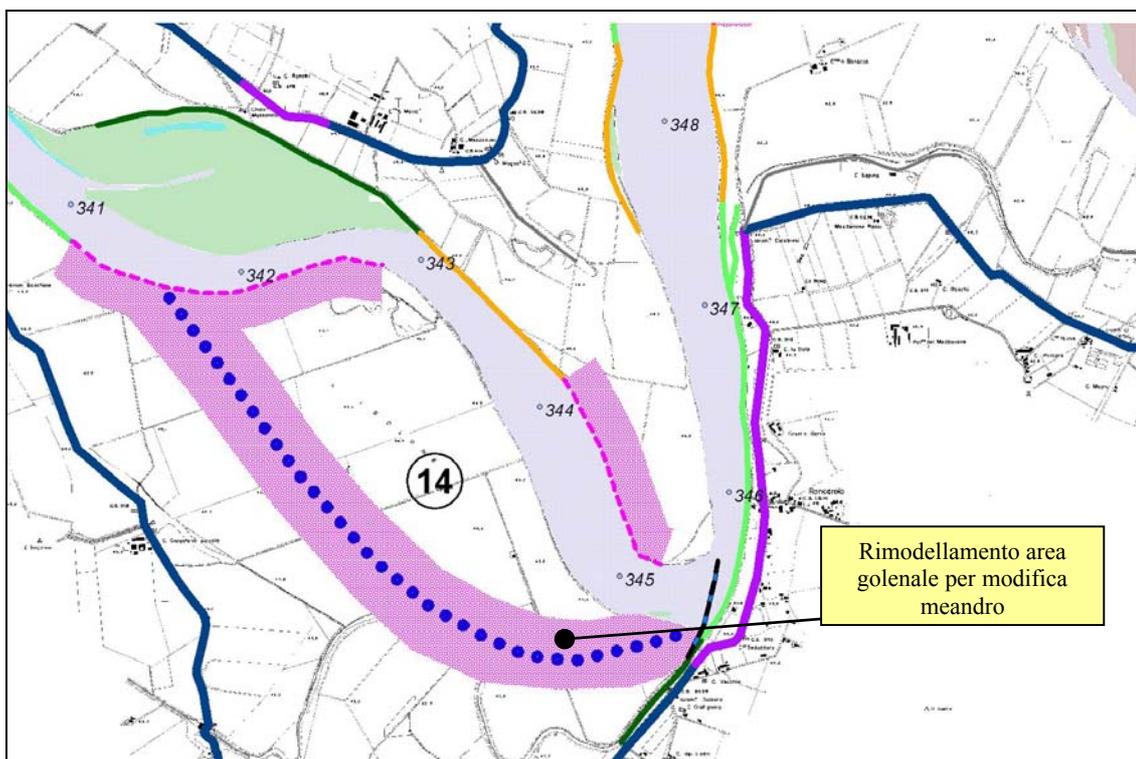


Figura 8.8 – Rimodellamento dell'area golenale per modificare il meandro

8.2.2 Gli interventi strutturali strategici di carattere ordinario

Gli interventi strutturali strategici di carattere ordinario sono costituiti essenzialmente da azioni che devono essere eseguite periodicamente al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi prefissati. In particolare gli interventi che rientrano in tale tipologia sono:

- prelievo e deposito di materiale litoide dal fondo alveo al fine di garantire la continuità del trasporto solido e il ripascimento dei tratti attualmente soggetti ad erosione del fondo alveo;
- manutenzione da attuare sulla vegetazione arborea.

Il primo intervento ha lo scopo di perseguire il duplice obiettivo di aumentare la capacità di trasporto nei tratti in cui allo stato attuale è in atto una marcata tendenza al deposito non compatibile con l'intero sistema (es. depositi a monte di Isola Serafini che concorrono ad indurre marcate erosioni del fondo alveo a valle dello sbarramento) e di favorire il ripascimento in quei tratti ove allo stato attuale si verificano fenomeni erosivi non compatibili con il sistema fluviale (es. erosione fondo alveo nel tratto a valle di Isola Serafini, nei pressi di Cremona). In Figura 8.9 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui sono rappresentati tratti di alveo da assogettare al prelievo e al deposito di materiale litoide.

L'attività di recupero e immissione di materiale solido deve essere graduata ed eseguita durante tutto l'anno, in relazione alle portate liquide presenti nei vari tratti fluviali e mantenuta sotto attento monitoraggio al fine di verificarne l'efficacia.

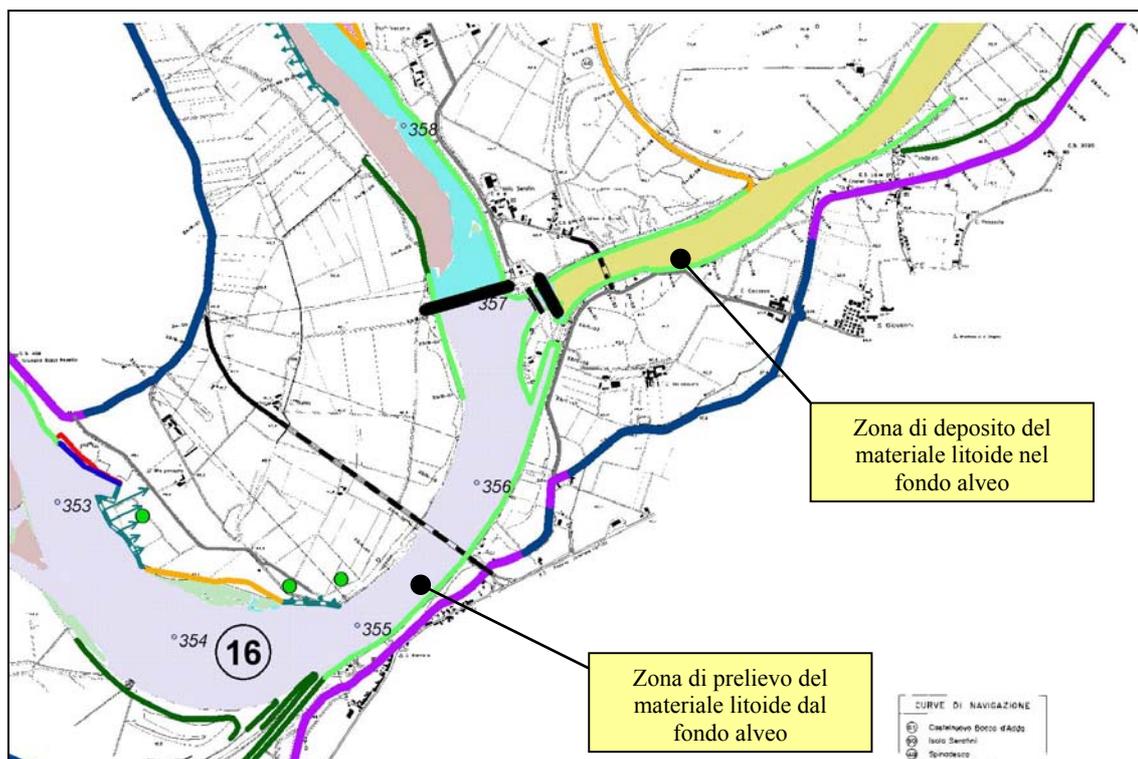


Figura 8.9 – Intervento di prelievo e deposito di materiale dal fondo alveo

Gli interventi legati alla vegetazione arborea sono da prevedere essenzialmente in corrispondenza dei pioppeti posti a tergo di sponde in erosione. Come è possibile riscontrare in diversi casi, le coltivazioni di pioppeti, spinte fin sul bordo delle alimentano, con la caduta delle piante in alveo, il trasporto verso valle di materiale flottante e provocano l'ostruzione parziale delle luci tra le pile dei ponti o il danneggiamento delle strutture di derivazione idrica e di approdo delle imbarcazioni. L'intervento può consistere nell'asportazione di una parte dei pioppeti posti sul ciglio della sponda in erosione, per una fascia di estensione pari a circa 10 m, come peraltro prescritto dall'articolo 29 comma 1, lettera d delle Norme di attuazione del PAI.

