



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

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

STRALCIO: CONFLUENZA STURA DI LANZO – CONFLUENZA TANARO

Relazione Tecnica



Giugno 2007

1	<u>INTRODUZIONE</u>	<u>3</u>
1.1	PREMESSA GENERALE.....	3
1.2	L'ATTUALE QUADRO NORMATIVO.....	4
1.3	IL PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI DEL FIUME PO NEL TRATTO DA CONFLUENZA STURA DI LANZO A CONFLUENZA TANARO.....	5
2	<u>ATTIVITÀ DI ANALISI.....</u>	<u>7</u>
2.1	LE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE GENERALI DELL'ASTA FLUVIALE	7
2.2	I DATI TOPOGRAFICI E AEROFOTOGRAMMETRICI.....	13
2.3	CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA E LITOLOGICA DEI SEDIMENTI DELL'ALVEO	14
2.3.1	SINTESI DELLE ANALISI CONDOTTE.....	14
2.4	IL TRASPORTO SOLIDO	17
2.4.1	LA MODELLISTICA UTILIZZATA	17
2.4.2	IL METODO PER LA STIMA DEL BILANCIO DEL TRASPORTO SOLIDO	19
2.4.3	L'ANALISI DELLE MODIFICAZIONI PLANOALTIMETRICHE DELLE SPONDE E DELLE FORME EMERSE.....	20
2.4.4	METODOLOGIA DI ANALISI.....	21
2.4.5	RISULTATI DELLE ANALISI	24
2.4.6	L'ANALISI DELLE MODIFICAZIONI ALTIMETRICHE DEL FONDO ALVEO.....	35
2.4.7	METODOLOGIA DI ANALISI.....	35
2.4.8	RISULTATI DELLE ANALISI	36
2.4.9	I CONTRIBUTI ESTERNI AL SISTEMA	43
2.4.10	IL BILANCIO DEL TRASPORTO SOLIDO	47
3	<u>IL PROGRAMMA GENERALE DEI SEDIMENTI.....</u>	<u>50</u>
3.1	L'ASSETTO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA E LE CONDIZIONI DI CRITICITÀ.....	50
3.1.1	LA "CARTOGRAFIA DELL'ASSETTO ATTUALE"	50
3.1.2	LE DINAMICHE IN ATTO NELL'ALVEO INCISO.....	52
3.1.3	IL SISTEMA DIFENSIVO	55
3.1.4	I FATTORI DI PRESSIONE ANTROPICA.....	59
3.1.5	L'INDICATORE DEL TRASPORTO SOLIDO.....	62
3.1.6	SINTESI DELL'ASSETTO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA.....	62
3.2	GLI OBIETTIVI	68
3.2.1	OBIETTIVI GENERALI E LOCALI E "CARTOGRAFIA DEGLI OBIETTIVI"	68
3.2.2	OBIETTIVI GENERALI	70
3.2.3	OBIETTIVI LOCALI	72
3.2.4	SINTESI DEGLI OBIETTIVI DI GESTIONE DEI SEDIMENTI SUL CORSO D'ACQUA	75
3.3	GLI INTERVENTI	81
3.3.1	PREMESSA.....	81
3.3.2	LE TIPOLOGIE DI INTERVENTO E LA "CARTOGRAFIA DEGLI INTERVENTI"	81
3.3.3	INTERVENTI STRUTTURALI STRATEGICI DI CARATTERE STRAORDINARIO	83
3.3.4	INTERVENTI STRUTTURALI STRATEGICI DI CARATTERE ORDINARIO	85
3.3.5	INTERVENTI NON STRUTTURALI STRATEGICI DI CARATTERE ORDINARIO.....	86
3.3.6	I CRITERI E LE PRESCRIZIONI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI LOCALI	88
3.3.7	GLI INTERVENTI RILEVANTI A SCALA DI ASTA FLUVIALE.....	90
3.3.8	LE PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI RILEVANTI	94
3.3.9	LE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO	95
3.3.10	MONITORAGGIO ORDINARIO	96
3.3.11	MONITORAGGIO ESTENSIVO	97
3.3.12	MONITORAGGIO SPERIMENTALE.....	98
4	<u>ELENCO ALLEGATI.....</u>	<u>100</u>

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, 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 semplificazione dell'assetto morfologico e dei suoi processi evolutivi;

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 di maggior equilibrio dinamico e meno vincolate, di maggior valore ecologico, compatibilmente con le esigenze di sicurezza idraulica e con gli 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 Il Programma generale di gestione dei sedimenti del fiume Po nel tratto da confluenza Stura di Lanzo a confluenza Tanaro

Il Programma generale, descritto nella presente relazione tecnica, costituisce momento di sintesi di attività di studio (*Studio di fattibilità degli interventi di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po nel tratto confluenza Stura di Lanzo – confluenza Tanaro, 2006-2007*), momento di definizione di regole e criteri per la manutenzione e il monitoraggio dell'alveo del fiume, momento propositivo in relazione alla realizzazione di interventi di manutenzione dell'alveo di carattere rilevante a scala di asta fluviale.

In particolare il Programma generale costituisce il proseguimento verso monte del "Programma generale di gestione dei sedimenti del fiume Po nel tratto da confluenza Tanaro a confluenza Arda", adottato con deliberazione di Comitato istituzionale n. 20/2006.

Il Programma generale si fonda, in particolare, su di una dettagliata attività di analisi delle dinamiche morfologiche dell'alveo e di trasporto solido effettuata quantificando 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 il quale si aveva la disponibilità di due dettagliate carte geomorfologiche delle tendenze evolutive dell'alveo (1982 e 2002) e di un modello digitale del terreno (2005) nonché dei rilievi topografici delle sezioni trasversali (1979 – 1999 – 2005).

Tale attività in particolare, partendo da una puntuale e dettagliata analisi locale delle dinamiche evolutive dell'alveo intercorse nell'ultimo ventennio, ha consentito una sintesi quantitativa del fenomeno del trasporto solido effettuata non solo mediante strumenti di simulazione numerica dei fenomeni naturali in gioco, ma soprattutto mediante un'analisi quantitativa, oggettiva e ripercorribile nel tempo di come l'alveo del corso d'acqua, in tutte le sue componenti, si è evoluto in un recente e significativo passato.

La **prima parte** della presente relazione (cap.2) illustra le attività di analisi condotte e sopra sinteticamente richiamate.

Successivamente, nella **seconda parte** della relazione (cap. 3), viene illustrato il **Programma generale**.

Le tre fasi principali secondo le quali è organizzato il Programma generale possono essere sintetizzabili nella definizione dell'assetto attuale del corso d'acqua e del quadro delle **criticità** (cap. 3.1), degli **obiettivi** (cap. 3.2) e degli **interventi** (cap. 3.3), 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 ed utilizzate in stretta correlazione in modo tale che a ciascuna criticità possa sempre corrispondere un intervento coerentemente 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.

In particolare il Programma non individua sull'intero tronco fluviale la necessità di interventi diretti sulle barre di sedimento attualmente presenti nell'alveo inciso e sulle erosioni spondali che ne delimitano il perimetro, ma ne propone un costante monitoraggio al fine di seguirne l'evoluzione.

Sono viceversa stati individuati interventi rilevanti per il recupero di un assetto morfologico meno vincolato ed il conseguimento di un maggior equilibrio dinamico e valore ambientale dell'alveo inciso, tramite la riapertura di rami laterali e la dismissione di opere di difesa spondale non più strategiche ai fini della difesa idraulica.

Fra questi i più significativi sono quelli in corrispondenza della confluenza di Dora Baltea e Sesia, per i quali, in particolare, il Programma generale ha consentito di verificare a livello di intera asta fluviale, la compatibilità e la fattibilità di alcune proposte di intervento già da tempo individuate e condivise, anche in sede locale.

Il fabbisogno economico per la realizzazione degli interventi rilevanti a scala di asta fluviale è pari a circa 43.5 milioni di euro comprensivo degli oneri di scavo necessari per la riapertura dei rami laterali. I quantitativi di materiale inerte derivanti dalla riapertura dei rami laterali sono pari a circa 8.7 milioni di m³, gran parte dei quali ricadenti in aree demaniali.

Oltre a ciò si evidenzia infine la necessità di garantire la realizzazione delle attività di manutenzione ordinaria (fra cui in particolare 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 Attività di analisi

2.1 Le caratteristiche morfologiche generali dell'asta fluviale

Le caratteristiche morfologiche generali del Po nel tratto di interesse, compreso tra la confluenza tra lo Stura di Lanzo e la confluenza con il Tanaro (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 Stura di Lanzo fino alla confluenza Tanaro, 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, più lungo di quello rappresentativo del piano campagna.

Prendendo in considerazione i tratti in cui, secondo quanto più oltre esposto, può essere suddiviso il corso d'acqua, la pianura alluvionale presenta le seguenti pendenze medie:

1. da confluenza Stura di Lanzo alla confluenza con i torrenti Malone ed Orco: 0.19%;
2. da confluenza Malone – Orco fino alla confluenza con la Dora Baltea: 0.18%;
3. dalla Dora Baltea fino alla progressiva km 160.0: 0.14%;
4. dal km 160 fino a Casale Monferrato: 0.15%;
5. da Casale Monferrato fino alla confluenza con il Sesia: 0.12%;
6. dalla confluenza Sesia fino a confluenza Tanaro: 0.09%.

Risulta quindi che la pendenza della pianura alluvionale diminuisce mediamente da monte verso valle, come accade normalmente.

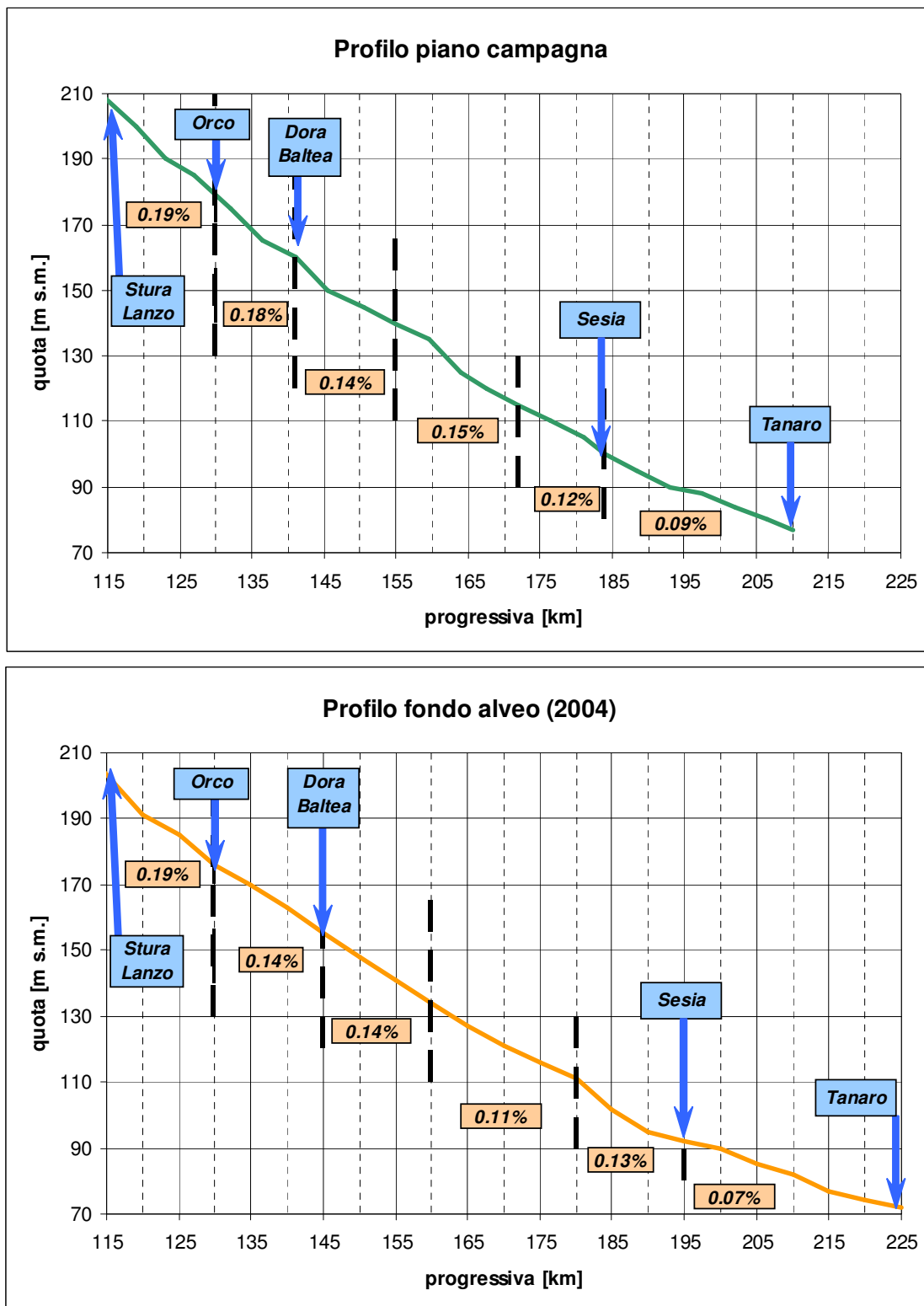


Figura 2.2 – Profili longitudinali generali della piana alluvionale e del F. Po nel tratto di interesse.

Il profilo altimetrico dell'alveo inciso (Figura 2.2 in basso) unitamente alle principali caratteristiche morfologiche dell'alveo medesimo consente la suddivisione dell'asta fluviale nei seguenti sei tratti omogenei:

1. nel tratto che va da foce Stura di Lanzo a foce Orco-Malone la pendenza media è dell'ordine dello 0,19%, come quella della pianura; in tale tratto il fiume ha un assetto monocursale. Come evidenziato dalle cartografie storiche più oltre esposte, tale tratto era caratterizzato da un andamento leggermente più irregolare e ramificato;
2. nel tratto successivo fino alla confluenza con la Dora Baltea, la pendenza media è dell'ordine dello 0,14%, inferiore rispetto a quella della pianura; anche in tale tratto il fiume ha un assetto monocursale con andamento sinuoso. Nel presente caso le cartografie storiche riportano un tracciato planimetrico molto simile all'attuale;
3. nel tratto tra la Dora Baltea e la progressiva km 160 (a monte di Palazzolo Vercellese) la pendenza media è dell'ordine dello 0,14%, pari a quella della pianura; in tale tratto il fiume ha un assetto monocursale con andamento sinuoso. Nel presente caso le cartografie storiche indicano che tale tratto era caratterizzato da un andamento molto ramificato, a causa dell'assenza di opere di difesa e di arginature;
4. nel tratto tra la progressiva km 160 e Casale Monferrato (km 180), la pendenza media è dell'ordine dello 0,11%, inferiore rispetto a quella della pianura. In tale tratto il fiume ha un assetto monocursale con andamento dettato dalla morfologia del Monferrato. Tale andamento è sostanzialmente identico a quello riportato nelle carte Brioschi;
5. tra Casale Monferrato e la foce del Sesia, la pendenza media è dell'ordine dello 0,13%, pari a quella della pianura. In tale tratto l'alveo inciso ha un assetto monocursale con andamento curvilineo. Nelle cartografie storiche di Brioschi si può invece osservare un assetto molto ramificato;
6. da foce Sesia a foce Tanaro la pendenza media è dell'ordine dello 0,7%, di poco inferiore rispetto a quella della pianura. In tale tratto l'alveo inciso ha un assetto monocursale e a tratti pluricursale. Le carte storiche mostrano un assetto decisamente pluricursale

A titolo di esempio risulta molto interessante confrontare l'attuale assetto fluviale con quello storico, riportato nelle cartografie di Brioschi del diciannovesimo secolo, in un'epoca cioè in cui i vincoli antropici, pur presenti, erano ben minori di quelli attuali.

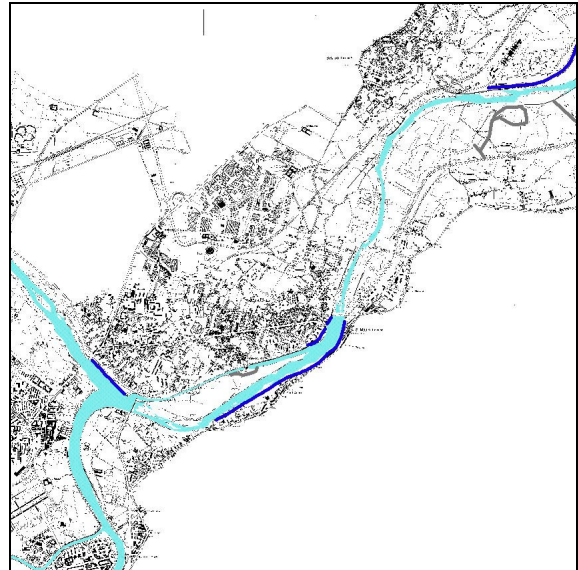
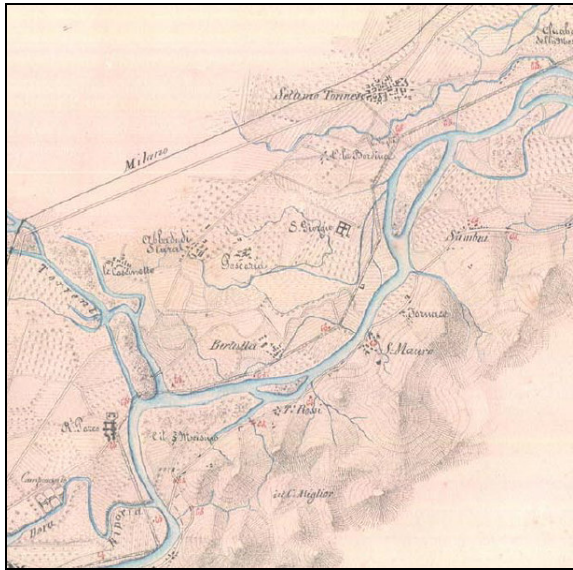


Figura 2.3 - Tratto 1: a valle confluenza Stura di Lanzo nella carta Brioschi del 1873 e nell'assetto attuale.