Nella Figura 8.10 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe descritta.

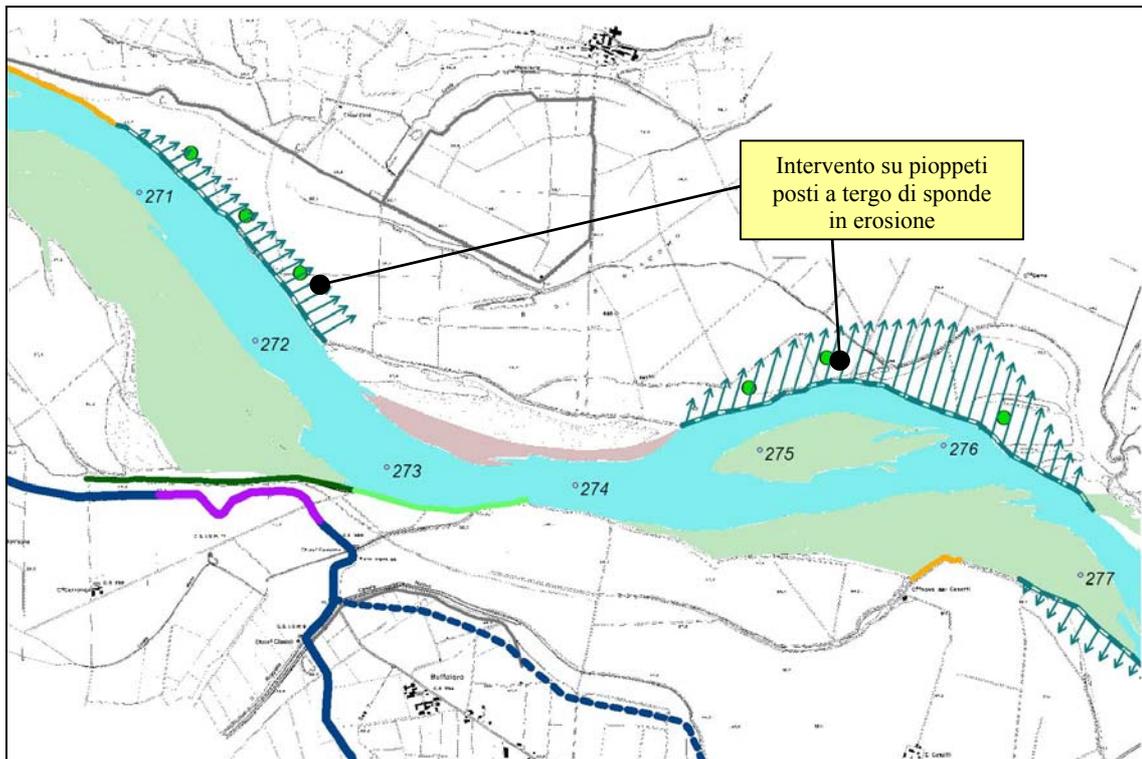


Figura 8.10 – Esempio di intervento sulla vegetazione arborea

8.2.3 Gli interventi non strutturali strategici di carattere ordinario

Gli interventi non strutturali strategici di carattere ordinario sono costituiti essenzialmente da azioni di monitoraggio dei fenomeni in atto (erosioni spondali, depositi di barre) e dello stato di consistenza delle opere di difesa.

In particolare si definiscono i seguenti livelli di intervento/monitoraggio:

- relativamente ai fronti di erosione spondale si distinguono (vedere Figura 8.11):
 - fronte attivo di erosione spondale da non contrastare per non alterare il bilancio del trasporto solido; tali fenomeni di erosione sono ubicati in zone lontane da opere da salvaguardare e pertanto non rappresentano criticità potenziali ma solo fonte di alimentazione per il trasporto solido;
 - fronte attivo di erosione spondale attualmente da non contrastare per non alterare il bilancio del trasporto solido, ma con necessità di monitoraggio da condursi con frequenza elevata (annuale o biennale) al fine di valutare l'evoluzione e la compatibilità con il sistema difensivo presente e l'eventuale necessità di realizzazione di opere di difesa per arrestare il processo in corso. Tali fronti di erosione attualmente non mettono a rischio nessuna opera da salvaguardare, ma la loro posizione è tale da non escludere nel tempo, in base all'evoluzione del processo in atto, la necessità di prevedere opere di difesa.

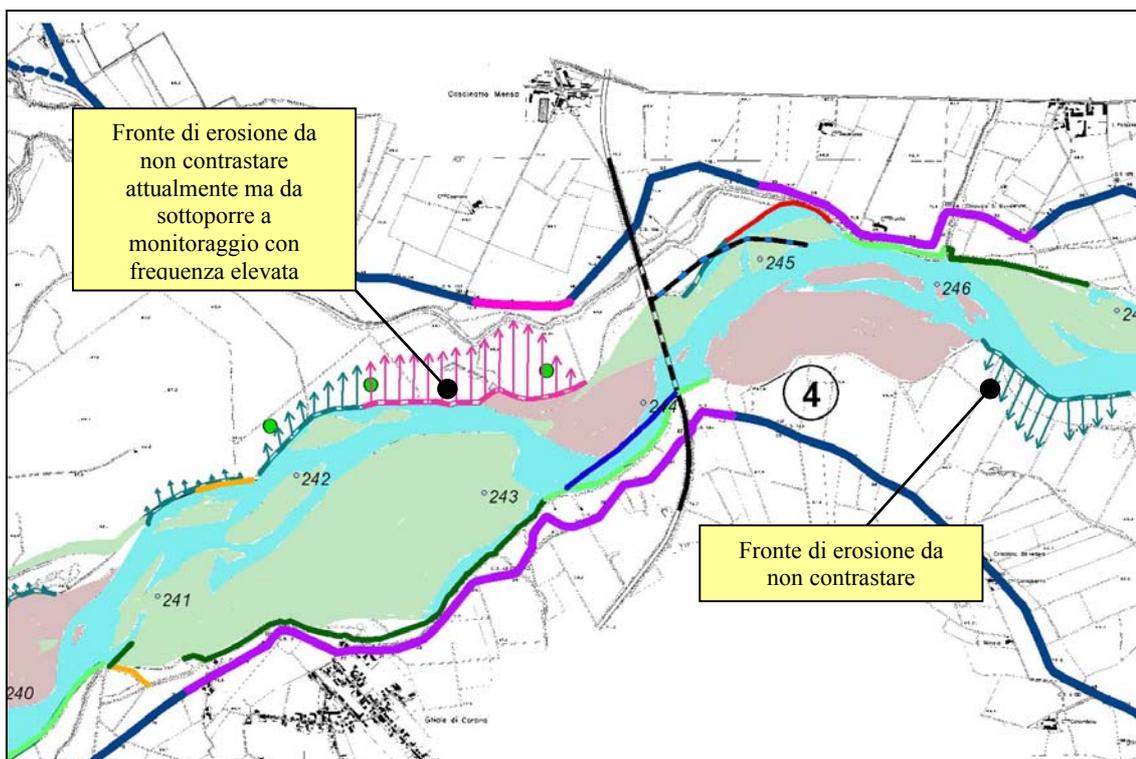


Figura 8.11 – Fronti di erosioni da monitorare

- relativamente alle opere di difesa si distinguono (vedere Figura 8.12):
 - opera di difesa spondale strategica, soggetta a sollecitazioni dirette da parte della corrente, da mantenere nel tempo e da monitorare con frequenza elevata (annuale) per verificarne l'efficienza;
 - opera di difesa spondale strategica, non soggetta a sollecitazioni dirette da parte della corrente, da mantenere nel tempo e da monitorare per verificarne l'efficienza;
 - opera di difesa spondale non strategica, da non mantenere e da monitorare per verificarne la progressiva e naturale dismissione;

- relativamente alle barre depositatesi si distinguono (vedere Figura 8.13):
 - barre di sedimento da sottoporre a monitoraggio frequente in seguito alle criticità indotte dalle stesse al fine di verificare la necessità di interventi futuri; le criticità che possono essere indotte dalle barre sono quelle riportate nell'analisi dello stato attuale, e precisamente: indirizzamento della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche, limitazione degli usi antropici (derivazioni e prese idriche, porti e approdi ad uso commerciale ed industriale), presenza di vegetazione critica, riduzione della capacità dell'alveo inciso;
 - barre di sedimento da non sottoporre a monitoraggio.

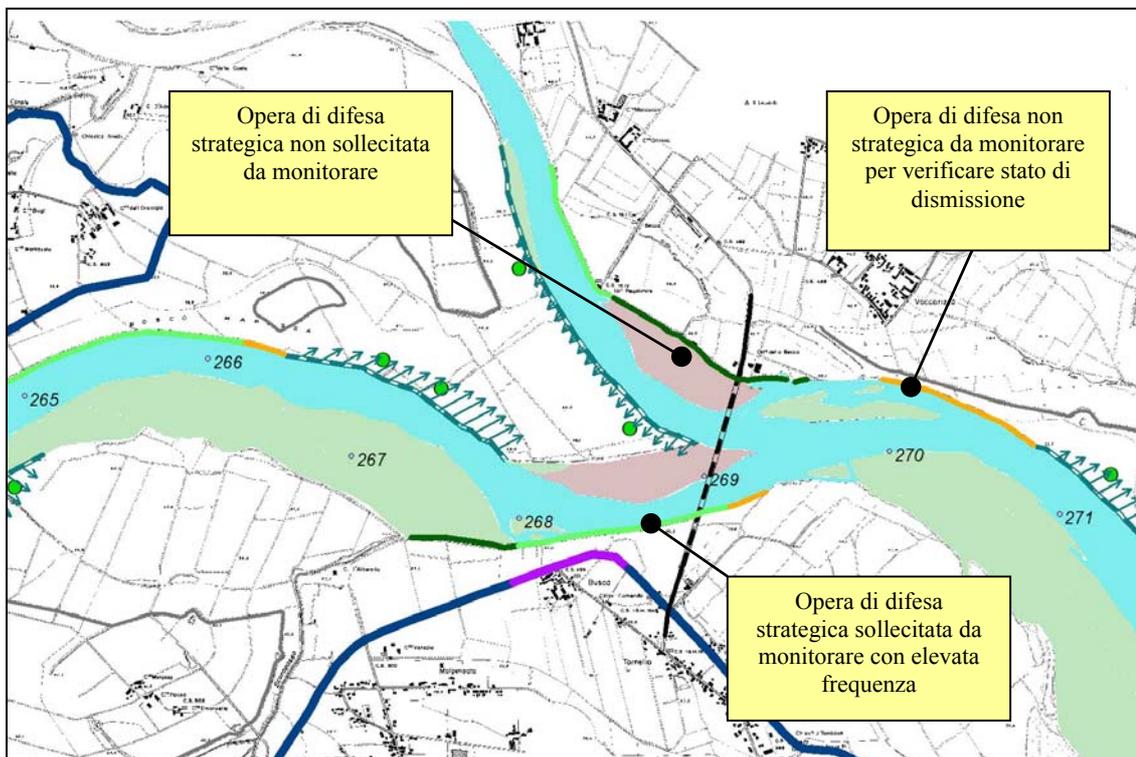


Figura 8.12 – Opere da sottoporre ad interventi di monitoraggio

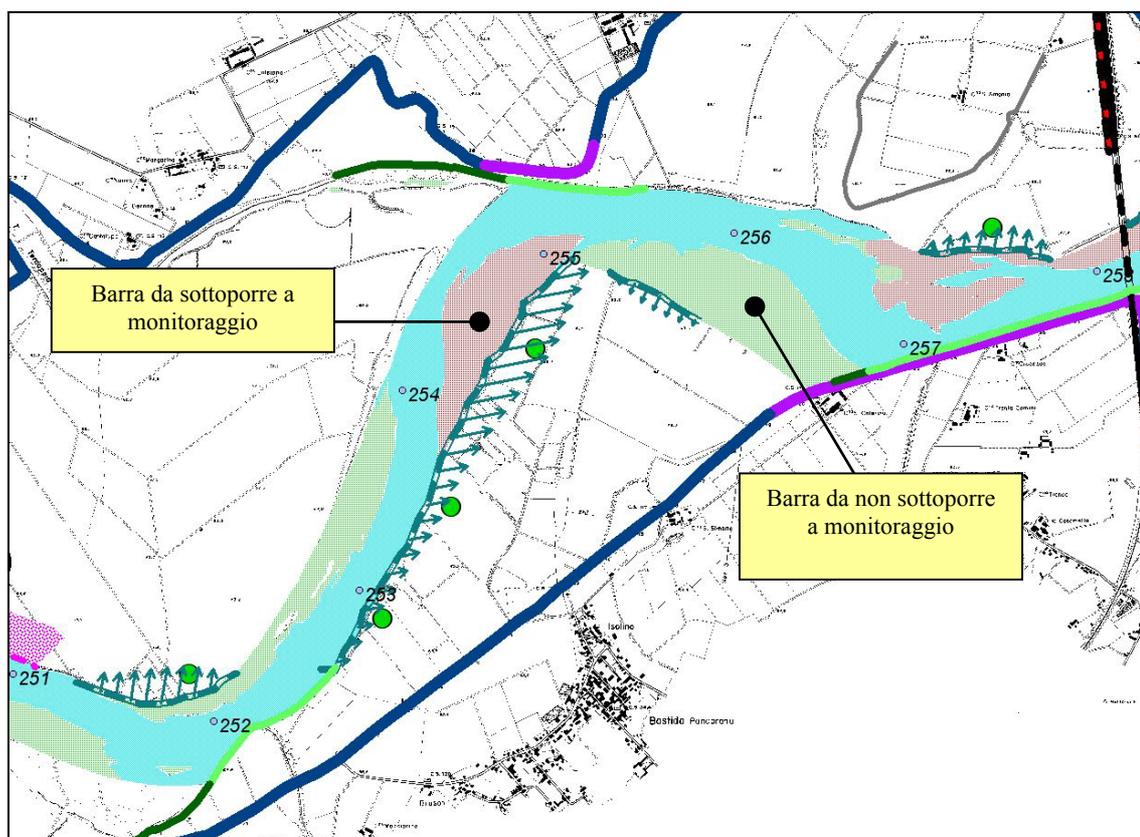


Figura 8.13 – Interventi di monitoraggio delle barre

Nel paragrafo 8.4 sono descritte con maggior dettaglio le attività di monitoraggio che, nel breve – medio periodo, devono condurre ad affinare i risultati di analisi del trasporto solido e a orientare la realizzazione degli interventi.

8.2.4 I criteri e le prescrizioni per la realizzazione degli interventi locali

Nella presente categoria di interventi rientrano tutte quelle azioni volte a risolvere criticità puntuali che interessano situazioni circoscritte.

I casi di riferimento in linea generale sono di due tipi:

1. necessità di intervento connesse a criticità idrauliche locali
2. necessità di intervento connesse a criticità locali legate agli utilizzi antropici (opere di presa, porti e sentieri per la navigazione) di cui un esempio tipico è rappresentato dalla formazione di barre in prossimità di opere di presa o di strutture per la navigazione, di dimensioni e forma tali da poter pregiudicare il corretto uso delle stesse.

In tutti questi casi potranno essere intraprese dai soggetti interessati, previa autorizzazione delle autorità competenti, le azioni in grado di tutelare e garantire gli usi in atto.

Tutti gli interventi proposti dovranno in generale rispettare l'assetto morfologico del corso d'acqua e, nello specifico, gli obiettivi previsti dal presente Programma generale.