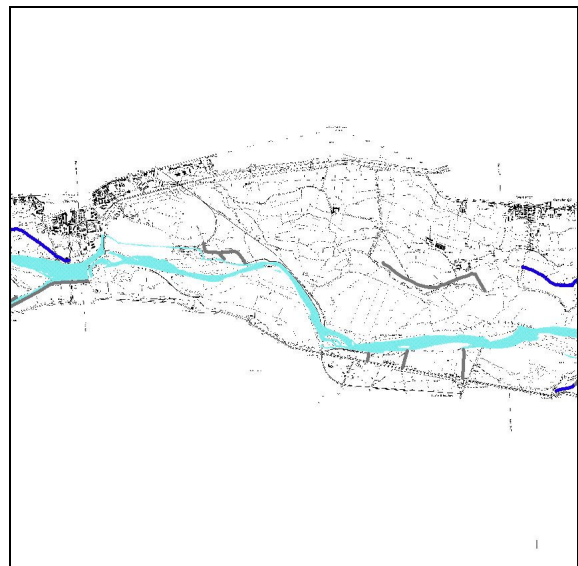
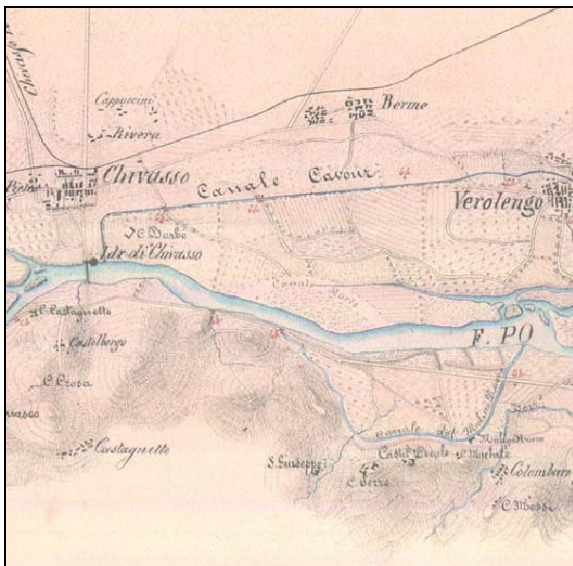


Figura 2.4 - Tratto 2: tra Chivasso e Verolengo nella carta Brioschi del 1873 e nell'assetto attuale.

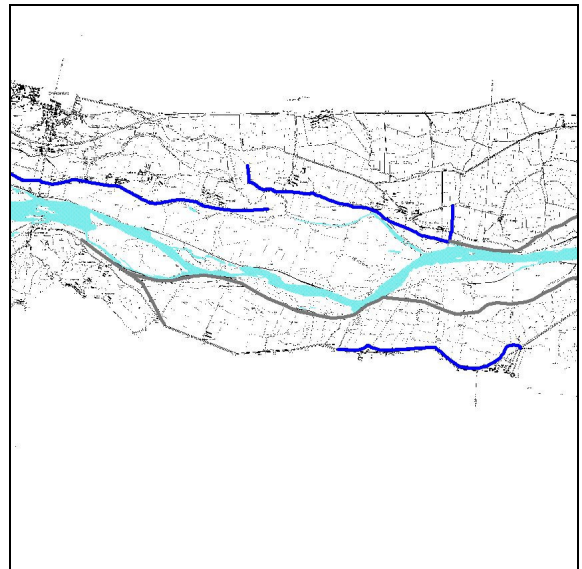
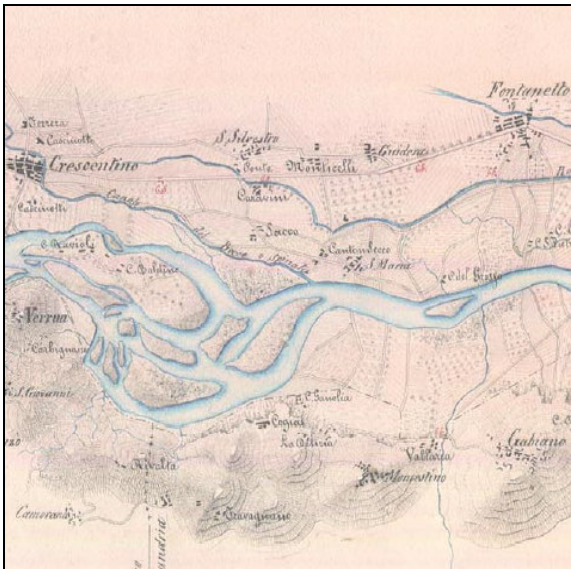


Figura 2.5 - Tratto 3: a valle di Crescentino nella carta Brioschi del 1873 e nell'assetto attuale.

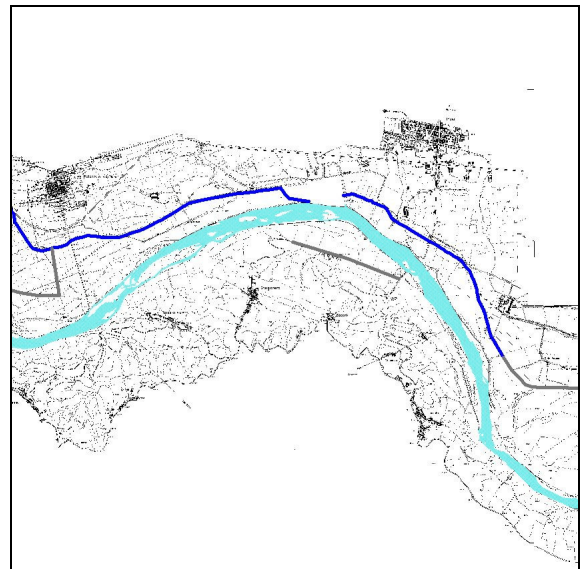
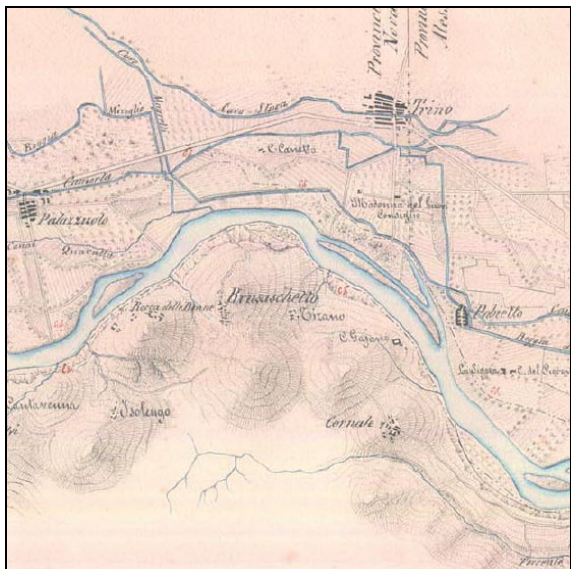


Figura 2.6 - Tratto 4: nei pressi di Trino nella carta Brioschi del 1873 e nell'assetto attuale.

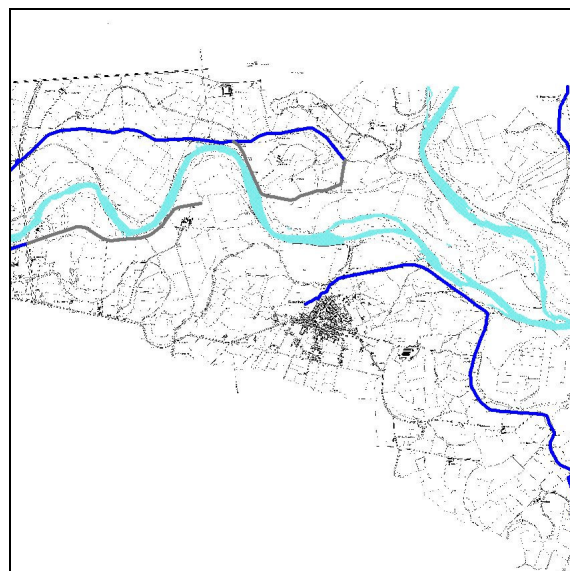
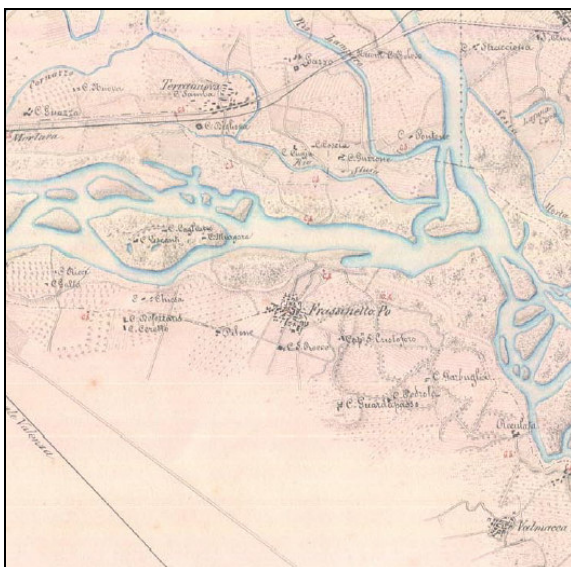


Figura 2.7 - Tratto 5: a monte della confluenza con il Sesia nella carta Brioschi del 1873 e nell'assetto attuale

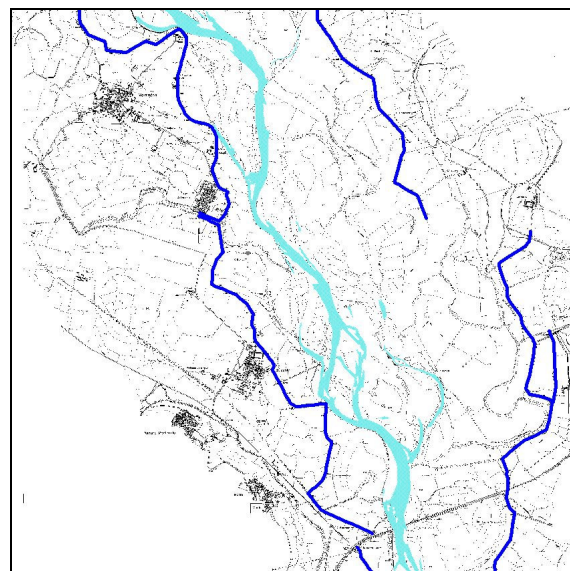
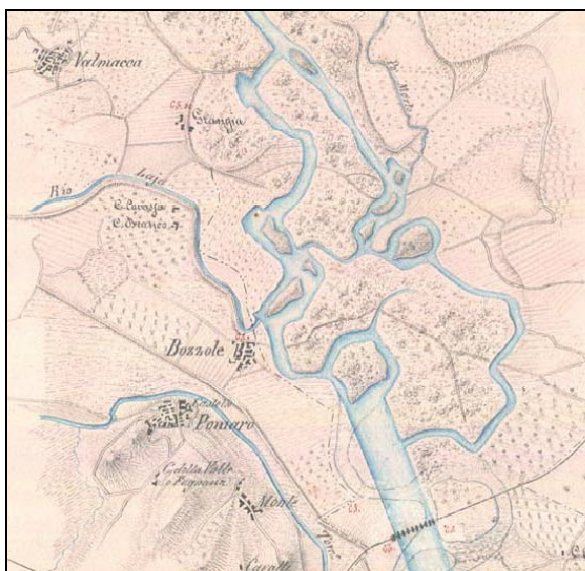


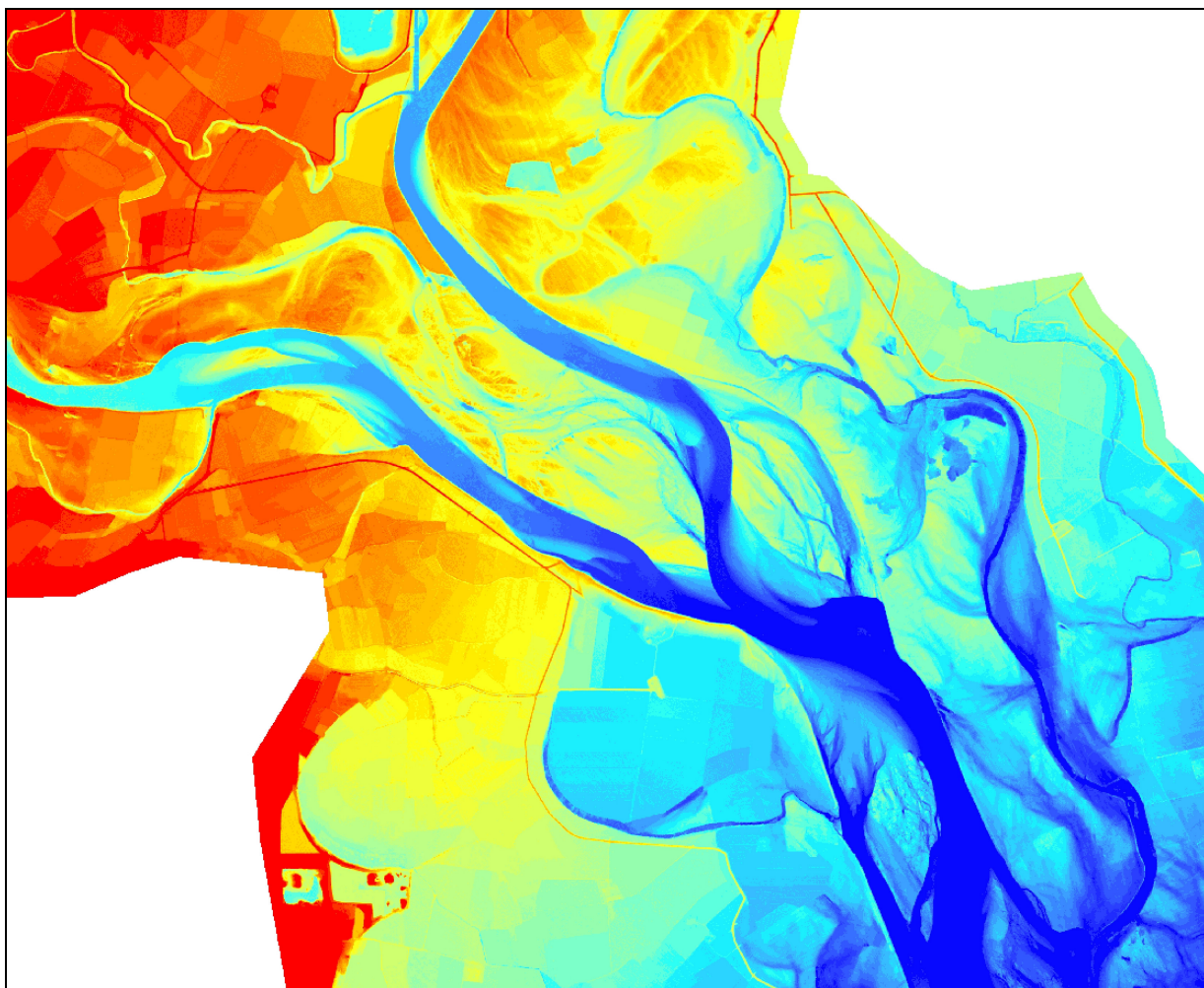
Figura 2.8 - Tratto 6: a monte del ponte di Valenza nella carta Brioschi del 1873 e nell'assetto attuale.

Osservando le precedenti figure si può notare come il sistema delle opere di difesa (scogliere e arginature) e gli effetti di abbassamento del fondo alveo, abbiano ridotto l'assetto pluricursale del Po rendendolo prevalentemente monocursale.

2.2 I dati topografici e aerofotogrammetrici

Le attività di analisi ed in particolare le valutazioni sul trasporto solido sono state condotte sulla scorta di una rappresentazione tridimensionale del terreno di estremo dettaglio, realizzato con tecniche innovative sull'intera asta del Po.