In particolare per quanto riguarda gli interventi per la risoluzione di criticità idrauliche locali di cui al precedente punto 1, si dovranno tenere in considerazione le seguenti prescrizioni:

- nei tratti di asta fluviale in equilibrio o in erosione per quanto riguarda il bilancio del trasporto solido, non possono essere asportati sedimenti interni all'alveo inciso, ma possono solo essere realizzati interventi di movimentazione in loco, nel rispetto degli obiettivi del presente Programma generale;
- nei tratti di asta fluviale in deposito possono essere previsti interventi che prevedono l'asportazione di materiale litoide; in tali casi dovrà essere stabilita congiuntamente con le autorità competenti, la quota parte di materiale che dovrà essere movimentata all'interno dell'alveo (prelievo in tratti in deposito e ricollocazione in tratti in erosione) e l'eventuale quantità che potrà essere prelevata. Le suddette quantità dovranno essere valutate di volta in volta a seconda dell'ubicazione dell'intervento e delle quantità di materiale;
- nei tratti di asta fluviale in cui il presente Programma generale prevede la dismissione di opere di difesa longitudinale, possono essere proposti interventi di apertura di rami laterali in aree golenali. Per tali interventi dovrà in ogni caso essere verificata la compatibilità con il PAI e con l'assetto definito nel presente Programma generale. Come per il caso precedente dovrà essere stabilita la quota parte di materiale che può essere asportata e quella che invece dovrà essere movimentata all'interno dell'alveo;
- per quanto concerne le sponde in erosione, non possono essere previsti interventi locali di protezione spondale, qualora ciò non sia previsto dal presente Programma generale. L'instaurarsi di nuove erosioni o l'esistenza di erosioni in atto non segnalate ed analizzate nel Programma generale, potrà essere contrastata solo se il loro avanzamento sia in grado di mettere a rischio opere da salvaguardare; in tal caso comunque gli interventi dovranno essere

adeguatamente valutati con riferimento all'assetto del corso d'acqua definito nel Programma generale.

Per quanto riguarda invece gli interventi per la risoluzione di criticità locali connesse agli utilizzi antropici e specificate al precedente punto 2, si dovranno tenere in considerazione le seguenti prescrizioni:

- laddove sia necessario prevedere asportazione di sedimenti che impediscono l'uso antropico gli interventi dovranno, in tutti i casi, essere effettuati mediante la sola movimentazione all'interno dello stesso alveo inciso nei punti che saranno concordati con le autorità competenti;
- tali interventi, non essendo in grado di modificare in modo permanente la sezione fluviale, avranno chiaramente carattere temporaneo e pertanto dovranno essere ripetuti, se necessari, con adeguata cadenza temporale nei periodi precedenti l'attività antropica medesima.

8.3 *Gli interventi rilevanti a scala di asta fluviale*

Le attività svolte hanno permesso di raggruppare i singoli interventi strutturali strategici descritti in precedenza in 18 macro interventi rilevanti a scala di asta fluviale, la cui attuazione è necessaria per il conseguimento degli obiettivi di gestione dei sedimenti fissati.

Nella tabella successiva vengono riportati gli interventi previsti con indicazione dei quantitativi e dell'importo delle opere stimato e di seguito, per ogni intervento viene riportata una sintesi comprendente una breve descrizione dello stesso e degli effetti attesi.

Tabella 8.1 – Elenco degli interventi da monte a valle

<i>n.</i>	<i>Località</i>	<i>Interventi</i>	<i>U.m.</i>	<i>Quantità</i>	<i>Importo [€]</i>
1	C.na Grossa	dismissione scogliera	m	1'000	550'000
		formazione pennello	m	900	2'950'000
2	Ponte S.P. 211 Pieve del Cairo	dismissione scogliera	m	1'400	900'000
3	C.ne Nuove	dismissione scogliera	m	700	550'000
		formazione pennello	m	200	690'000
		formazione scogliera	m	350	360'000
4	Ponte A7	formazione scogliera	m	700	700'000
		Formazione pennello	m	900	5'900'000
5	Piana Rabattone	dismissione scogliera	m	800	600'000
6	Spessa Po	formazione scogliera	m	1'000	1'000'000
7	La Casella	modifica pennelli	m	800	1'500'000
8	Bosco di Litta	formazione pennello	m	700	4'500'000
9	C.na Beltramo - Bosco Soncina	formazione di pennelli	m	400	1'100'000
		Formazione scogliera	m	500	550'000
		Apertura canale laterale: movimentazione	mc	500'000	2'350'000
		Apertura canale laterale: estrazione in concessione	mc	500'000 – 700'000	In concessione
10	Boscone Cusani	formazione scogliera	m	750	800'000
		dismissione scogliera	m	1'500	1'200'000
11	Mezzano Vigoleno	formazione di pennelli	m	650	14'700'000
		dismissione scogliera	m	2'600	450'000
		apertura canale laterale: movimentazione	mc	500'000	2'350'000
		Apertura canale laterale: estrazione in concessione	mc	500'000 – 700'000	In concessione
12	Isolotto Maggi	dismissione scogliera	m	2'200	2'200'000
		Apertura canale laterale: movimentazione	mc	600'000	2'800'000
13	Mortizza	formazione scogliera	m	1'600	1'800'000
		dismissione scogliera	m	2'200	1'700'000
		rimodellamento area golenale per correzione meandro: finanza di progetto	mc	Da definire	Finanza progetto
14	Nure	formazione pennello	m	500	5'000'000
		dismissione scogliere	m	2'900	2'500'000
		rimodellamento area golenale per correzione meandro: finanza di progetto	mc	Da definire	Finanza progetto
15	C.na La Baracca	dismissione scogliera	m	900	670'000
		formazione pennelli	m	1'200	6'530'000
16	fondo alveo Piacenza - Isola Serafini	movimentazione materiale litoide dal fondo alveo (cadenza annuale)	mc	500'000	2'350'000
17	Meandro Isola Serafini	movimentazione materiale litoide da barre	mc	500'000	2'350'000
		Estrazione materiale litoide da barre	mc	1'000'000 – 2'000'000	In concessione
18	Cremona	abbassamento pennelli navigazione	m	6'000	19'650'000
		Apertura lanche: movimentazione	mc	500'000	2'350'000
		Apertura lanche: estrazione in concessione	mc	3'000'000 - 5'000'000	In concessione

Intervento 1: Cascina Grossa

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la dismissione dell'opera di difesa ubicata al km 227 in sponda destra, per una lunghezza complessiva pari a circa 1 km (spessore 1,5 m, altezza pari a 7 m ed inclinazione del paramento pari a 30° sull'orizzontale) e la realizzazione di un pennello di lunghezza complessiva di circa 900 m tra il km 226 e il km 227 in sponda sinistra (sviluppo coronamento 10 m, altezza 6 m e pendenza scarpate 2:1), come prosecuzione di un'opera esistente, al fine di modificare la posizione dell'alveo di magra e di piena ordinaria.

EFFETTI ATTESI: la dismissione dell'opera di difesa e la realizzazione del pennello dovrebbero permettere al deflusso ordinario di erodere le barre presenti e parte della golenale destra, in modo da indirizzare la corrente non più contro opere di difesa strategiche e portare l'alveo di magra in una posizione più centrale rispetto agli argini maestri.

Intervento 2: Ponte S.P. 211 Pieve del Cairo

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la dismissione delle opere di difesa ubicate al km 230 e al km 231 in sponda destra. La lunghezza complessiva delle opere da dismettere è pari a circa 1.4 km (altezza pari a 8 m, inclinazione paramento pari a 30° sull'orizzontale e spessore di 1.5 m).

EFFETTI ATTESI: la dismissione delle opere di difesa dovrebbe permettere all'alveo del fiume Po di assumere una posizione più centrale rispetto alle arginature maestre.

Intervento 3: C.ne Nuove

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione dei seguenti interventi:

- la realizzazione di una scogliera, ubicata in sponda sinistra al km 233 ed avente uno sviluppo pari a circa 350 m (altezza pari a 10 m, inclinazione paramento pari a 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m);
- la realizzazione di un pennello in corrispondenza della progressiva km 231.5, in sponda sinistra, avente uno sviluppo di circa 200 m, in proseguimento dell'opera esistente posta al km 231 (altezza pari a 5 m, inclinazione paramento pari a 2:1 e larghezza coronamento pari a 10 m);
- dismissione dell'opera di difesa posta in destra idraulica, ubicata al km 234, avente una lunghezza pari a circa 700 m (altezza pari a 10 m, inclinazione paramento pari a 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m).

EFFETTI ATTESI: maggior protezione delle arginature presenti in sinistra idraulica e aumento della divagazione naturale dell'alveo in destra, interessando un'ampia area golenale a monte della confluenza con il torrente Scrivia.

Intervento 4: Ponte A7

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di opere di difesa lungo entrambe le sponde; in sponda sinistra si prevede la realizzazione di un pennello per una lunghezza complessiva di circa 900 m (altezza pari a 8 m, larghezza del paramento , mentre in sponda destra si prevede la realizzazione di un'opera di difesa localizzata tra il km 243 e il km 244 ed avente uno sviluppo pari a circa 700 m (altezza pari a 10 m, spessore di 1.5 m e inclinazione paramento pari a 30° sull'orizzontale);

EFFETTI ATTESI: messa in sicurezza dell'argine maestro in sinistra idraulica e convogliamento del deflusso ordinario con direzione conforme all'attuale ubicazione delle opere del manufatto di attraversamento e delle opere di difesa arginali presenti.

Intervento 5: Piana Rabattone

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la dismissione di un'opera di difesa in sponda sinistra avente uno sviluppo complessivo di circa 800 m (altezza pari a circa 10 m, inclinazione del paramento sull'orizzontale pari a 30° e spessore di 1.5 m);

EFFETTI ATTESI: attivazione di fenomeni erosivi in sponda sinistra in modo da modificare la configurazione planimetrica dell'alveo, portandolo in posizione centrale rispetto agli argini maestri.

Intervento 6: Spessa Po

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di un'opera di difesa longitudinale in sinistra idraulica di lunghezza complessiva pari a circa 1'000 m (altezza pari a 10 m, inclinazione di 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m);

EFFETTI ATTESI: arrestare l'erosione di sponda.

Intervento 7: La Casella

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la dismissione parziale e l'abbassamento dei pennelli esistenti per una volumetria complessiva pari a circa 50'000 m³ (sviluppo di 800 m, altezza di 4 m, larghezza coronamento pari a 10 m e inclinazione paramento pari a 2:1).

EFFETTI ATTESI: si prevede la riduzione del processo erosivo del fondo alveo localizzato in corrispondenza della centrale di "La Casella".



Foto 8 – Centrale di La Casella

Intervento 8: Bosco Litta

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di un nuovo pennello in sinistra in corrispondenza della progressiva 293,00 in modo da deviare la corrente ordinaria verso la sponda destra (lunghezza pari a circa 700 m, larghezza del coronamento pari a 10 m, altezza pari a 8 m e pendenza paramento pari a 2:1).

EFFETTI ATTESI: si prevede lo spostamento dell'alveo ordinario verso destra in corrispondenza della curva in località Bosco Litta.

Intervento 9: C.na Beltramo – Bosco Soncina

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: nel tronco di monte si prevede la realizzazione di alcuni pennelli (lunghezza complessiva stimata pari a circa 400 m, larghezza del coronamento pari a 10 m, pendenza del paramento pari a 2:1 e altezza di circa 4 m) in grado di deviare la corrente ordinaria verso la sponda sinistra, mentre per il tratto di valle si prevede la realizzazione di un'opera di difesa in sponda sinistra (di estensione pari a circa 500 m, altezza pari a 10 m, inclinazione paramento pari a 30° sull'orizzontale e spessore di 1.5 m) e l'apertura del canale laterale destro dell'isola (intervento in parte già in atto) per una lunghezza complessiva di circa 2 km, per una profondità stimabile in 3 - 4 m e per una larghezza di circa 150 – 200 m.

EFFETTI ATTESI: spostamento dell'alveo ordinario verso la sponda sinistra in corrispondenza del tratto a valle della confluenza con il Tidone; protezione dell'argine maestro e riduzione delle sollecitazioni dirette contro le opere di difesa longitudinali in sponda sinistra nei pressi di Bosco Soncina.



Foto 9 – C.na Beltramo – Bosco Soncina

Intervento 10: Boscone Cusani

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di un'opera di difesa longitudinale in sponda destra in corrispondenza del km 308, in modo da rendere continue le attuali difese (lunghezza complessiva pari a circa 750 m, altezza di 10 m, inclinazione del paramento pari a 30° sull'orizzontale e spessore di circa 1.5 m) e la dismissione dell'opera di difesa longitudinale posta in sponda sinistra dal km 308 al km 310 (lunghezza complessiva pari a circa 1'500 m, altezza di 10 m, inclinazione del paramento pari a 30° sull'orizzontale e spessore di circa 1.5 m).

EFFETTI ATTESI: protezione dell'argine maestro ubicato in destra idraulica e aumento della libera divagazione verso la sponda sinistra in modo da ridurre delle sollecitazioni dirette contro le opere di difesa strategiche localizzate in sponda destra.

Intervento 11: Mezzano Vigoleno

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di alcuni pennelli (lunghezza complessiva stimata pari a circa 2'600 m, larghezza del coronamento di circa 10 m, altezza pari a circa 7 m e inclinazione del paramento pari a 2:1) in grado di deviare la corrente ordinaria verso la sponda opposta rispetto alla posizione delle arginature in frodo; per quanto riguarda le isole si prevede l'apertura dei canali laterali ostruitosi nell'ultimo ventennio (lunghezza complessiva del tratto da scavare pari a circa 3 km per una profondità di circa 3-4 m e una larghezza di circa 100 m). L'intervento relativo al canale posto tra la progressiva 318 e 319 è già in atto e quindi non è inserito nel computo. Infine è prevista la dismissione dell'opera di difesa posta al km 320 in sponda sinistra, per uno sviluppo complessivo pari a 650 m (altezza pari a circa 10 m, pendenza del paramento di 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m).

EFFETTI ATTESI: spostamento dell'alveo ordinario verso la sponda opposta rispetto alla posizione delle arginature in frodo e riduzione delle sollecitazioni dirette contro le opere di difesa longitudinali strategiche; a partire dal km 320 ci si attende una maggior divagazione naturale verso la sponda sinistra in modo da ridurre le sollecitazioni nei confronti delle opere poste in destra idraulica a monte della confluenza con il fiume Trebbia.

Intervento 12: Isolotto Maggi

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede l'apertura del canale lombardo, per un tratto di circa 1'800 m e per una profondità di circa 3-4 m, in modo da renderlo attivo per portate ordinarie, comunque superiori a quelle di magra, in modo da ridurre le sollecitazioni della corrente contro la sponda destra. Per far sì che il canale con il tempo non si interri nuovamente occorre rimuovere parte delle opere di difesa poste in sponda sinistra a monte e a valle dell'isolotto Maggi (lunghezza complessiva pari a circa 2'200 m, altezza pari a 12 m, inclinazione paramento sull'orizzontale pari a 30° e spessore di 1.5 m) che attualmente indirizzano la corrente ordinaria in sponda destra. Per quanto concerne poi la vegetazione presente sull'isolotto Maggi, è necessario prevedere l'asportazione di quelle piante che in caso di piena possono essere rimosse e provocare la parziale ostruzione dei ponti presenti.

EFFETTI ATTESI: aumento della larghezza dell'alveo interessato da portate ordinarie, con conseguente riduzione delle sollecitazioni dirette verso le opere di difesa presenti in sponda destra, poste a tutela del sistema arginale di Piacenza.