In particolare il modello digitale del terreno a passo 2 metri dell'intera fascia B, di cui di seguito è riportato un esempio, è stato realizzato a partire da rilievi laserscanner dell'intera fascia C, realizzati dall'Autorità di bacino nel 2004, e da contemporanei rilievi topografici delle sezioni trasversali realizzati da AIPO. Oltre al DTM sono state inoltre realizzate ortofoto digitali a colori in scala 1:2000.



DTM del fiume Po a confluenza Sesia

2.3 Caratterizzazione granulometrica e litologica dei sedimenti dell'alveo

Gli obiettivi principali della caratterizzazione granulometrica e litologica dei sedimenti dell'alveo sono:

- definizione granulometrica dei materiali costituenti le forme di fondo e l'alveo del fiume Po;
- valutazione empirica della competenza e della capacità di trasporto del fiume Po;
- valutazione dei meccanismi di interazione dinamica fra trasporto solido di fondo e carico sospeso.

Al fine di conseguire gli obiettivi sopra richiamati sono stati realizzati 8 "stendimenti" distribuiti nei 6 "Tratti", da cui sono stati prelevati un totale di 12 campioni (ghiaie sabbiose, sabbie). Tutti i campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi granulometriche, per setacciamento. 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).

In sintesi le conclusioni principali di più significativo interesse per le valutazioni del bilancio del trasporto solido sono:

1. il bilancio di trasporto solido riguarda in prima approssimazione le forme di fondo e le modificazioni morfologiche in alveo. In altre parole, il bilancio riguarda il "trasporto solido di fondo";
2. tuttavia i risultati delle analisi eseguite in campagna hanno evidenziato che le forme di deposito sono costituite, oltre che dal materiale più grossolano, costituente il "carico di fondo" del Po, anche da materiali che in particolari condizioni idrauliche vengono veicolati in sospensione e che possono però essere depositati sul fondo al mutare delle condizioni idrauliche stesse (v. diverse fasi di un evento di piena). I risultati conseguiti attraverso le analisi granulometriche dei sedimenti hanno evidenziato che tali materiali hanno una composizione granulometrica il cui limite superiore si attesta intorno a 0,35 – 0,40 mm;
3. i suddetti sedimenti si riscontrano, oltre che nei depositi di barra e di fondo alveo (matrice delle ghiaie e depositi superficiali sabbiosi, con granuli di dimensioni minori di 0,42 mm circa), anche come incremento volumetrico per innalzamento del piano campagna delle barre alte, in continuità morfologica con la golenia (in generale sabbie fini e molto fini) e come riempimento di canali abbandonati;
4. sulla base di quanto sopra è necessario impostare un termine di bilancio che tenga conto degli apporti solidi nelle forme di fondo derivate dalla sedimentazione di parte del carico sospeso in determinate condizioni idrauliche della corrente fluviale.

2.3.1 Sintesi delle analisi condotte

Considerando i sei "tratti omogenei" definiti al paragrafo precedente e contraddistinti da condizioni litologiche, geomorfologiche, sedimentologiche complessivamente omogenee, durante i sopralluoghi e soprattutto nel corso dei campionamenti delle barre e dell'alveo sono emersi i seguenti risultati principali:

- in tutti i tratti omogenei le sponde, le forme di deposito ed il fondo alveo risultano omogeneamente impostati in litofacies ghiaiose, con matrice sabbiosa, relativamente grossolane;
- sulla superficie delle barre (e localmente anche nell'alveo di magra sommerso) sono spesso presenti orizzonti lenticolari sabbiosi, aventi spessore da pochi centimetri fino a trenta – quaranta centimetri;
- le suddette sabbie sono verosimilmente il prodotto del deposito conseguente alla “coda” di un dato evento di piena (ordinario o straordinario). Questi materiali, caratterizzati da una composizione granulometrica e da un grado di classazione decisamente diverso da quelli costituenti le barre (essenzialmente nel campo delle sabbie medio-fini), sembrano quindi poter essere veicolati anche in sospensione, specialmente durante le fasi di massima intensità di un dato evento di piena. Questa considerazione appare confermata dal riscontro di campagna, consistente nel ritrovamento di depositi di “esondazione” (ventaglio di esondazione), affioranti sul ciglio superiore della sponda incisa dell'alveo e rappresentati da sabbie del tutto analoghe alle precedenti.

I risultati delle osservazioni di campagna e delle analisi granulometriche complessivamente eseguite suggeriscono, pertanto, che i depositi costituenti le forme di fondo (e localmente l'alveo di magra sommerso), siano costituiti anche da materiali sabbiosi, relativamente fini che, verosimilmente, specialmente nelle fasi parossistiche di un evento di piena, vengono veicolati in sospensione per poi essere “abbandonati” insieme al trasporto di fondo durante le fasi “discendenti” delle piene stesse.

L'ipotesi sopra esposta trova conferma nella letteratura specifica (v. ad es.: CATI L. (1981) – “Idrografia e Idrologia del bacino del Po”. Pubbl. n. 19 dell'Ufficio Idrografico del Po), da cui risulta che il trasporto in sospensione del Po interessa le particelle più fini che, a causa dei moti turbolenti, possono essere trasportate in sospensione senza contatto diretto con il fondo.

I suddetti Autori hanno stimato il limite granulometrico al di sotto del quale si ha trasporto in sospensione, indicando un valore pari a 0,35 mm (valore medio rappresentativo dell'asta del Po).

Nella seguente Figura 2.9 si riportano le curve di regressione dei diametri caratteristici (D5, D16, D50 e D84) dei sedimenti costituenti le barre, campionati in ciascun tratto omogeneo.

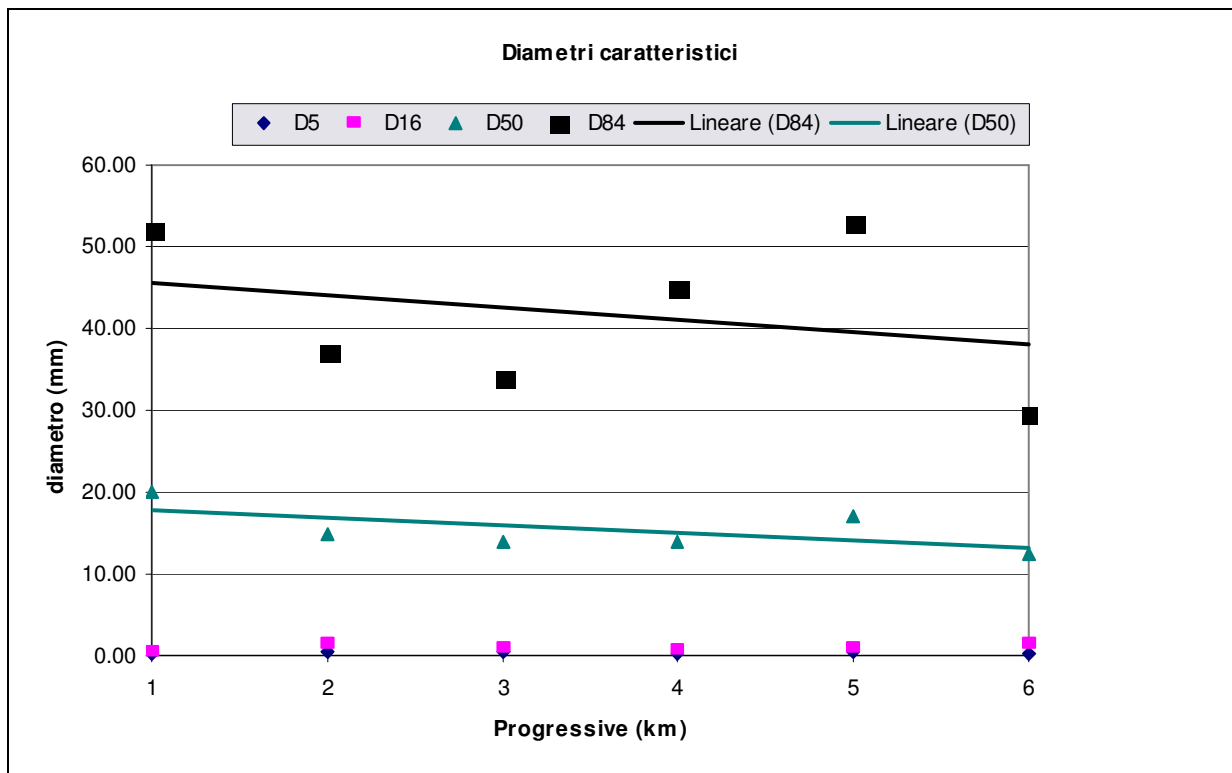


Figura 2.9 – Diametri caratteristici dei sedimenti delle forme di fondo e relative curve di regressione

Dalla Figura 2.9, si può rilevare che:

- in generale, i sedimenti costituenti le forme di fondo (ghiaie sabbiose) hanno tendenza verso una maggiore “classazione” granulometrica da monte verso valle;
- la classazione granulometrica è particolarmente evidente nelle frazioni di dimensioni minori di 20 mm, corrispondente all’incirca al D50 (capacità di trasporto);
- verso le dimensioni più fini, in particolare all’incirca a partire dal D16, ma in modo più incisivo dal D5, non si riscontra alcuna apprezzabile classazione granulometrica in funzione della progressiva;
- il diametro corrispondente al 5% di passante (D5) è compreso tra 0,30 e 0,42 mm. La relativa curva di regressione (lineare) coincide con una retta pressoché orizzontale, con ordinata pari a circa 0,35 mm.

I risultati esplicitati nella figura sopra commentata suggeriscono una “quasi” assenza di selezione del D5 lungo la progressiva, nonostante si verifichi indubbiamente una perdita di materiale lungo il tragitto (poiché in caso contrario tale frazione granulometrica non la si potrebbe trovare nei depositi di fondo), sia verosimilmente imputabile al costante apporto di materiale che, in una data sezione dell’alveo, alimenterebbe un equilibrio dinamico tra perdita di materiale per sedimentazione di fondo (barre alveo) e apporto di materiale da monte. Un tale processo, dal punto di vista sedimentologico, è plausibile ammettendo che il materiale in questione possa essere veicolato anche in sospensione (è noto che la portata solida sospesa può essere molto più elevata, fino a un ordine di grandezza, rispetto alla portata solida di fondo). Ciò trova conferma nel confronto tra i fusi granulometrici delle sabbie

campionate sulla superficie delle barre e sul ciglio delle sponde (ventagli di esondazione) ed il D5 dei depositi ghiaiosi (Figura 2.10). Infatti, i fusi caratteristici del materiale veicolato presumibilmente anche in sospensione risultano essere interamente compresi al di sotto del limite dimensionale corrispondente al D16 dei depositi ghiaiosi e per il 66% - 85% al di sotto del limite dimensionale del relativo D5.

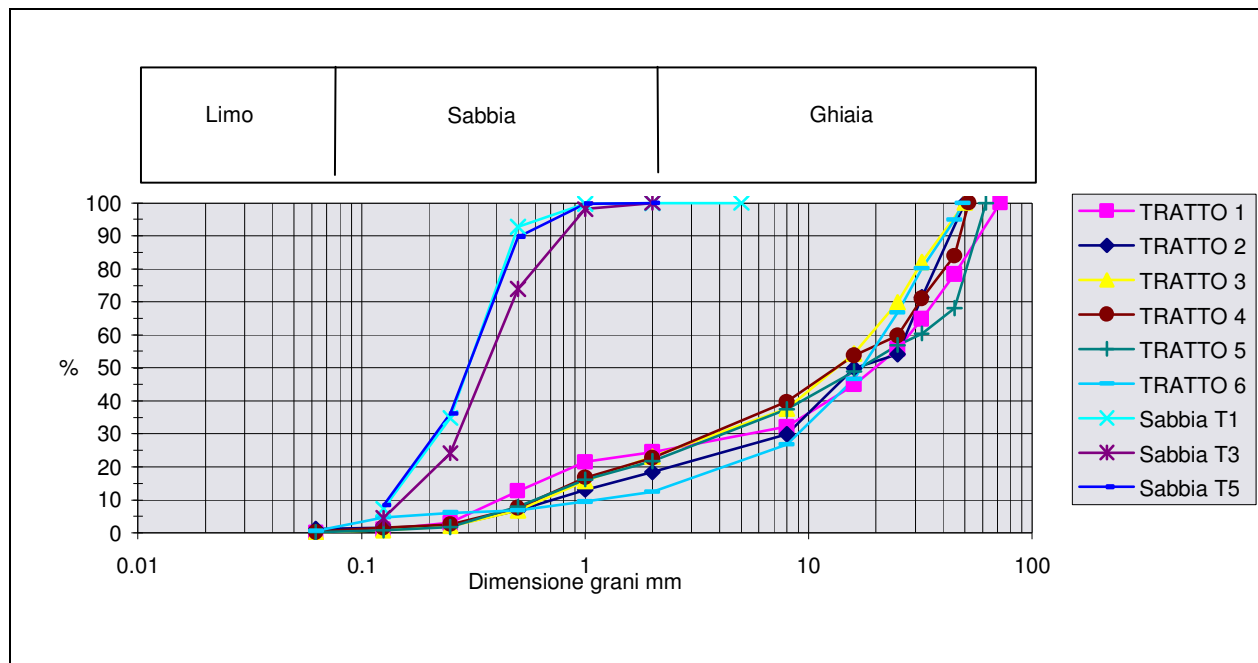


Figura 2.10 - Diametri caratteristici dei sedimenti dell'alveo e relative curve di regressione. Le etichette di valori esterni all'area del grafico corrispondono alla frazione ghiaiosa presente nei tratti 1 e 2.

Nel segmento fluviale in esame il D5 può quindi essere ritenuto rappresentativo del limite dimensionale del carico sospeso (peraltro in buon accordo con il valore di 0,35 mm indicato in letteratura per il fiume Po).

2.4 Il trasporto solido

2.4.1 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 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 essere 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 è al momento fornita dalle sezioni topografiche AIPO del 2004 (n. 150 sezioni per circa 110 km, in media una ogni 700 m circa) e dal modello digitale del terreno, maglia 2 m, realizzato con rilievi laser-scan per la parte emersa, realizzato sempre nel 2004. Tali rilievi, di ottimo dettaglio, non hanno tuttavia riscontro nel passato essendo stati eseguiti per la prima volta nel 2004. Attualmente non è quindi possibile individuare le dinamiche plano-altimetriche di ogni singola forma. La ripetizione nel tempo di analoghi rilievi permetterà, attraverso analisi comparative, di disporre di un quadro conoscitivo dell'evoluzione del fiume sufficientemente dettagliata;

- la classificazione granulometrica dei sedimenti è assai poco conosciuta e gli sporadici campionamenti disponibili si riferiscono solitamente ai sedimenti in superficie e non agli strati sottostanti interessati dai fenomeni erosivi;
- il ruolo dei vari tipi di vegetazione presenti nell'alveo del Po nei riguardi dell'erodibilità 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 110 km.

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).

2.4.2 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 2.11 (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:

1. periodo di indagine: 1982-2002 per le forme di fondo, 1999-2004 per il fondo alveo;
2. quantificazione delle erosioni e deposizioni di sponda e di barra in base all'analisi geomorfologica delle tendenze evolutive dei singoli elementi puntuali;
3. quantificazione delle erosioni e dei depositi sul fondo alveo in base all'analisi idraulica (confronti tra i profili di fondo medio);
4. apporti provenienti dagli affluenti ricavati dal sottoprogetto SP4 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (1995);
5. apporto derivante dalla sedimentazione di materiale presente come sospensione negli affluenti e nel Po (elaborazioni condotte nel presente studio);
6. estrazioni ricavate da archivi AIPO provinciali.

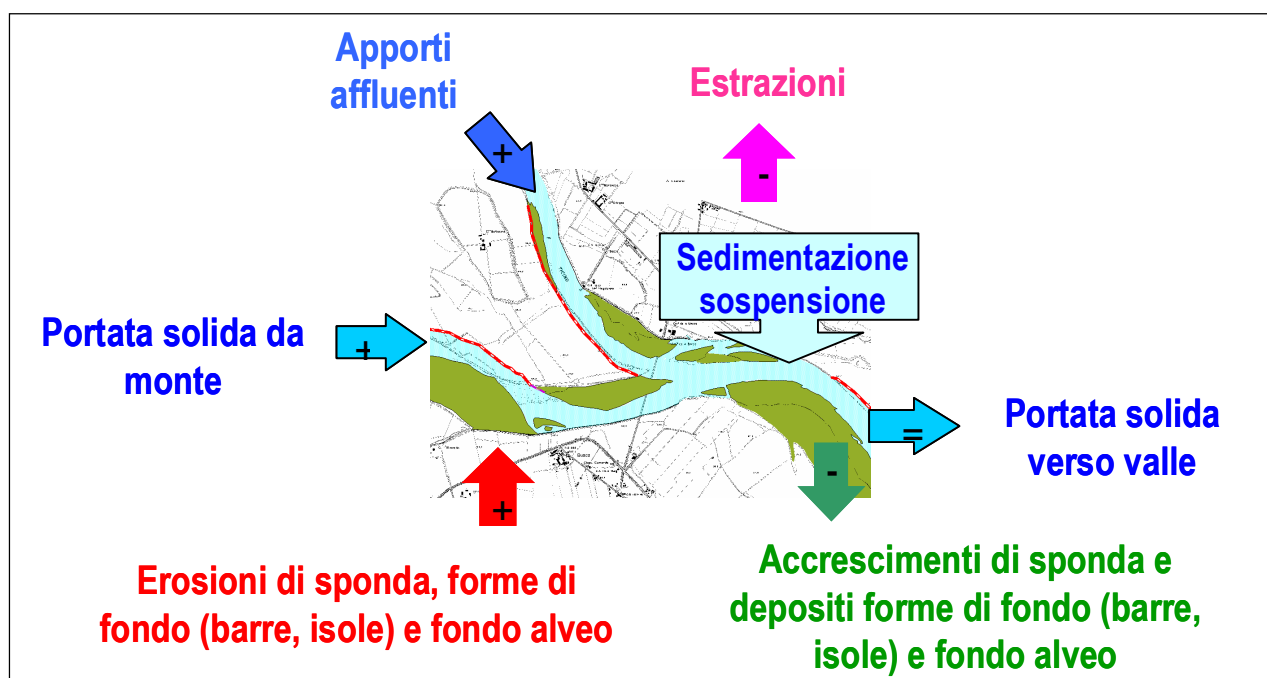


Figura 2.11 – Schema modello di analisi del bilancio del trasporto solido

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

Premesso che le forme di fondo di un corso d'acqua sono il prodotto dell'azione risultante dalla combinazione di eventi di natura ordinaria e straordinaria, l'analisi geomorfologica è stata condotta con riferimento al ventennio 1982 – 2002, all'interno del quale si sono verificati due eventi di piena straordinaria (1994 e 2000) e periodi relativamente estesi (1980 – 1993) di “quiescenza”, in cui l'attività del corso d'acqua è stata determinata essenzialmente dalle condizioni di regime ordinario.

L'analisi è stata supportata dalla seguente documentazione:

- “Carta geomorfologica del fiume Po” del 1982;

- “Carta geomorfologica del fiume Po” del 2002;
- “Carta Tecnica Regione Lombardia (CTR)” – volo 1994 pre-alluvione ‘94;
- “DTM LaserScann, passo 2 metri”, anno 2004;
- “Rilievi topografici” delle sezioni trasversali del fiume Po;
- “Rilievi aereofotogrammetrici scala 1:10'000 e 1:50'000” – anno 1988;
- “Fotografie aeree magra del fiume Po” – anno 2004.

2.4.4 Metodologia di analisi

La metodologia utilizzata si basa, in prima analisi, sul “confronto” tra la condizione rappresentata nella carta geomorfologica 1982 e quella al 2002. Per tal via, sono state definite le modificazioni planimetriche delle forme di erosione e di deposito presenti nell'alveo inciso del fiume Po, verificatesi nel periodo esaminato (20 anni).

Sulla base di questa sovrapposizione sono state poi condotte ulteriori analisi non direttamente riconducibili al semplice confronto tra le condizioni 1982 e 2002, in particolare:

1. valutazione delle possibili ed eventuali modificazioni intermedie rispetto al 2002, le cui tracce possono essere state completamente cancellate prima del 2002;
2. la presenza di forme di deposito planimetricamente persistenti nell'intero periodo di osservazione, non comporta che il deposito sia nell'insieme stabile. In altre parole, la forma può essere planimetricamente persistente nel tempo ma soggetta a cicli alterni di rimobilizzazione e deposito dei sedimenti situati al di sopra della quota dell'alveo di magra;
3. caratterizzazione “dell'impronta” dovuta 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);
4. individuazione dei criteri per stabilire la tendenza evolutiva delle forme di deposito;
5. ripetibilità del processo analitico e diagnostico;
6. quantificazione volumetrica delle modificazioni delle forme di erosione e di deposito.

Per quanto riguarda la problematica in esame (v punto “1”), occorre considerare che ai fini dello studio di bilancio del trasporto solido e data la scala spazio/temporale di osservazione (circa 110 km di asta fluviale in 20 anni), l'alveo del fiume Po può essere considerato, dal punto di vista sedimentologico, un “sistema chiuso”. I prodotti del deposito, al di sopra della quota di magra (forme di fondo), sarebbero pertanto il risultato dell'insieme dei processi, sia interni che esterni al sistema, che concorrono alla determinazione del trasporto solido (ingresso nel sistema dalla sezione di monte, apporti dagli affluenti, apporti per erosione dalle sponde o anche per rimobilizzazione delle forme di fondo stesse). Il confronto tra condizioni temporali intermedie rispetto agli estremi dell'intervallo '82 - 02, desumibili nel caso in questione da cartografia e/o voli pregressi, evidenzia, in generale, che forme caratterizzate da persistenza temporale limitata corrispondono a depositi transitori, nell'ambito della dinamica che “governa” la rimobilizzazione ed il progressivo trasporto a valle dei sedimenti, nel medio e lungo periodo. Va da sé che tali forme, alla scala di analisi, non rivestono alcuna importanza ai fini del bilancio complessivo del trasporto solido di medio periodo

(quale può essere un orizzonte di 20 anni), in quanto il relativo “bilancio di massa” è nullo.

La presenza di forme di deposito planimetricamente persistenti nell'intero periodo di osservazione, non comporta che il deposito sia nell'insieme stabile (v. punto “2”). Tale problematica è stata risolta mediante l'analisi ed il confronto delle informazioni contenute nelle carte geomorfologiche ai due estremi temporali di riferimento ('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, confronto con la condizione all'anno 2004 desumibile dalle ortofoto 2004 e con “step” intermedi, 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 forma 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 può essere sommersa anche per modeste portate di piena (elevata sensibilità idraulica), riconducibili all'attività ordinaria del corso d'acqua.

Le considerazioni precedenti hanno evidenziato la necessità di caratterizzare dettagliatamente ciascuna forma di deposito, differenziando e suddividendo la forma in “unità geomorfologiche elementari”. Ciò è stato effettuato in funzione sia dell'altimetria delle diverse porzioni del deposito e della conseguente “sensibilità idraulica” (capacità di essere sommersa per una data portata di piena), sia del diverso stato vegetativo (barra nuda, cespugliata, alberata).

La caratterizzazione “dell'impronta” dovuta all'attività ordinaria rispetto a quella straordinaria del corso d'acqua (v. punto “3”) 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 di deposito presenti nell'alveo inciso. Allo scopo, sono state individuate alcune “rappresentazioni temporali” significative, precedenti sia alla piena del 1994 (tra cui ad esempio lo “stralcio Tanaro, 1994”), sia alla piena del 2000 (tra cui, ad esempio “CTR Piemonte 1996”). Queste cartografie sono infatti rappresentative delle condizioni morfologiche dell'alveo riscontrabili prima delle alluvioni sopra citate.

Le modificazioni morfologiche dell'alveo e delle forme di fondo, desumibili dal confronto tra queste condizioni e quelle relative al 1982, possono essere ritenute rappresentative della “normale” attività ordinaria del corso d'acqua; il confronto tra la condizione morfologica pre-alluvione '94 (o pre-alluvione 2000 a seconda dei casi) e la configurazione al 2002 evidenzia, con buona attendibilità, le modificazioni attribuibili ai due eventi di piena straordinari del '94 e del 2000.

Per quanto riguarda l'individuazione delle tendenze evolutive (punto “4”), è stato utilizzato l'insieme delle informazioni desumibili dalla documentazione pregressa (carte geomorfologiche 1982 e 2002), integrate attraverso osservazioni dirette sul campo (sopralluoghi) e confronto con la condizione desumibile dal “volo 2004” (ortofoto 2004 – DTM 2004). Nella fattispecie, il processo “analitico” è stato guidato dalla seguente procedura:

- a) individuazione delle condizioni morfologiche e vegetazionali attraverso l'esame della cartografia pregressa, utilizzata sia per la costruzione della carta geomorfologica di base, all'anno 1982, che per l'esecuzione delle verifiche vegetazionali in diversi intervalli temporali, compresi tra il 1979 e il 2004;
- b) controllo e verifica con la configurazione prealluvione '94 (cartografia MagisPo), post-alluvione '94 (CTR Piemonte, 1996) e post alluvione 2000 (DTM 2004);
- c) controllo e verifica delle tendenze risultanti con quelle indicate nella successiva cartografia geomorfologica 2002;
- d) differenziazione tra forme in evoluzione costante dal 1982; forme attivate dalla piena del 1994 o da quella del 2000; 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) confronto e verifica delle risultanze con le fotografie aeree della magra 2004 e con il DTM Laser-Scanner 2004, onde poter riscontrare e confermare le tendenze evolutive;
- f) confronto e verifica delle complessive risultanze con le osservazioni eseguite attraverso i sopralluoghi (effettuati contestualmente ai campionamenti dei sedimenti);
- g) compilazione di un data-base in cui, per ciascun tematismo geomorfologico e per ciascuna "unità geomorfologica elementare", individuata e censita, sono stati definiti alcuni "campi", riguardanti: 1) codice identificativo dell'elemento; 2) progressiva chilometrica ufficiale di riferimento; 3) superficie planimetrica della "unità elementare"; 4) quota assoluta media della "unità elementare"; 5) quota assoluta del pelo libero di magra alla progressiva di riferimento; 6) altezza media sulla quota del pelo libero di magra.

Alle suddette informazioni generali se ne aggiungono altre, specifiche di ciascun tematismo geomorfologico (barre, erosioni di sponda, ecc.). Per le forme di deposito, ad esempio, è stata riportata nel data-base l'informazione relativa allo stato della vegetazione. Per definire poi il grado di stabilità e la tendenza evolutiva di una forma di fondo è stato operato il seguente processo diagnostico:

- a) persistenza temporale della forma nel periodo di osservazione, in molti casi associata ad estensione planimetrica della stessa;
- b) quota assoluta media (unità geomorfologica elementare);
- c) persistenza temporale di una vegetazione arborea stabile e/o evoluzione della copertura vegetale da nuda a cespugliosa fino a una vegetazione arborea, stabile;
- d) 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 pennelli che favoriscono il deposito).

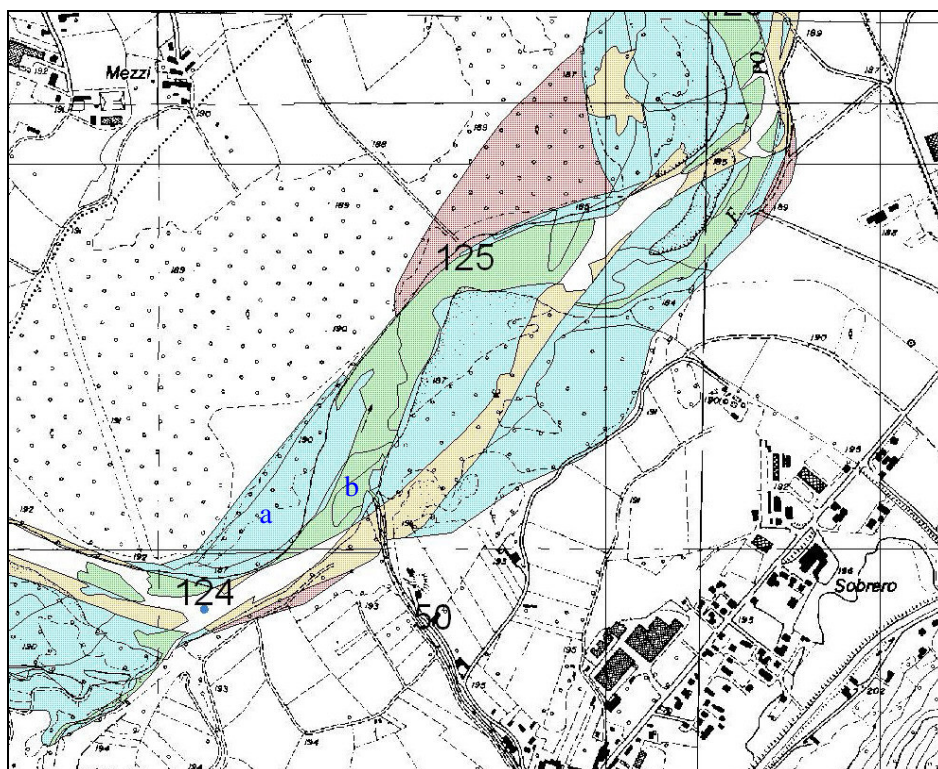


Figura 2.12 – Zona a nord di Gassino Torinese: modificazioni planimetriche 1982-2002, sovrapposte alla CTR Piemonte 1996, pre-alluvione 2000

A titolo di esempio di seguito si riporta la descrizione della cartografia delle modificazioni planimetriche 1982 – 2002 nel tratto del fiume Po rappresentato in Figura 2.12, dove: le aree azzurre rappresentano 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) e le aree gialle le erosioni di barra nello stesso periodo.

Osservando la barra in sinistra idrografica, alla progressiva 124 circa, si osserva: un nucleo azzurro “alto” (a), preesistente al 1982; una ampia area periferica verde, depositatasi tra il 1982 ed il 2002 (b). Nell’area verde si rileva la presenza di una linea nera con cui è stata suddivisa la forma in “unità morfologiche elementari”.

La quantificazione volumetrica delle modificazioni delle forme di erosione e di deposito (punto 5.) è stata eseguita, in prima approssimazione, a partire dalla misura delle loro superfici (v. superficie di ciascuna “unità elementare”), moltiplicate per la loro “altezza media” sul livello di magra.

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.

2.4.5 Risultati delle analisi

Il segmento fluviale esaminato si estende per circa 110 km a partire dalla confluenza con il fiume Stura di Lanzo fino alla confluenza Tanaro.

Dal punto di vista geomorfologico detto segmento fluviale può essere suddiviso in quattro tronchi principali, aventi caratteristiche sensibilmente differenti tra loro:

- a) “tronco A”, compreso tra confluenza Stura di Lanzo (progressiva chilometrica ufficiale 114 circa) e la località “S. Maria” (progressiva 157 circa), caratterizzato da alveo di magra rettilineo o sinuoso, prevalentemente monocursale e con scarsa dinamica morfologica. Tale condizione appare interrotta, localmente, in due limitati segmenti, in cui si riscontra un alveo pluricursale, braided, con maggiore dinamicità morfologica. Entrambi hanno una estensione lineare pari a circa 6,5 km (misurata lungo l’asse fluviale). Il primo si estende da confluenza Orco–Malone verso monte; il secondo da confluenza Dora Baltea verso monte. La loro presenza appare determinata dalla zona di divagazione storica delle locali confluenze. Infatti, la presenza di materiale ghiaioso di dimensioni maggiori di quelle di competenza del F. Po (dato osservato e misurato in campagna), trasportato dai citati affluenti, comporterebbe una certa “discontinuità” sedimentologica di questi materiali verso valle, con tempi di stazionamento relativamente elevati (il materiale, analogamente a quanto accade nel sistema braided strictu senso del Po, presente più a valle, verrebbe movimentato in loco, fino al raggiungimento di dimensioni compatibili con la competenza specifica del Po). In questo tronco, le forme di fondo, l’alveo di magra e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso- sabbiosi;
- b) “tronco B”, compreso tra la località “S. Maria” (progressiva 157 circa) e Casale Monferrato, zona monte (progressiva 181 circa), caratterizzato da alveo di magra monocursale a meandri, ad ampio raggio di curvatura, impostato al margine collinare, terziario, del Monferrato. L’alveo di magra presenta estesi affioramenti del substrato pre-quadernario (terziario) sul suo fondo. Le forme di fondo e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso- sabbiosi. Localmente, anche per tratti relativamente estesi, la sponda destra risulta impostata direttamente nel substrato terziario, affiorante al piede del margine collinare e spesso interessato da fenomeni di erosione (pseudo-calanchi) e gravitativi relativamente intensi.
- c) “tronco C”, compreso tra Casale Monferrato (progressiva 181 circa) e Frassineto Po (progressiva 192 circa), caratterizzato da alveo di magra monocursale, da sinuoso a meandriforme con basso raggio di curvatura. In questo tronco, le forme di fondo, l’alveo di magra e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso- sabbiosi;
- d) “tronco D”, compreso tra Frassineto Po (progressiva 192 circa) e confluenza Tanaro (progressiva 224 circa), caratterizzato da alveo di magra pluricursale, da rettilineo a sinuoso, di tipo braided. Le forme di fondo, l’alveo di magra e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso- sabbiosi.