Foto 10 – Isolotto Maggi - Piacenza

Intervento 13: Mortizza

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di opere di difese longitudinali che permettono di rendere continua la difesa degli argini in frodo posti al km 332 in sponda sinistra e al km 333 in sponda destra (lunghezza complessiva pari a 1'600 m, altezza pari a circa 10 m, inclinazione del paramento di 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m). Si prevede inoltre la dismissione di alcuni tratti di opera di difesa longitudinale che hanno indotto l'attuale configurazione planimetrica del meandro (lunghezza complessiva pari a circa 2'200 m, altezza pari a circa 10 m, inclinazione del paramento di 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m) e la realizzazione di un ramo di Po all'interno dell'attuale area golenale posta in sinistra, in modo da ridare al meandro una curvatura meno accentuata rispetto all'attuale e di conseguenza ridurre l'azione della corrente contro gli argini in frodo posti in sponda sinistra. La lunghezza complessiva del nuovo ramo di Po è pari a circa 3'200 m, a cui corrisponde una volumetria pari a circa 6 – 8 milioni di metri cubi (esterni all'attuale alveo inciso). Parte di tale volumetria potrebbe essere prelevata, secondo alcune fasi da definire nella fase di progettazione, in modo da favorire la formazione del nuovo ramo fluviale.

EFFETTI ATTESI: aumento della mobilità fluviale verso le aree golenali e modifica della configurazione planimetrica dell'alveo con conseguente salvaguardia delle arginature presenti.

Intervento 14: Nure

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: per modificare la configurazione planimetrica del meandro posto in corrispondenza della confluenza con il torrente

Nure, si prevede la dismissione delle opere di difesa poste a monte, sia in sponda destra (dal km 341 al km 343) che in sponda sinistra (dal km 344 al km 345). e la realizzazione di un nuovo ramo del Po nell'attuale golena destra in modo fornire al meandro un maggior raggio di curvatura e ridurre quindi le azioni contro le opere di difesa strategiche. Per proteggere ulteriormente l'argine in froldo in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo, si prevede la realizzazione di un pennello in sponda destra, in modo da indirizzare la corrente verso la sponda sinistra.

La lunghezza complessiva delle opere da rimuovere è pari a circa 2'900 m (altezza pari a circa 10 m, inclinazione del paramento di 30° sull'orizzontale e spessore pari a 1.5 m), mentre la lunghezza stimata del nuovo pennello è pari a circa 500 m (larghezza coronamento pari a 10 m, altezza di 10 m e pendenza paramento pari a 2:1). La lunghezza del nuovo ramo di Po è pari a circa 3'600 m, a cui corrisponde una volumetria pari a circa 10 – 12 milioni di metri cubi (esterni all'attuale alveo inciso). Parte di tale volumetria potrebbe essere prelevata, secondo alcune fasi da definire nella fase di progettazione, in modo da favorire la formazione del nuovo ramo fluviale.

EFFETTI ATTESI: aumento della mobilità fluviale verso le aree golenali e modifica della configurazione planimetrica dell'alveo con conseguente salvaguardia delle arginature presenti.



Foto 11 – Meandro a confluenza Nure

Intervento 15: C.na La Baracca

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di pennelli in sponda sinistra allo scopo di indirizzare la corrente ordinaria verso la sponda destra in modo da proteggere maggiormente gli argini posti in sinistra; congiuntamente a tali opere si prevede la dismissione di una parte dell'attuale opera di difesa posta in

destra al fine di aumentare la divagazione dell'alveo verso la golenale. La lunghezza complessiva delle opere da rimuovere è pari a circa 900 m, mentre la lunghezza stimata dei nuovi pennelli è pari a circa 1'200 m. Per quanto riguarda la sezione tipo dei pennelli si è ipotizzato una larghezza del coronamento di circa 10 m, un'altezza pari a circa 7 m e un'inclinazione del paramento pari a 2:1. Per quanto riguarda invece l'opera di difesa si è ipotizzata un'altezza pari a 10 m, un'inclinazione di 30° sull'orizzontale ed uno spessore di 1.5 m.

EFFETTI ATTESI: aumento della mobilità fluviale verso aree golenali e modifica della configurazione planimetrica dell'alveo con conseguente salvaguardia delle arginature presenti.

Intervento 16: Fondo alveo Piacenza – Isola Serafini

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: mediante l'uso di una draga natante si prevede di prelevare il materiale depositatosi sul fondo nel tratto tra Piacenza ed Isola Serafini e di depositarlo a valle della centrale, indicativamente nel tratto che comprende il canale di scarico della centrale, fino a Cremona. L'ostacolo della centrale e della traversa può essere superato mediante l'utilizzo della nuova conca di navigazione che è in fase avanzata di progettazione. Il volume che è necessario prelevare è dell'ordine di 500'000 m³/anno, pari alla capacità di trasporto di equilibrio del Po nel tratto analizzato.

EFFETTI ATTESI: riduzione dei fenomeni di deposizione nel tratto tra Piacenza e Isola Serafini e ripascimento del tratto di Po a valle del canale di scarico della centrale di Isola Serafini.

Intervento 17: Meandro Isola Serafini

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la rimobilizzazione del materiale depositatosi sulle barre presenti in destra idraulica verso l'alveo di magra localizzato in sinistra. La lunghezza del tratto interessato dall'intervento di rimobilizzazione è pari a circa 12 km e si stima un volume complessivo pari a circa 2'500'000 m³ (volume depositatosi nel ventennio 1982 – 2002 nelle barre comprese tra le progressive 359 e 367). Si ipotizza di utilizzare parte del materiale (circa 500'000 m³, pari alla capacità di trasporto annuo del Po) per interventi di ripascimento all'interno del meandro o nel tratto più a valle. Un'altra parte del materiale rimosso può essere data in concessione.

EFFETTI ATTESI: attenuazione o arresto del processo di approfondimento del fondo alveo.

Intervento 18: Cremona

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede un intervento generalizzato di riduzione dell'altezza dei pennelli di navigazione (altezza pari a 5 – 6 m, larghezza coronamento assunta pari a 10 m e inclinazione paramento pari a 2:1), in modo da agevolare l'espansione di piene ordinarie in aree golenali. La lunghezza complessiva dei pennelli su cui occorre intervenire è pari a circa 6'000 m. Inoltre si prevede la riapertura di alcune lanche, poste a tergo dei pennelli, che attualmente non risultano interessate da deflusso per piene ordinarie.

EFFETTI ATTESI: riduzione della canalizzazione dell'alveo permettendo l'espansione della corrente in aree golenali in condizioni di piena ordinaria, contribuendo alla riduzione degli effetti di erosione del fondo alveo.

Nella seguente tabella viene riportata una sintesi degli interventi sopradescritti, suddivisi per tipologia.

Tabella 8.2– Sintesi degli interventi

<i>Tipologia intervento</i>	<i>U.m.</i>	<i>Quantità</i>	<i>Importo opere [€] *</i>
Formazione scogliere	m	4'900	5'210'000
Formazione pennelli	m	7'400	41'370'000
dismissione scogliere	m	14'250	11'320'000
Modifica pennelli	m	6'800	21'150'000
Movimentazione sedimenti	mc	3'100'000 **	14'550'000
Estrazione sedimenti in concessione	mc	5'000'000 – 8'000'000	In concessione
Rimodellamento aree golenali per correzione meandri	mc	Da definire	Finanza di progetto
Importo opere totale			93'600'000

* escluso IVA, spese tecniche, espropri, servitù, indagini, rilievi, imprevisti, ecc.