Il segmento fluviale esaminato è stato suddiviso in sei “tratti omogenei”, contraddistinti da condizioni litologiche, geomorfologiche, sedimentologiche complessivamente omogenee. Essi sono:

- “tratto omogeneo 1”: dalla progressiva ufficiale km 114 (confluenza Stura di Lanzo) alla progressiva km 131,5 circa (confluenza Orco - Malone);
- “tratto omogeneo 2”: dalla progressiva km 131,5 circa alla progressiva km 147 circa (confluenza Dora Baltea);
- “tratto omogeneo 3”: dalla progressiva km 147 circa alla progressiva km 158 circa (località S. Maria);

- “tratto omogeneo 4”: dalla progressiva km 158 alla progressiva km 182 circa (Casale Monferrato);
- “tratto omogeneo 5”: dalla progressiva km 182 alla progressiva km 197 circa (Confluenza Sesia);
- “tratto omogeneo 6”: dalla progressiva km 197 alla progressiva km 224 circa (Confluenza Tanaro).

Nel seguito vengono descritti, con riferimento ad ogni tratto omogeneo, i risultati emersi dall'analisi geomorfologica. Per ogni tratto viene riportata una tabella che riassume i valori caratteristici delle dinamiche in atto nel ventennio 1982-2002, in particolare:

1. totale erosione: volume complessivamente eroso nel tratto da sponde e barre;
2. totale deposito: volume complessivamente depositato nel tratto su sponde, barre e canali;
3. bilancio (erosione – deposito): differenza tra volume complessivamente eroso nel tratto e quello depositato;
4. totale sponde stabili o con tendenza alla stabilizzazione: volume di sedimento presente lungo le sponde aventi caratteristiche di stabilità e quindi difficilmente rimobilizzabile dalla corrente, generalmente vegetato;
5. totale barre stabili o con tendenza alla stabilizzazione: volume di sedimento presente in barre aventi caratteristiche di stabilità e quindi difficilmente rimobilizzabili dalla corrente, generalmente vegetate (tendenza evolutiva “a”);
6. totale depositi di canale stabili o con tendenza alla stabilizzazione: volume di sedimento presente come riempimento di canali aventi caratteristiche di stabilità e quindi difficilmente rimobilizzabili dalla corrente, generalmente vegetate (tendenza evolutiva “canale a”);
7. tendenza (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili): volume di sedimento presente su barre rimobilizzabili dalla corrente (tendenze evolutive “b” e “c”); la somma dei volumi riportati ai punti 4., 5., 6. e 7. equivale al volume riportato al punto 2.
8. tendenza (volume in ingresso per erosione di sponda in condizioni ordinarie): volume di sedimento eroso dalle sponde in condizioni ordinarie;
9. volume annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre: volume medio annuo movimentabile dalle barre instabili (il valore è pari al volume riportato al punto 7. diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002);
10. 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 8. diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002);
11. volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile: volume medio annuo depositatosi sulle barre o nei canali e non rimobilizzabile e quindi sottratto al sistema (il valore è pari alla somma dei volumi riportati ai punto 5. e 6. diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002);
12. 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 4. diviso per 20 – n. anni analisi 1982 – 2002).

Il “**tratto omogeneo 1**” è caratterizzato da alveo monocursale da rettilineo a sinuoso, localmente pluricursale di tipo braided (v. zona subito a monte di confluenza Orco – Malone), omogeneamente incassato in depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, costituenti anche le sponde incise. Le forme di fondo (barre) sono costituite da ghiaie e ghiaie-sabbiose.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate:

SINTESI TRATTO 1° - Intervallo temporale di osservazione = 1982 - 2002	
	TOTALE EROSIONE (mc) = 3.532.098
	TOTALE DEPOSITO (mc) = 2.064.952
	BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) = 1.467.145
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	52.736
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	369.599
TOT. DEPOSITI DI CANALE STAB. O CON TENDENZA ALLA STABILIZZ. (mc) =	0
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	1.097.181
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	268.262
Vol. annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili (mc/anno) =	54.859
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	13.413
Volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile (mc/anno) =	-18.480
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	-2.637

Tabella 2.1 - Volumi dinamiche evolutive tratto 1 – intervallo 1982 – 2002

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel periodo complessivamente esaminato, risulta pari a circa 3.500.000 metri cubi, di cui 2.400.000 (68%) circa derivano dalla rimobilizzazione di forme di fondo (barre);
- il volume complessivamente depositato ammonta a 2.000.000 di metri cubi circa, da cui risulta un bilancio “erosione – deposito” positivo (forme di fondo in condizioni di erosione);
- è da sottolineare come la maggior parte dei depositi di barra, formati nel periodo 1982 – 2002, risulti essere instabile (circa l'82% dei depositi è instabile, il 18% circa stabile o in via di stabilizzazione). Tale dato evidenzia una forte tendenza alla mobilità dei depositi di fondo;
- il 45% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario. Le modificazioni delle forme di fondo appaiono pertanto condizionate sostanzialmente dal regime ordinario.

Il “**tratto omogeneo 2**” è in continuità geomorfologica e sedimentologica con il precedente “tratto 1”. Infatti, anche in questo tratto si riscontra una decisa tendenza erosiva delle forme di fondo nel periodo di osservazione.

L'alveo è monocursale, da rettilineo a sinuoso, localmente pluricursale di tipo braided (v. zona subito a monte di confluenza Dora Baltea), omogeneamente incassato in depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, costituenti anche le sponde incise. Le forme di fondo (barre) sono costituite da ghiaie e ghiaie-sabbiose..

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate:

SINTESI TRATTO 2° - Intervallo temporale di osservazione = 1982 - 2002	
TOTALE EROSIONE (mc) =	7.530.410
TOTALE DEPOSITO (mc) =	3.300.828
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	4.229.582
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	4.255
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	842.873
TOT. DEPOSITI DI CANALE STAB. O CON TENDENZA ALLA STABILIZZ. (mc) =	0
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	1.970.990
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	408.059
Vol. annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili (mc/anno) =	98.549
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	20.403
Volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile (mc/anno) =	-42.144
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	-213

Tabella 2.2 - Volumi dinamiche evolutive tratto 2 – intervallo 1982 – 2002

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel periodo complessivamente esaminato, risulta pari a circa 7.500.000 metri cubi, di cui 4.700.000 (62%) circa derivano dalla rimobilizzazione di forme di fondo (barre);
- il volume complessivamente depositato ammonta a 3.300.000 metri cubi circa, da cui risulta un bilancio “erosione – deposito” fortemente positivo (forme di fondo in condizioni di erosione generalizzata);
- è da sottolineare che, anche in questo tratto, la maggior parte dei depositi risulta instabile (quasi il 75%);
- il 65% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario. Le modificazioni delle forme di fondo appaiono pertanto condizionate dal regime straordinario (attività impulsiva) in misura maggiore rispetto al tratto precedente.

Il “**tratto omogeneo 3**” è in continuità geomorfologica con il precedente “tratto 2”.

L'alveo è monocursale, da rettilineo a sinuoso omogeneamente incassato in depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, costituenti anche le sponde incise. Le forme di fondo (barre) sono costituite da ghiaie e ghiaie-sabbiose.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate:

SINTESI TRATTO 3° - Intervallo temporale di osservazione = 1982 - 2002	
TOTALE EROSIONE (mc) =	1.941.066
TOTALE DEPOSITO (mc) =	1.956.039
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	-14.973
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	0
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	492.942
TOT. DEPOSITI DI CANALE STAB. O CON TENDENZA ALLA STABILIZZ. (mc) =	0
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	915.826
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	164.754
Vol. annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili (mc/anno) =	45.791
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	8.238
Volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile (mc/anno) =	-24.647
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	0

Tabella 2.3 - Volumi dinamiche evolutive tratto 3 – intervallo 1982 – 2002

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel periodo complessivamente esaminato, risulta pari a circa 1.950.000 metri cubi, di cui 1.700.000 circa (88%) derivano dalla rimobilizzazione di forme di fondo (barre);
- il volume complessivamente depositato ammonta a 1.950.000 di metri cubi circa, da cui risulta un bilancio “erosione – deposito” in sostanziale equilibrio, nel periodo di osservazione;
- anche in questo tratto, la maggior parte dei depositi risulta instabile (quasi il 75%);
- il 46% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario. Questo dato evidenzia un comportamento relativamente più sensibile all’attività ordinaria del corso d’acqua.

Il “**tratto omogeneo 4**” corrisponde all’incirca al “tronco geomorfologico B”, compreso tra la località “S. Maria” (progressiva 157 circa) e Casale Monferrato, zona monte (progressiva 181 circa).

Questo tratto è caratterizzato da alveo di magra monocursale a meandri, ad ampio raggio di curvatura, impostato al margine collinare, terziario, del Monferrato.

L’alveo di magra presenta estesi affioramenti del substrato pre-quadernario (terziario) sul suo fondo.

Le forme di fondo e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso-sabbiosi. Localmente, anche per tratti relativamente estesi, la sponda destra risulta impostata direttamente nel substrato terziario, affiorante al piede del margine collinare e spesso interessato da fenomeni di erosione (pseudo-calanchivi) e gravitativi relativamente intensi.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate:

SINTESI TRATTO 4° - Intervallo temporale di osservazione = 1982 - 2002	
TOTALE EROSIONE (mc) =	5.351.371
TOTALE DEPOSITO (mc) =	2.133.447
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	3.217.924
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	0
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	832.673
TOT. DEPOSITI DI CANALE STAB. O CON TENDENZA ALLA STABILIZZ. (mc) =	0
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	856.786
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	381.994
Vol. annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili (mc/anno) =	42.839
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	19.100
Volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile (mc/anno) =	-41.634
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	0

Tabella 2.4 - Volumi dinamiche evolutive tratto 4 – intervallo 1982 – 2002

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel periodo complessivamente esaminato, risulta pari a circa 5.350.000 metri cubi, di cui 2.500.000 circa (47%) derivano dalla rimobilizzazione di forme di fondo (barre) e ben 2.900.000 mc circa dalla erosione di sponde (53%). Questo dato evidenzia, rispetto ai tratti precedenti, una maggiore “mobilità laterale” del corso d’acqua, documentata da un deciso incremento degli apporti solidi derivanti da fenomeni di erosione spondale. Il comportamento di questo tratto è giustificato dalla presenza del substrato lapideo pre-quadernario, affiorante sul fondo alveo, che ne vincola la relativa quota di fondo. Infatti, la “mobilità verticale” dell’alveo, in un determinato intervallo di tempo e in una data sezione, appare confinata intorno ad una quota di equilibrio tra processi di deposito (che incrementano la quota di fondo) e processi di erosione (che asportano il sedimento precedentemente depositato);
- il volume complessivamente depositato ammonta a 2.100.000 metri cubi circa, da cui risulta un bilancio “erosione – deposito” fortemente positivo (forme di fondo e sponde in condizioni di sostanziale erosione);
- il 67% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario;
- il volume complessivo dei depositi stabilizzati o in via di stabilizzazione nell’intero periodo di osservazione è pari a circa il 39% del totale. Tale dato evidenzia che, nonostante i fenomeni di erosione si manifestino prevalentemente in condizioni straordinarie, la dinamica evolutiva del tratto comporta una discreta mobilità dei sedimenti.

Il “**tratto omogeneo 5**” è caratterizzato da alveo di magra monocursale, da sinuoso a meandriforme con basso raggio di curvatura. In questo tratto, le forme di fondo, l’alveo di magra e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso- sabbiosi.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate:

SINTESI TRATTO 5° - Intervallo temporale di osservazione = 1982 - 2002	
TOTALE EROSIONE (mc) =	4.390.277
TOTALE DEPOSITO (mc) =	4.803.739
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	-413.462
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	0
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	321.821
TOT. DEPOSITI DI CANALE STAB. O CON TENDENZA ALLA STABILIZZ. (mc) =	0
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	1.481.953
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	0
Vol. annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili (mc/anno) =	74.098
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	0
Volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile (mc/anno) =	-16.091
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	0

Tabella 2.5 - Volumi dinamiche evolutive tratto 5 – intervallo 1982 – 2002

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel periodo complessivamente esaminato, risulta pari a circa 4.400.000 metri cubi, di cui ben 3.150.000 mc circa (72%) derivano dalla rimobilizzazione di forme di fondo (barre) e solo 1.250.000 mc circa (28%) dalla erosione delle sponde;
- il volume complessivamente depositato ammonta a 4.800.000 metri cubi circa, da cui risulta un bilancio “erosione – deposito” in sostanziale equilibrio, nel periodo di osservazione;
- il 64% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario;
- il volume complessivo dei depositi stabilizzati o in via di stabilizzazione nell'intero periodo di osservazione è pari a circa il 25% del totale. Tale dato evidenzia che, nonostante i fenomeni di erosione si manifestino prevalentemente in condizioni straordinarie, la dinamica evolutiva del tratto comporta una forte mobilità dei sedimenti.

Il “**tratto omogeneo 6**” è caratterizzato da alveo di magra pluricursale, da rettilineo a sinuoso, di tipo braided. Le forme di fondo, l'alveo di magra e le relative sponde appaiono impostate omogeneamente in depositi ghiaioso- sabbiosi.

Le caratteristiche sostanziali di questo tratto sono di seguito sintetizzate:

SINTESI TRATTO 6° - Intervallo temporale di osservazione = 1982 - 2002	
TOTALE EROSIONE (mc) =	13.539.907
TOTALE DEPOSITO (mc) =	12.274.751
BILANCIO (EROSIONE-DEPOSITO) (mc) =	1.265.156
TOTALE SPONDE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	0
TOTALE BARRE STABILI O CON TENDENZA ALLA STABILIZZAZIONE (mc) =	2.333.746
TOT. DEPOSITI DI CANALE STAB. O CON TENDENZA ALLA STABILIZZ. (mc) =	0
TENDENZA (volume movimentabile per sottrazione dalle barre mobili) (mc) =	4.245.252
TENDENZA (volume in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie) (mc) =	2.219.159
Vol. annuo movimentabile (trasporto) per sottrazione dalle barre mobili (mc/anno) =	212.263
Volume annuo in ingresso per erosione di sponda in cond. ordinarie (mc/anno) =	110.958
Volume annuo sottratto al sistema per deposito di barra o canale stabile (mc/anno) =	-116.687
Volume annuo sottratto al sistema per accrezione di sponda (mc/anno) =	0

Tabella 2.6 - Volumi dinamiche evolutive tratto 6 – intervallo 1982 – 2002

- il volume di materiale complessivamente eroso dalle sponde e attraverso la rimobilizzazione delle barre, nel periodo complessivamente esaminato, risulta pari a circa 13.500.000 metri cubi, di cui 8.700.000 mc circa (64%) derivano dalla rimobilizzazione di forme di fondo (barre) e 4.850.000 mc circa (36%) dalla erosione delle sponde;
- il volume complessivamente depositato ammonta a 12.300.000 metri cubi circa, da cui risulta un bilancio “erosione – deposito” in leggera erosione (sostanzialmente in equilibrio);
- il 37% circa del materiale complessivamente eroso dalle sponde e dalle barre risulta essere stato mobilizzato in condizioni di regime straordinario. Questo dato evidenzia, rispetto ai tratti precedenti, un deciso incremento della sensibilità al regime ordinario, tipico dei sistemi pluricursali, braided, ad elevata mobilità interna dei sedimenti;
- il volume complessivo dei depositi stabilizzati o in via di stabilizzazione nell'intero periodo di osservazione è pari a circa il 19% del totale. Tale dato conferma una dinamica evolutiva caratterizzata da una forte mobilità dei sedimenti.

Nel grafico seguente vengono riportati i volumi cumulati lungo la progressiva, con riferimento ai diversi fenomeni evolutivi in atto (depositi ed erosioni di barra, accrescimenti ed erosioni di sponda, ecc.), nell'intervallo temporale esaminato (1982 – 2002).

Per quanto riguarda l'intervallo temporale considerato (1982 – 2002), dall'analisi di questi grafici si possono trarre le seguenti conclusioni:

- nei tratti 1, 2 e 4 prevalgono, complessivamente, i fenomeni erosivi, di rimobilizzazione delle forme di fondo;
- nei tratti 3 e 5, il corso d'acqua tende ad una condizione di equilibrio tra processi erosivi e deposizionali;
- equilibrio che in prima approssimazione si conferma anche nel tratto 6, in corrispondenza del quale inizia il “sistema braided” strictu senso del F. Po.

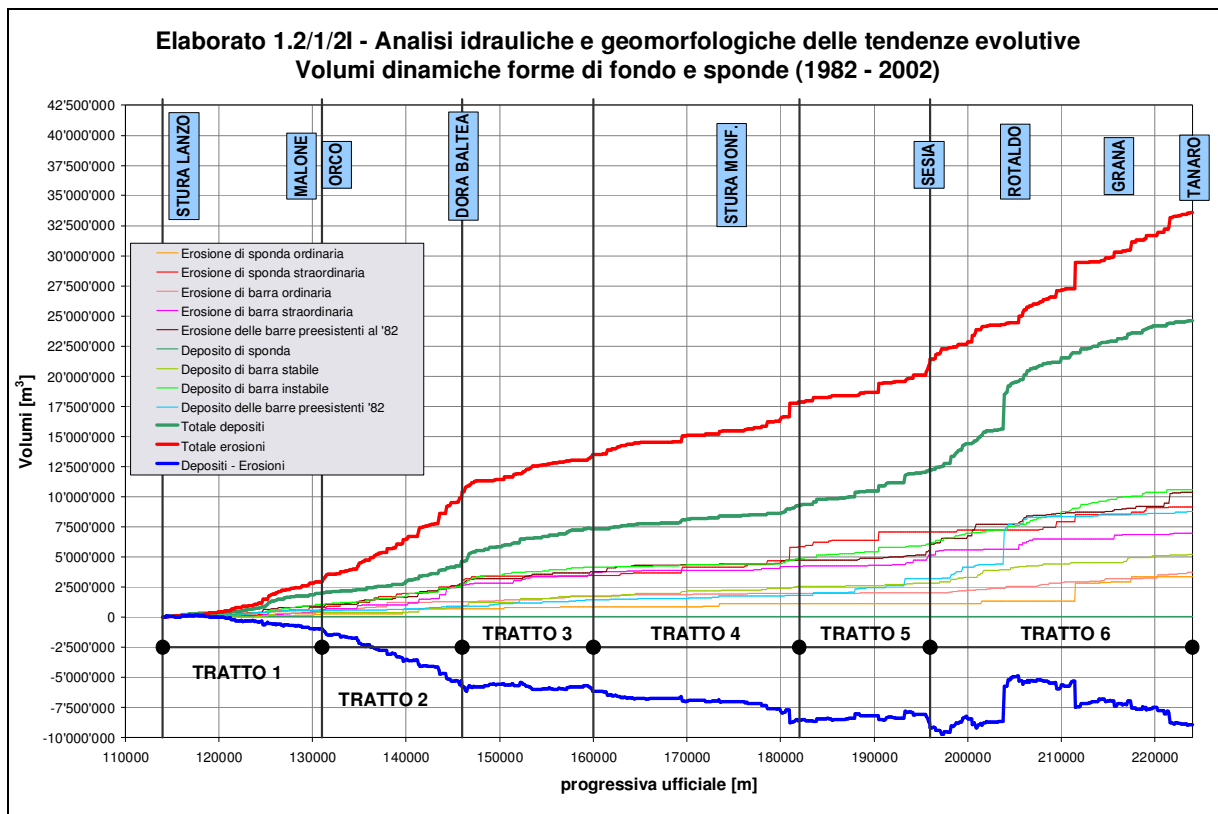


Figura 2.13 - Analisi geomorfologiche delle tendenze evolutive

Il grafico di Figura 2.14 evidenzia, tratto per tratto, l'incidenza percentuale del regime idraulico responsabile dei fenomeni di erosione. I tratti 2, 4 e 5 risultano più sensibili al regime straordinario (tra 65% e 67%) mentre i tratti 1, 3 e 6 risultano più sensibili al regime ordinario (tra 54% e 63%). Mediando questo risultato sull'intero segmento fluviale in studio, il grafico evidenzia una inequivocabile mobilità interna del materiale, la cui dinamica appare sensibile sia al regime ordinario, sia a quello straordinario.

È particolarmente significativo il dato relativo al tratto omogeneo 6, dove prevale nettamente l'influenza del regime ordinario (63% ordinario e 37% straordinario), a conferma di una forte propensione alla movimentazione interna dei sedimenti, indice di una certa "discontinuità sedimentologica" tra sistema braided e segmenti fluviali di valle (v. anche risultati dell'analisi relativa al segmento fluviale compreso tra confluenza Tanaro e confluenza Arda).

Quanto sopra esposto trova riscontro anche nella distribuzione percentuale, in ciascun tratto, dei depositi di barra stabilizzati nel periodo di osservazione od in via di stabilizzazione (Figura 2.15).

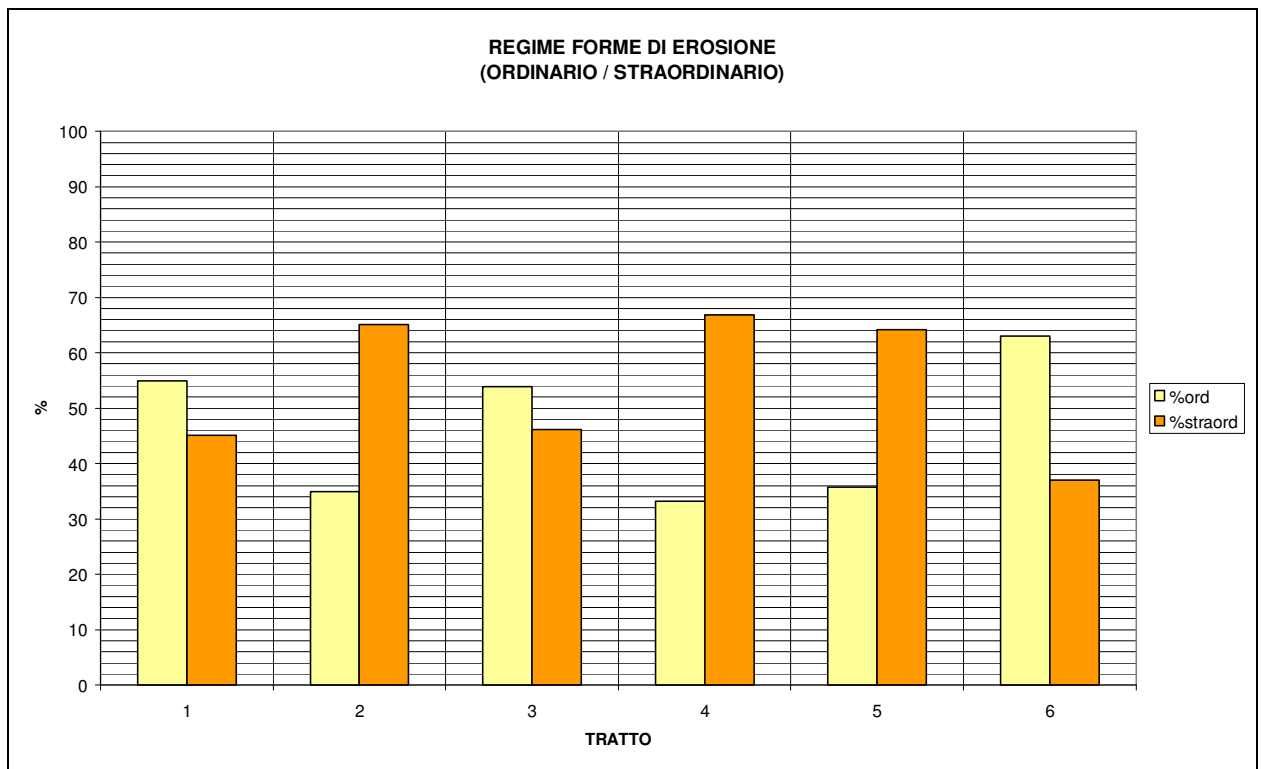


Figura 2.14 – Variazione del regime idraulico di erosione in funzione del tratto omogeneo

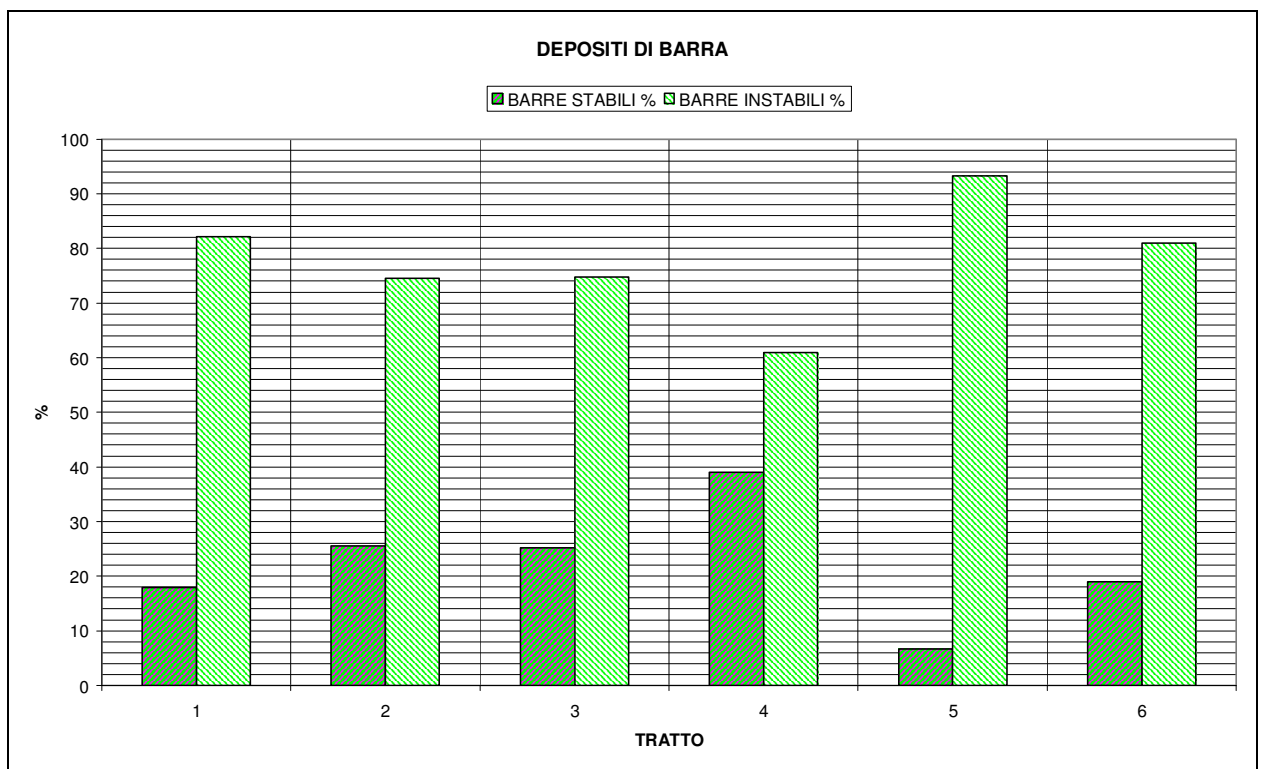


Figura 2.15 - Distribuzione della percentuale di barre stabili e instabili

I depositi di barra instabili sono presenti con valori percentuali decisamente maggiori del 50% in tutti i tratti, con valori massimi maggiori del 90% (v. tratto 5).

2.4.6 L'analisi delle modificazioni altimetriche del fondo alveo

L'analisi dell'evoluzione del fondo alveo è stata condotta utilizzando le sezioni topografiche rilevate dall'AIPO (Agenzia Interregionale per il Po). I rilievi più significativi e quindi utili per l'analisi delle dinamiche in atto sono solo quelli del 1999 e del 2005. Non è possibile utilizzare le sezioni di altri rilievi, se non per verifiche puntuali, in quanto la distanza fra sezioni successive è troppo elevata (in media circa 15 km) per fornire un'interpretazione sufficientemente aderente alla realtà dei fenomeni verificatisi.

Confrontando tra loro i dati del 2004 con quelli del 1999 si ottengono delle informazioni non temporalmente congrue con quelle utilizzate nell'analisi geomorfologica della tendenze evolutive delle forme di fondo (1982 – 2002).

Si segnala che all'interno del periodo 1999 – 2004 si è verificato un evento di piena eccezionale (piena 2000), pertanto l'analisi tiene in conto sia gli effetti di deflussi ordinari sia gli effetti di piene straordinarie.

Come anticipato, l'informazione disponibile a livello cartografico ha consentito un'analisi puntuale delle singole forme di fondo, mentre l'informazione disponibile a livello di sezioni risulta meno dettagliata e quindi ha consentito solo di effettuare un'analisi relativa a “condizioni medie” e con individuazione di “tendenze evolutive”. Ciò nonostante, il risultato numerico finale, ottenuto interpolando i risultati derivati da sezioni in media distanti circa 2.6 km (43 sezioni in 110 km di fiume), è da ritenersi significativo.

2.4.7 Metodologia di analisi

Il confronto tra i profili longitudinali del talweg 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 talweg 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 50 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 talweg, 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 (talweg) 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 talweg, 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 talweg, 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.

2.4.8 Risultati delle analisi

L'applicazione della metodologia descritta nel paragrafo precedente ha portato a determinare il profilo di fondo medio solo per gli anni 1999 e 2004. Tali profili sono riportati nelle figure seguenti.

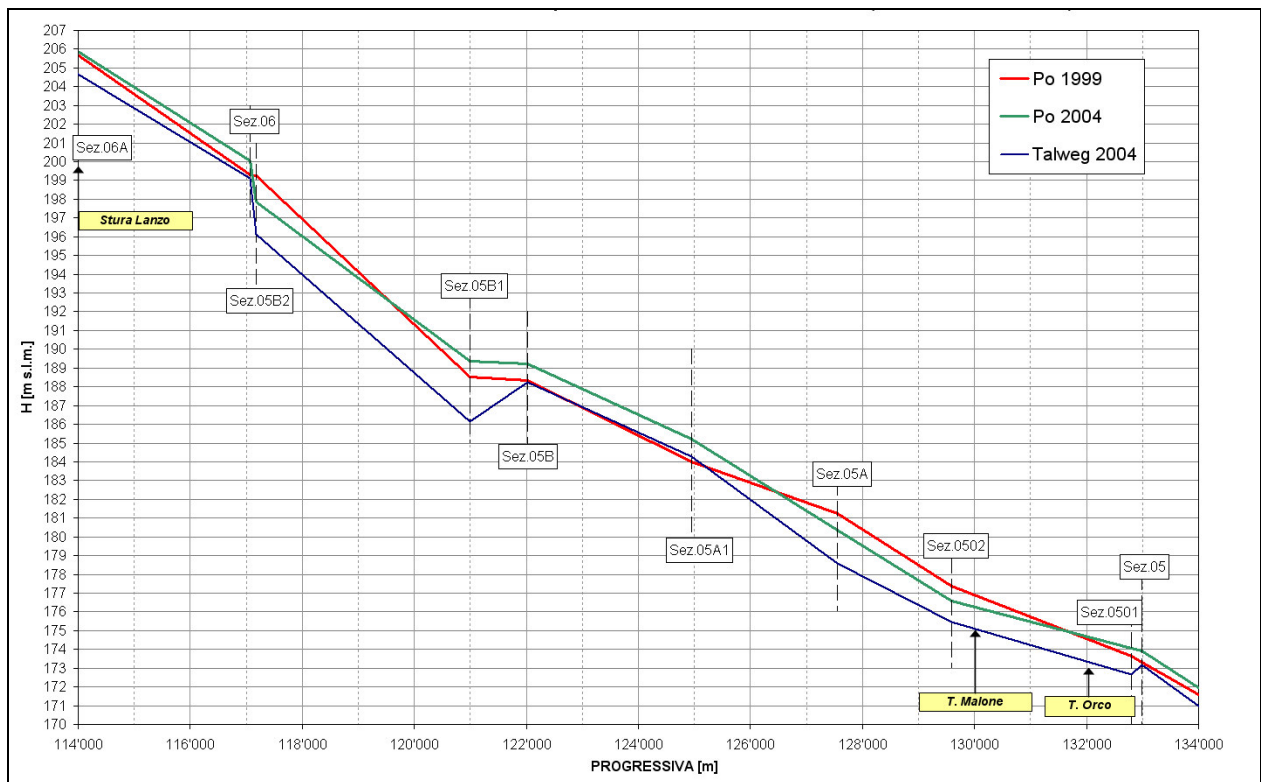


Figura 2.16 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 06A alla sezione 05