** parte di tale quantitativo (500'000 mc) è da considerarsi annuale (intervento n.16 proposto lungo il fondo alveo tra Piacenza e Isola Serafini)

Relativamente a tale tabella si specifica quanto segue:

- i quantitativi indicati nella voce “movimentazione sedimenti”, provengono sostanzialmente dall'alveo inciso, da zone in deposito (fondo alveo tra Piacenza e Isola Serafini e dai canali laterali occlusi delle isole) e vengono utilizzati per favorire il ripascimento del tratto a valle di Isola Serafini e per garantire la continuità del trasporto solido attraverso lo sbarramento;
- parte dei quantitativi riportati nella voce “Estrazione sedimenti in concessione” (circa 3'000'000 – 5'000'000 m³) derivano dalla riapertura delle lanche laterali nel tratto sistemato a valle di Cremona e quindi, essendo esterni all'alveo inciso, non partecipano attivamente alle dinamiche di trasporto solido; la parte restante (circa 2'000'000 – 3'000'000 m³) proviene invece dalla riapertura dei canali laterali delle isole a monte di Isola Serafini e dalle barre presenti nel meandro a valle dello sbarramento. Si ritiene che tale quantitativo possa essere prelevato dall'alveo in quanto:
 - sono già stati computati nella voce “movimentazione sedimenti” i quantitativi necessari a garantire la continuità del trasporto solido attraverso lo sbarramento;
 - tale materiale, rimosso per esigenze idrauliche, difficilmente potrebbe essere preso in carico dalla corrente fluviale ordinaria in quanto localizzato in zone scarsamente interessate dal deflusso e quindi poco soggette all'azione di trascinamento della corrente in grado di rimobilizzarlo (canali laterali delle isole);
 - i tratti posti a monte delle zone di intervento garantiscono comunque una continua alimentazione di sedimenti pari alla capacità di trasporto dell'alveo (circa 500'000 m³/anno).

8.3.1 Le priorità degli interventi rilevanti

La definizione delle priorità di intervento deriva dall'assunzione degli obiettivi prioritari che si vuole conseguire sull'asta fluviale. L'esame complessivo delle situazioni di criticità presenti ha portato a definire come obiettivi prioritari la necessità di ripascimento dell'alveo a valle dello sbarramento di Isola Serafini e la risoluzione di alcune criticità idrauliche nel tratto a monte dello sbarramento medesimo.

Per tali motivazioni sono considerati di prima priorità gli interventi in grado di garantire la continuità del trasporto solido a valle dello sbarramento di Isola Serafini, contrastando il fenomeno di approfondimento del fondo alveo attualmente ancora in atto a valle dello sbarramento medesimo. Gli interventi sono:

Intervento 16: Fondo alveo Piacenza – Isola Serafini

Intervento 17: Meandro Isola Serafini

Intervento 18: Cremona

In relazione alle necessità di risoluzione delle criticità idrauliche connesse in particolare all'azione della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche sono considerati prioritari gli interventi:

Intervento 9: C.na Beltramo – Bosco Soncina

Intervento 11: Mezzano Vigoleno

Intervento 12: Isolotto Maggi

Intervento 13: Mortizza

Intervento 14: Nure

Questi ultimi interventi inoltre, prevedendo che parte del materiale estratto per la riapertura dei canali laterali venga destinato alla movimentazione a valle di Isola Serafini, possono contribuire anch'essi al raggiungimento dell'obiettivo prioritario di by-pass dello sbarramento.

La restante parte degli interventi consente il raggiungimento di obiettivi prevalentemente locali; la programmazione e realizzazione degli stessi però, non essendo legata a particolari vincoli (ad esempio "da valle a monte" come nel caso delle opere arginali), può essere effettuata indistintamente dagli altri interventi prioritari sopra indicati.

Come già definito nel precedente paragrafo 8.2.4 (I criteri e le prescrizioni per la realizzazione degli interventi locali) si evidenzia che la presente programmazione diventa vincolante per tutti gli interventi predisposti anche con fondi straordinari (opere di difesa spondale, ecc.) a meno che non sussistano condizioni di pericolo non rilevate nel presente Programma generale tali da mettere a rischio opere strategiche da salvaguardare; in tal caso comunque gli interventi dovranno essere adeguatamente valutati con riferimento all'assetto del corso d'acqua definito nel Programma generale.

L'attuazione del presente Programma generale ed in particolare degli interventi rilevanti in esso contenuti necessita la definizione della Valutazione Ambientale Strategica (VAS) del programma medesimo, nonché di adeguati approfondimenti progettuali: dal punto di vista tecnico sarà necessario in alcuni casi condurre approfondite analisi idrauliche di dettaglio (modelli bidimensionali, modelli fisici), dal punto di vista amministrativo occorrerà ad esempio individuare le procedure necessarie alla dismissione delle opere di difesa spondale.

8.4 Le attività di monitoraggio

Le attività di studio propedeutiche alla predisposizione del presente Programma generale hanno evidenziato come le informazioni alla base delle scelte operative di progettazione e realizzazione di opere di difesa e/o di regimazione e delle scelte di pianificazione delle attività di estrazione, siano ancora carenti. In alcuni casi risulta molto condizionante la mancanza di dati certi sulle estrazioni autorizzate (ad esempio, non esiste un catasto unico delle concessioni di estrazioni di inerti e degli interventi pianificati o urgenti di svasso, in cui sia chiaramente riportato il volume di escavazione, l'ubicazione dell'intervento, la data di inizio e fine, il rilievo iniziale e finale dell'area riferito a capisaldi noti e in formato digitale, ecc.). Tali carenze, di fatto, hanno da un

lato impedito la ricostruzione di bilanci di trasporto solido in periodi eccessivamente lontani (prima degli anni '80 del secolo scorso) e dall'altro hanno inserito elementi di incertezza nella valutazione del bilancio del trasporto solido condotto per il ventennio 1982 - 2002.

La constatazione di tali carenze conoscitive e lo sviluppo della metodologia di definizione del bilancio di trasporto solido, così come precedentemente descritto in relazione, ha comportato la necessità di aggiornare e rivedere le attività di monitoraggio storicamente effettuate nelle seguenti tre categorie:

- categoria A: monitoraggi di carattere ordinario, da realizzarsi localmente con mezzi speditivi per il controllo delle situazioni in evoluzione (relativamente ad opere di difesa strategiche, a tratti di sponda in erosione prossime ad opere da salvaguardare), da effettuarsi con cadenza ricorrente;
- categoria B: monitoraggi di carattere estensivo, da realizzarsi con mezzi tecnologici che consentano il rilievo dell'intero alveo inciso fluviale e l'aggiornamento delle valutazioni di bilancio del trasporto solido effettuate e descritte nel presente Programma generale, da effettuarsi con cadenza biennale o quinquennale;
- categoria C: monitoraggi di carattere sperimentale da effettuarsi mediante convenzioni di ricerca, mirati ad aspetti specifici (es. trasporto in sospensione, approfondimento locale presso manufatti, meandri, ecc.) eventualmente in abbinamento con l'applicazione di modelli di simulazione avanzati.

Le tre categorie sopraccennate devono portare ad acquisire conoscenze ripetute con continuità nel tempo e sempre più approfondite necessarie per supportare le decisioni in merito alla gestione dei sedimenti nell'alveo del fiume Po. In particolare tali categorie rispondono a tre diverse esigenze:

- il controllo "in tempo reale" dei fenomeni evolutivi più intensi ovvero classificati come critici;
- l'implementazione di un modello replicabile con facilità per il controllo periodico della quantità di sedimento trasportata lungo la progressiva fluviale e per l'individuazione di variazioni nel regime ovvero per il controllo dell'efficacia degli interventi attuati in relazione agli obiettivi prefissati;
- l'approfondimento mirato a situazioni circoscritte al fine di meglio comprendere dinamiche o situazioni poi utili alle gestioni di cui alle due categorie precedenti.

Per quanto detto, la relazione contiene le indicazioni in merito alle attività di monitoraggio che dovranno essere condotte parallelamente ed in stretta connessione con la programmazione, progettazione e realizzazione degli interventi rilevanti descritti nel precedente paragrafo.

Prima di entrare nel merito delle singole categorie di monitoraggio occorre ricordare l'importanza, ai fini di giungere ad progressivo miglioramento delle valutazioni sul trasporto solido dell'asta del fiume Po, dell'estensione delle attività di conoscenza e studio (con le medesime modalità adottate) sui principali affluenti alpini ed appenninici presenti nel tratto e che più direttamente influenzano le dinamiche del Po, tra cui:

- il fiume Po a monte della confluenza con il fiume Tanaro;
- il fiume Tanaro;
- il fiume Ticino da foce Po a uscita dal lago Maggiore;
- il fiume Adda da foce Po a uscita dal lago di Como;

- i fiumi Trebbia e Tidone.