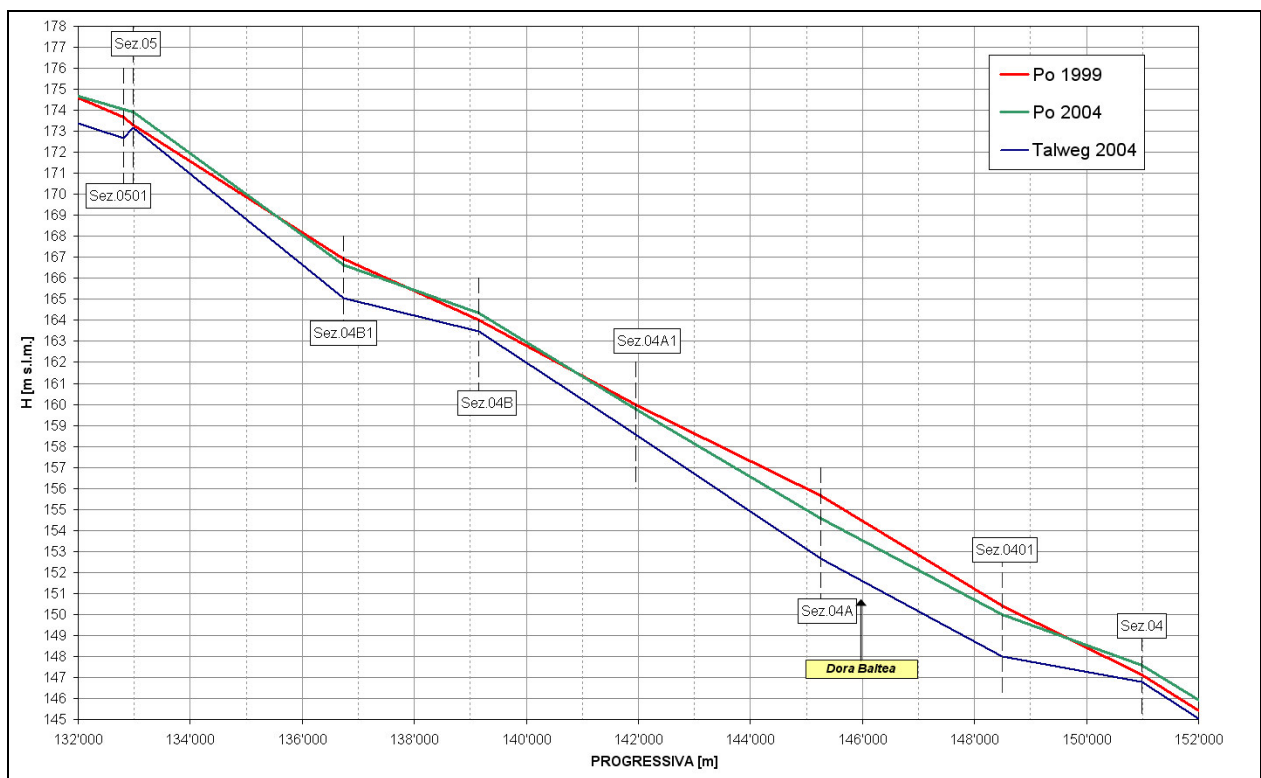


Figura 2.17 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 05 alla sezione 04

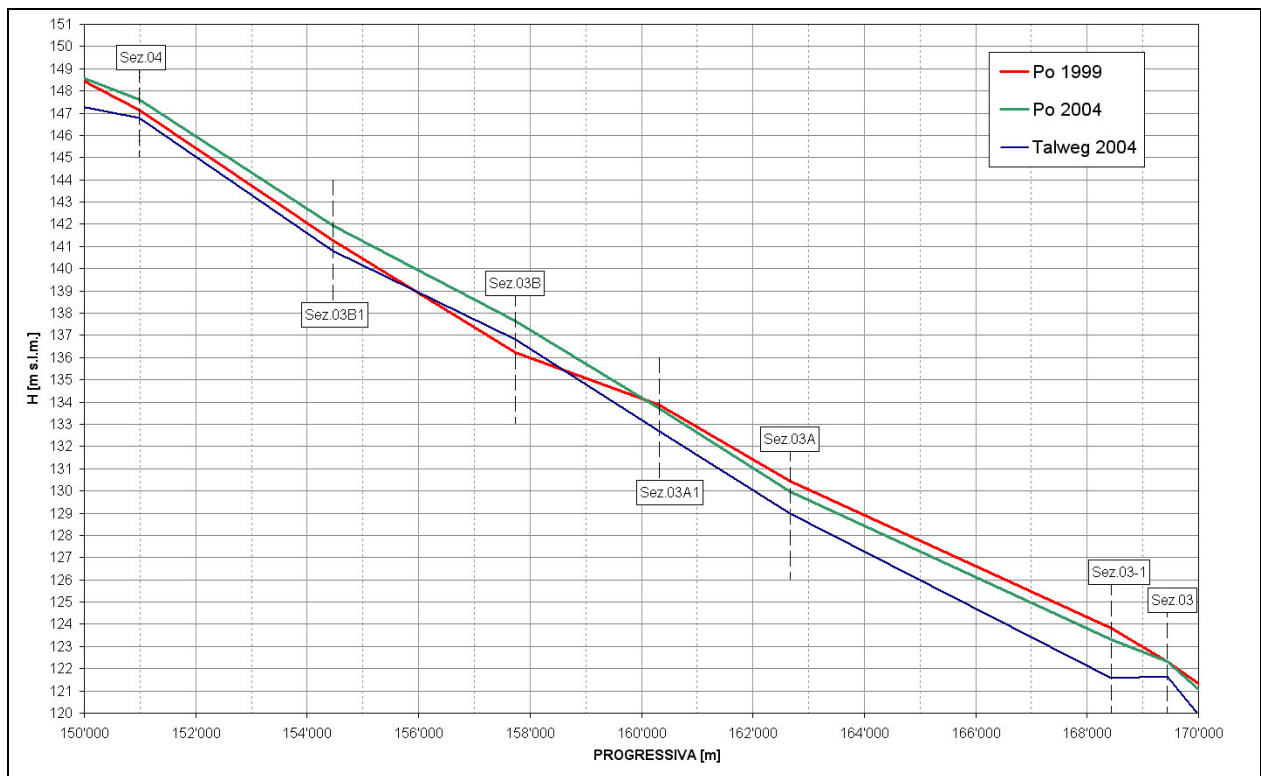


Figura 2.18 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 04 alla sezione 03

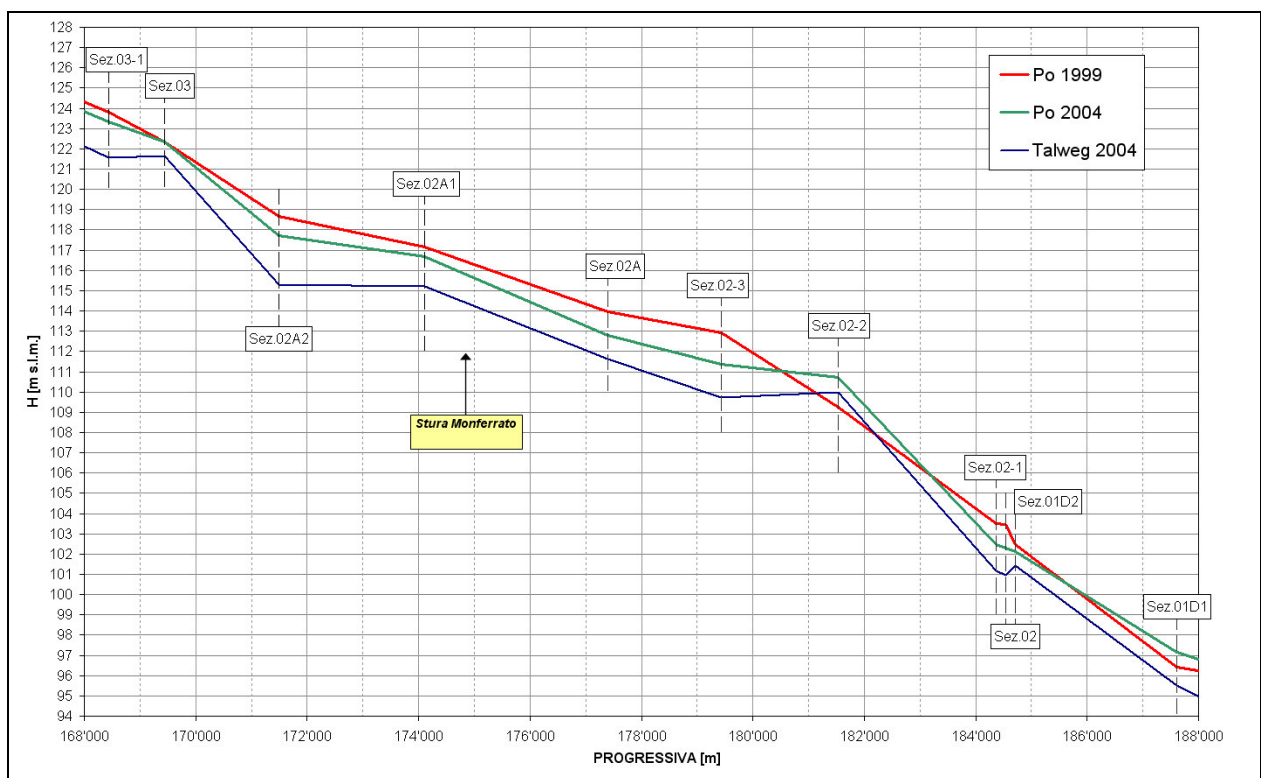


Figura 2.19 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 03 alla sezione 01D1

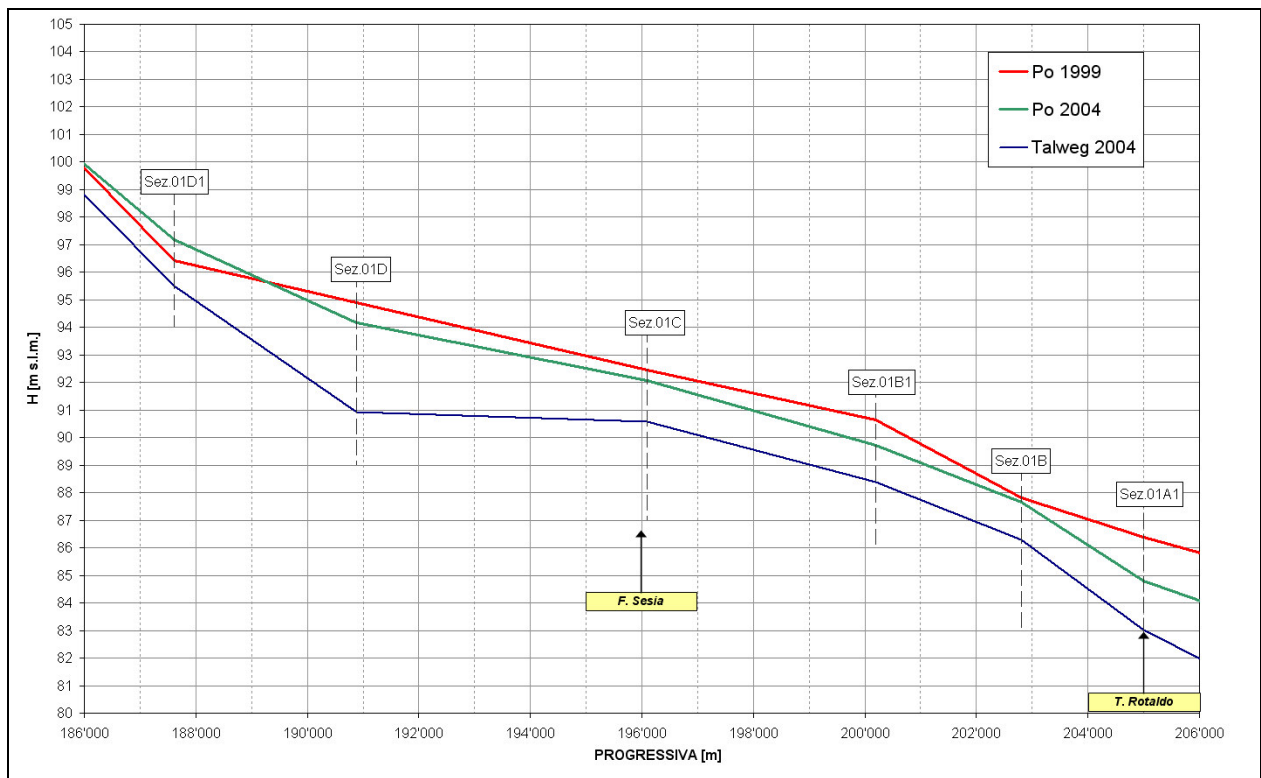


Figura 2.20 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 01D1 alla sezione 01A1

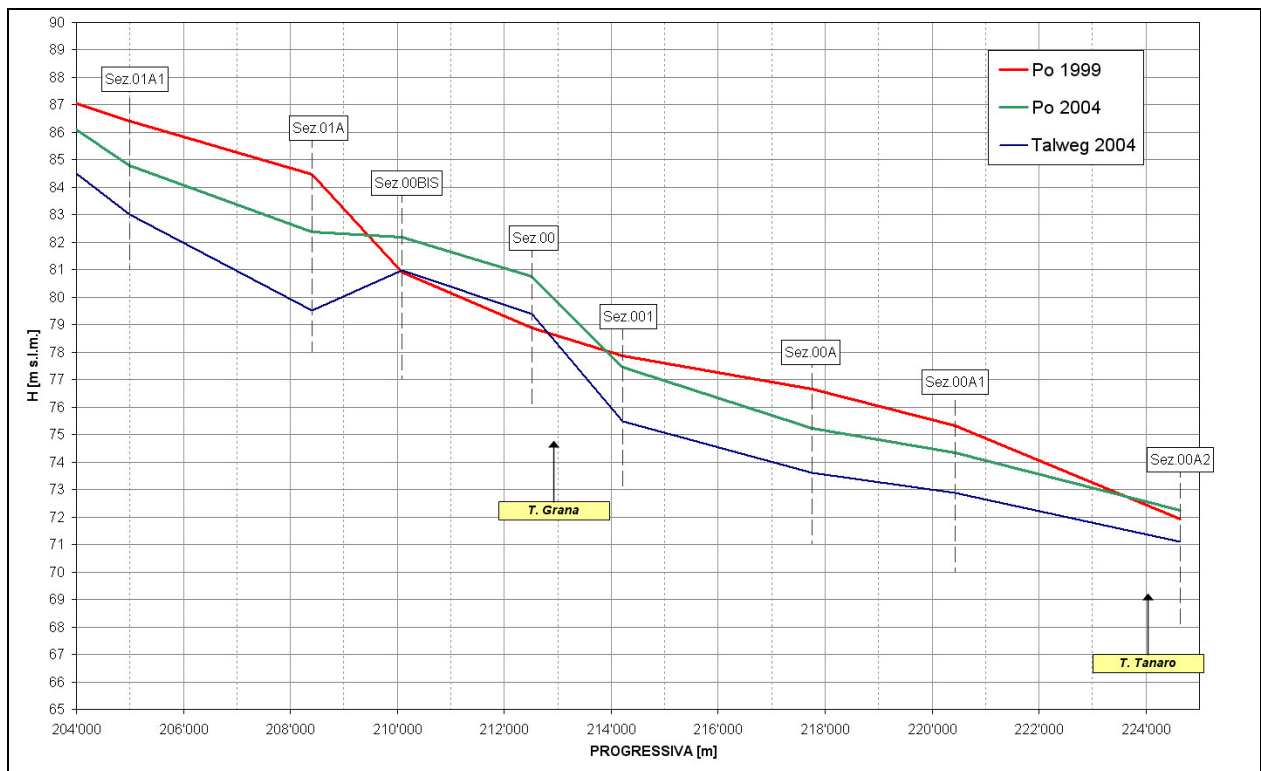


Figura 2.21 – Profili di fondo medio multitemporali dalla sezione 01A1 alla sezione 00A2

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

- dalla confluenza con lo Stura di Lanzo fino alla confluenza con Orco e Malone si ha un'alternanza di tratti in erosione e tratti in deposito, con valori assoluti ovunque inferiori a 1 – 1.5 m;
- a valle della confluenza con l'Orco e fino a Verolengo (progr. km 142) si ha una sostanziale stabilità del fondo alveo;
- nell'intorno della confluenza con la Dora Baltea (dal km 142 al km 148) si è verificato un abbassamento delle quote di fondo alveo, con valori massimi di circa 1 m;
- a valle della confluenza con la Dora Baltea (dal km 150) fino a monte di Palazzolo Vercellese (km 160) si è verificato un innalzamento delle quote di fondo alveo, con valori massimi di circa 1.5 m;
- nel tratto tra Palazzolo Vercellese e Casale Monferrato (prog. km 180) si è verificato un abbassamento generalizzato del fondo alveo, variabile tra 0 e 1.5 m;
- a valle di Casale Monferrato, fino a monte di Frassineto (prog km 190) si ha un'alternanza di tratti in erosione e tratti in deposito, con valori assoluti ovunque inferiori a 1 m;
- da Frassineto fino al ponte di Valenza (prog. km 208) si è verificato un abbassamento generalizzato delle quote di fondo medio dell'alveo, con valori massimi di circa 2 m;
- tra il ponte di Valenza e la confluenza del T. Grana, per un'estensione di circa 4 km, si osserva un innalzamento delle quote di fondo medio dell'ordine di 2 m;
- tra la confluenza del T. Grana e la confluenza con il Tanaro (prog. km 224) si è verificato un abbassamento delle quote di fondo medio dell'alveo di entità massima di circa 1.5 m.

Nel grafico di Figura 2.22 sono riportate le variazioni del profilo di fondo medio considerando il periodo compreso tra gli anni 1999 e 2004 e le linee di tendenza della dinamica in atto nel fondo alveo prendendo come riferimento i tratti omogenei in cui è stato suddiviso l'ambito in studio in funzione delle condizioni geomorfologiche ed idrauliche.