In funzione delle caratteristiche generali delle attività di monitoraggio sopra indicate si può ritenere congruo destinare alla loro attuazione un quantitativo di risorse dell'ordine del 10% dell'importo necessario alla realizzazione degli interventi rilevanti a scala di asta fluviale descritti nel precedente paragrafo. In particolare tali risorse dovranno essere assegnate annualmente per le attività di monitoraggio ordinario, nell'ambito delle quali inoltre, come sarà in seguito specificato, dovranno essere condotti i controlli del rispetto delle prescrizioni di cui al precedente paragrafo 8.2.4 (I criteri e le prescrizioni per la realizzazione degli interventi locali).

8.4.1 Il monitoraggio ordinario

L'attività di monitoraggio ordinario è qui definita come l'insieme di funzioni di controllo da attuarsi più volte l'anno (da un minimo di 2 ad un massimo di 6 e comunque sempre a seguito di un evento di piena, anche non eccezionale) relativamente alle situazioni di maggior instabilità o di maggior velocità di evoluzione delle dinamiche in atto.

Il monitoraggio ordinario comprende le attività di controllo nei seguenti casi:

- tratto di sponda in erosione marcata con avvicinamento significativo alla fascia di non divagazione individuata a circa 200 m dagli argini maestri;
- barra o sponda in marcato accrescimento, in grado di indurre un significativo restringimento dell'alveo, ovvero un incremento della pressione della corrente su sponde (protette o no da opere) con a tergo argini maestri in frodo;
- opera di difesa spondale strategica sollecitata dal flusso diretto della corrente.

Il monitoraggio ordinario è da eseguirsi come attività di polizia idraulica, attraverso l'impiego di personale abitualmente impegnato sul fiume. Tali attività hanno un costo limitato e attraverso l'utilizzo di strumentazioni topografiche di campagna (teodoliti, strumentazioni GPS, ecoscandaglio digitale o registratore montato su barca) è possibile acquisire più volte nell'arco dell'anno l'entità dell'evoluzione del fenomeno, sia in regime ordinario che per effetto di morbide e/o piene. La precisione delle attuali strumentazioni GPS utilizzate per eseguire i rilievi speditivi, consentono di impostare controlli frequenti (purché codificati) a costi modesti, raggiungendo un elevato livello di efficienza costi/benefici per l'attività in oggetto. In base a quanto appena affermato si ritiene che tale monitoraggio potrebbe essere condotto dagli enti locali (es. comuni).

I dati ricavati dall'attività di monitoraggio ordinario devono essere raccolti ed archiviati in appositi data-base da cui poter estrarre facilmente carte tematiche e/o diagrammi di evoluzione. Per tale motivo è fondamentale che tutti i rilievi connessi all'attività siano eseguiti in coordinate assolute georeferenziate e quindi facilmente interfacciabili. Il data base di supporto deve essere collegato a programmi di elaborazione che devono consentire la sovrapposizione degli allineamenti, delle sezioni e delle batimetrie rilevate in epoche successive (in base alle coordinate assolute e rispetto ai riferimenti fissi), il calcolo di aree di erosione/deposito (e dei corrispondenti volumi), il calcolo di indici morfometrici, la determinazione delle velocità di evoluzione del fenomeno (in termini di m/mese di avanzamento o di approfondimento o di demolizione della difesa spondale interessata ovvero di m³/mese di materiale asportato o depositato) e la valutazione dei relativi trend evolutivi.

Come inoltre già precedentemente anticipato, nell'ambito delle attività di monitoraggio ordinario dovranno essere condotte i controlli del rispetto delle prescrizioni di cui al

precedente paragrafo 8.2.4 (I criteri e le prescrizioni per la realizzazione degli interventi locali).

8.4.2 Il monitoraggio estensivo

Le risultanze della metodologia messa a punto per la valutazione del bilancio del trasporto solido, unitamente allo sviluppo di tecnologie di rilievo esteso a basso costo e di notevole flessibilità e rapidità di esecuzione, conducono a ritenere essenziale un'attività di monitoraggio che sostanzialmente possa ripetere nel tempo quanto prodotto nel presente studio. In sintesi il bilancio di trasporto solido, così come è stato elaborato, risulta composto dalle seguenti voci (valore espresso in metri cubi e associato alla progressiva fluviale del baricentro dell'elemento considerato o della fonte di provenienza e ad un livello di magra di riferimento):

- erosioni o accrescimenti di sponda e di barra;
- innalzamenti o abbassamenti del fondo alveo e della porzione di alveo inciso sommersa dal regime idrico di riferimento;
- estrazioni di inerti;
- apporti al sistema provenienti dagli affluenti.

Le singole voci possono oggi essere determinate, come detto, a basso costo e con strumenti flessibili in grado di fornire una serie cospicua di dati ed informazioni, attraverso campagne di monitoraggio lungo l'intera asta in esame; nel dettaglio i metodi da utilizzare possono essere:

- esecuzione di DTM dell'alveo inciso (sia per la parte emersa che per la parte sommersa) mediante tecnologia laser-scanner in abbinamento a rilievi batimetrici;
- controllo e catalogazione di ogni singola attività estrattiva autorizzata e valutazione delle volumetrie estratte nel periodo d'interesse;
- estensione della metodologia di studio del bilancio di trasporto solido e del monitoraggio ai principali affluenti.

Il monitoraggio estensivo sull'intera asta fluviale deve essere realizzato attraverso campagne di cadenza biennale o quinquennale, consentendo un consolidamento delle conoscenze acquisite e un progressivo miglioramento delle valutazioni di trasporto solido effettuate nel presente Programma generale. In sintesi, pertanto, stante l'attuale situazione di carenza di informazioni storiche, l'investimento di ravvicinate campagne di rilievo complete consentirà in futuro di individuare le modalità e la cadenza dei monitoraggi con maggiore certezza, in funzione delle evoluzioni e degli obiettivi di assetto dell'alveo inciso del corso d'acqua.

In base a quanto affermato si ritiene che tale monitoraggio possa essere condotto da enti pubblici interregionali (AdBPo, AIPO, ecc.), con l'eventuale supporto delle amministrazioni regionali.

8.4.3 Il monitoraggio sperimentale

In affiancamento alle forme di monitoraggio previste nei precedenti capitoli si riporta, nel seguito, un elenco di alcune attività usualmente previste in tale campo. Come più volte esplicitato, il metodo di valutazione del trasporto solido messo a punto si basa su elementi di dettaglio che prescindono da una modellistica pura sulle dinamiche di trasporto in quanto tale tipo di approccio, oltre a dipendere da innumerevoli parametri

poco noti, non è in grado di descrivere compiutamente movimenti del corso d'acqua che non siano legati alla traslazione più o meno rigida del fondo.

Data tuttavia l'importanza del corso d'acqua in esame e delle problematiche in studio, occorre prevedere anche alcune attività che, seppur non volte a dare risposte gestionali immediate, affianchino il nuovo percorso scientifico proposto, fornendo elementi di approfondimento locali e formulazioni via via più attinenti alle dinamiche in atto nel fiume Po.

Per quanto detto tali attività possono essere:

- misure torbidometriche e di trasporto solido effettuate con le classiche strumentazioni e procedure (ad es. è ipotizzabile l'installazione di apposite strumentazioni sul ponte in costruzione della TAV);
- misure puntuali e in continuo (es. sotto le pile dei ponti principali) per verificare le dinamiche di trasporto, scavo, deposito in punti specifici, nel corso degli eventi di piena o in condizioni ordinarie (per esempio in corrispondenza del ponte dell'autostrada A7, nei pressi della centrale di La Casella, a confluenza Nure, nel meandro a valle della traversa di Isola Serafini, nei pressi del ponte dell'autostrada A21, ecc.);
- modellazione con strumenti di avanguardia (esempio modelli bidimensionali, modelli fisici, ecc.) applicati a tronchi d'alveo limitati (1-2 km massimo) per la verifica di situazioni puntuali.

La gestione e la realizzazione di tali attività di monitoraggio può essere affidato alle università o a centri di ricerca.