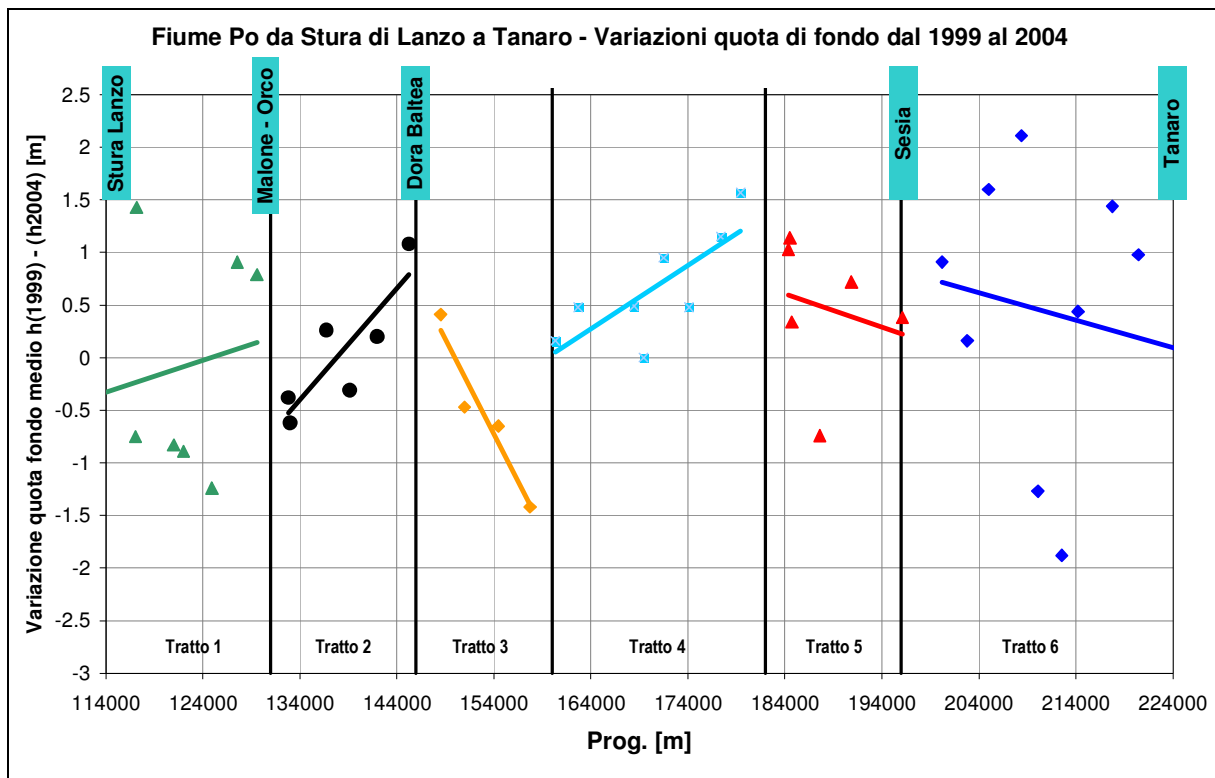


Figura 2.22 – Variazioni delle quote di fondo medio nel periodo 1999 - 2004

Analizzando il grafico si osserva che:

- il “tratto omogeneo 1”, dalla confluenza con lo Stura di Lanzo fino alla confluenza con i torrenti Malone e Orco, è caratterizzato da un’alternanza di tratti in erosione e di tratti in deposito (variazioni massime di ± 1.5 m);
- il “tratto omogeneo 2”, compreso tra i torrenti Malone e Orco e la confluenza con la Dora Baltea, è caratterizzato da un’alternanza di tratti in erosione e di tratti in deposito (variazioni contenute entro 1.0 m);
- il “tratto omogeneo 3”, compreso tra la Dora Baltea e la località S. Maria (prog. km 160, a monte di Palazzolo Vercellese), è caratterizzato da un innalzamento delle quote di fondo medio (valore massimo pari a 1.5 m);
- il “tratto omogeneo 4”, compreso tra la località S. Maria e Casale Monferrato (prog. km 182), è caratterizzato da un abbassamento del fondo alveo (valore massimo pari a circa 1.5 m);
- il “tratto omogeneo 5”, compreso tra Casale Monferrato e la confluenza con il F. Sesia (prog. km 197), è caratterizzato in prevalenza da fenomeni di erosione del fondo alveo (valore massimo di circa 1 m);
- il “tratto omogeneo 6”, dalla confluenza con il F. Sesia fino alla confluenza con il F. Tanaro, è caratterizzato in prevalenza da fenomeni di erosione del fondo medio dell’alveo, ad eccezione di un sottotratto ubicato tra il ponte di Valenza e la confluenza con il T. Grana. Le variazioni del fondo medio dell’alveo sono comprese tra ± 2 m.

Il passaggio dalle variazioni delle quote di fondo medio alla stima dei volumi complessivamente erosi e depositati sul fondo alveo è stato condotto applicando la seguente metodologia:

- si individua la superficie dell'alveo di magra compreso tra due sezioni successive, utilizzando le carte geomorfologiche del 2002 (condizione intermedia tra il 1999 e il 2004). Tali superfici vengono individuate nell'ambito dell'alveo inciso al netto di tutte le forme di fondo censite nell'attività di cui al paragrafo 2.2.1;
- si determina per il periodo 1999 – 2004 la variazione della quota del fondo medio dell'alveo in ciascuna sezione e si calcola la media tra due sezioni successive, in modo da determinare la variazione media di un tronco d'alveo compreso tra due sezioni (positivi i depositi e negative le erosioni);
- si moltiplica la superficie del 2002 per la variazione di quota media del periodo 1999 – 2004;
- la somma algebrica dei volumi così ottenuti, determina l'andamento dei volumi complessivamente movimentati sul fondo alveo nei due differenti periodi.

L'applicazione di tale metodologia fornisce i risultati rappresentati nel grafico di Figura 2.23.

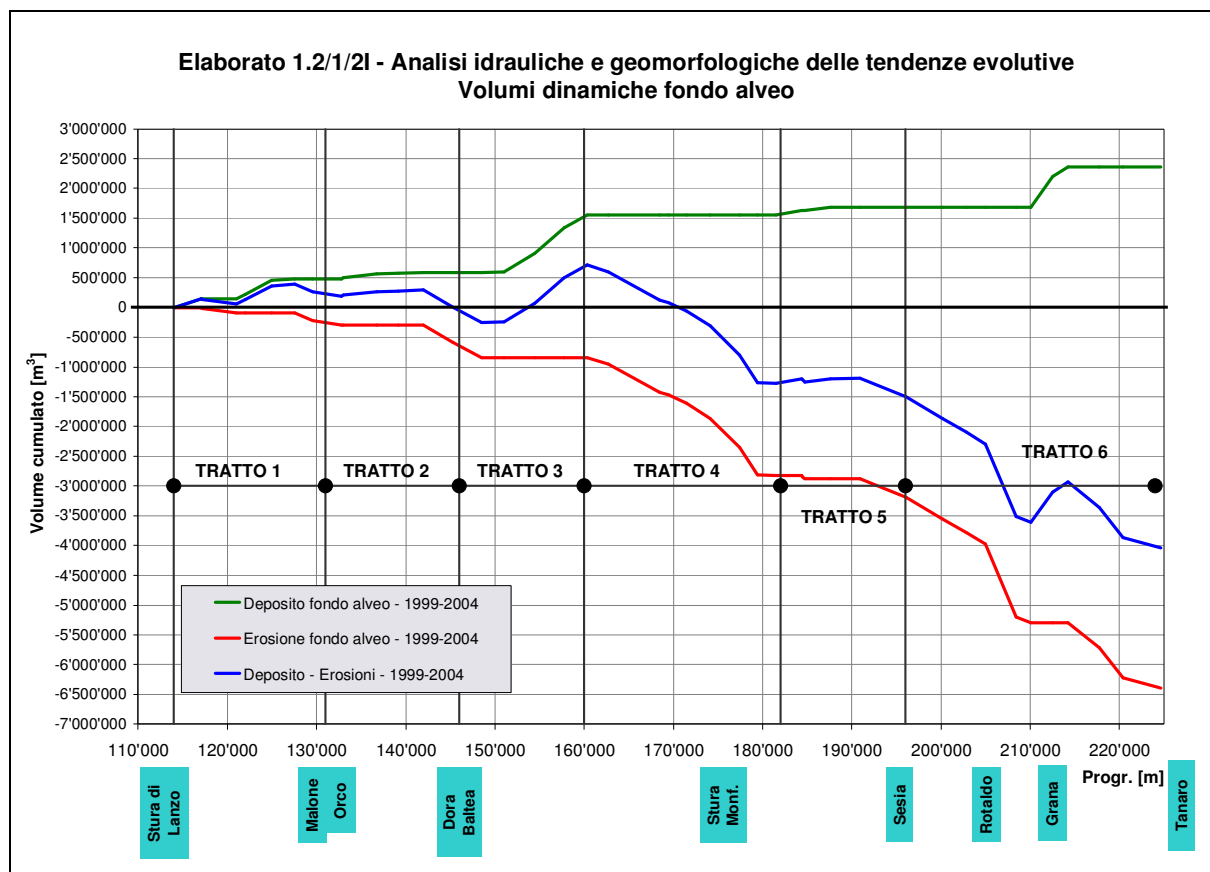


Figura 2.23 - Volume eroso e depositato lungo il fondo alveo da foce Stura di Lanzo a foce Tanaro

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

Considerando il periodo compreso tra il 1979 e il 2005 si può osservare che:

- i tratti 1 e 2 sono caratterizzati da variazioni di volumi contenuti; i volumi depositati nei due tratti sono sostanzialmente equivalenti ai volumi erosi,

pertanto si ha una situazione di equilibrio per quanto riguarda le dinamiche di fondo alveo;

- il tratto 3 è caratterizzato complessivamente da un maggior volume di depositi rispetto ai volumi erosi;
- i tratti 4, 5 e 6 sono invece caratterizzati da una prevalenza di volumi erosi (circa 5.5 Mmc) rispetto ai volumi depositati (circa 0.8 Mmc)

2.4.9 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, gli apporti dagli affluenti e apporto da sospensione.

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 studio risulta circoscritto all'asta principale del fiume Po dalla confluenza del fiume Stura di Lanzo al fiume Tanaro. Resta escluso pertanto dallo studio sia tutto il bacino sotteso dagli affluenti ed il bacino sotteso dal fiume Po a monte della confluenza con lo Stura di Lanzo. Come evidenziato in seguito, 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.

In assenza di dati puntuali si sono indagati gli studi precedenti al fine di individuare stime omogenee da poter utilizzare nel bilancio in oggetto.

Tra gli studi consultati quello di maggior completezza (per le informazioni ricercate) è il Sottoprogetto SP4 “Compatibilità delle attività estrattive” dell'Autorità del Bacino del fiume Po (1995) ed 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.

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 studio, 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 studio 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 TRASPORTO FONDO
	[mc]	[mc]
PO monte	110'000	129'021
STURA LANZO	114'000	30'606
MALONE	130'000	5'500
ORCO	132'000	16'510
DORA BALTEA	146'000	102'631
STURA MONF.	175'000	4'400
SESIA	196'000	84'787
ROTALDO	205'000	2'200
GRANA	213'000	2'200

Tabella 2.7 – Apporto solido medio annuo proveniente dagli affluenti

I dati sopra calcolati non risultano temporalmente omogenei con l'orizzonte temporale del presente studio (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 periodo 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 suddetta piena, pari all'apporto medio annuo. Pertanto si è considerato un fattore pari a 1.1 per passare dal dato medio annuo del sottoprogetto SP4 al valore medio annuo corretto per l'apporto delle due piene straordinarie.

Apporti da sospensione

Dalle analisi granulometriche svolte per il presente programma generale sulle barre e nell'alveo sono emersi i seguenti dati:

- le forme di deposito sono costituite, oltre che dal materiale più grossolano, costituente il "carico di fondo" del Po, anche da materiali che in particolari condizioni idrauliche vengono veicolati in sospensione e che possono però essere depositati sul fondo al mutare delle condizioni idrauliche stesse (diverse fasi di un evento di piena). I risultati conseguiti attraverso le analisi granulometriche dei sedimenti hanno evidenziato che tali materiali hanno una composizione granulometrica il cui limite superiore si attesta intorno a 0,35 – 0,40 mm;
- i suddetti sedimenti si riscontrano, oltre che nei depositi di barra e di fondo alveo (matrice delle ghiaie e depositi superficiali sabbiosi, con granuli di dimensioni minori di 0,42 mm circa), anche come incremento volumetrico per innalzamento del piano campagna delle barre alte, in continuità morfologica con la golena (in generale sabbie fini e molto fini) e come riempimento di canali abbandonati;
- sulla base di quanto sopra è necessario impostare un termine di bilancio che tenga conto degli apporti solidi nelle forme di fondo derivate dalla sedimentazione di parte del carico sospeso in determinate condizioni idrauliche della corrente fluviale.

Sulla base dei risultati ottenuti, la quantificazione dell'apporto di materiale proveniente dalla sedimentazione di materiale sospeso può essere ottenuta sommando le diverse componenti sabbiose sopra descritte, sulla base del seguente schema:

Volume sedimentato da sospensione = Volume depositi di canale + Volume depositi su barre alte preesistenti al 1982 + 5% Volume barre.

Questa quantificazione è un'approssimazione del fenomeno ottenuta sulla base dei dati ad oggi disponibili. Un risultato più affidabile potrà essere ottenuto sulla base di informazioni litologiche e granulometriche relative sia agli apporti degli affluenti, sia ai depositi del Po, valutati su un congruo numero di campioni rappresentativi, oltre che sulla base di misure di portata solida in sospensione.

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.

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 la sede AIPO di Alessandria.

	AIPO Alessandria
<i>prog. Iniziale</i>	<i>150'000</i>
<i>prog. Finale</i>	<i>224'000</i>
	74'000
	[mc]
1982	
1983	
1984	
1985	45'100
1986	32'250
1987	14'250
1988	37'000
1989	
1990	
1991	
1992	31'000
1993	
1994	
1995	2'000
1996	36'900
1997	
1998	
1999	
2000	17'100
2001	5'000
2002	2'000
2003	
m3 tot	222'600
m3/m tot	3.01
m3/m anno	0.15

Tabella 2.8 – Estrazioni di inerti secondo i dati di concessione recuperati presso sedi AIPO

2.4.10 Il bilancio del trasporto solido

In base a quanto definito nei precedenti paragrafi, nel grafico di Figura 2.24 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 al fondo da affluenti;
- apporto da sedimentazione di materiale in sospensione;
- estrazioni di inerti dall'alveo;
- 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/anno) che è transitata nella detta sezione.

Procedendo da monte verso valle, emergono le seguenti considerazioni:

- il "tratto omogeneo 1", compreso dalla confluenza con lo Stura di Lanzo (progr. km 114,00) fino alla confluenza con i torrenti Malone e Orco (progr. km 131,00 circa), presenta una portata di trasporto solido al fondo sostanzialmente costante, compresa tra circa 120'000 m³/anno e 180'000 m³/anno. Tali valori sono sostanzialmente pari all'apporto solido del Po a monte della confluenza con lo Stura di Lanzo (circa 130'000 m³/anno), questo significa che le dinamiche in atto nel tratto sono in equilibrio. Si segnala, tra l'altro, che i volumi in gioco tra erosioni, depositi ed apporti esterni, sono ridotti;
- il "tratto omogeneo 2", compreso tra le confluenze con i torrenti Malone e Orco (prog. km 131,00) e la confluenza con la Dora Baltea (prog. km 147,00), presenta un andamento della portata di trasporto solido al fondo in aumento lungo la progressiva, passando da valori minimi pari a circa 200'000 m³/anno a valori massimi pari a circa 630'000 m³/anno (considerando anche l'apporto concentrato della Dora Baltea). Tale andamento della portata solida è dovuto prevalentemente all'azione erosiva che si esercita lungo le sponde, sulle barre e sul fondo alveo;
- il "tratto omogeneo 3", compreso tra la confluenza con la Dora Baltea (prog. km 147,00) e la località S. Maria, a monte di Palazzolo Vercellese (progr. km 158,00), è caratterizzato inizialmente, fino alla progr. 151,00 (ponte di Crescentino), da una portata solida costante, pari a circa 650'000 m³/anno. Dal ponte di Crescentino fino alla prog. 158,00 circa si ha una progressiva riduzione della portata solida fino a valori di circa 490'000 m³/anno. Tale riduzione è imputabile prevalentemente al deposito lungo il fondo alveo, in quanto le dinamiche evolutive in atto nelle forme di fondo (erosioni e depositi di barre e sponde) sono tra loro in equilibrio;
- il "tratto omogeneo 4", compreso tra la progressiva km 158,00 (località S. Maria) e la progressiva km 182,00 circa (Casale Monferrato), presenta un andamento della portata di trasporto solido al fondo in aumento lungo la progressiva da valori minimi pari a circa 490'000 m³/anno a valori massimi pari a circa 1'050'000 m³/anno. Tale andamento della portata solida è dovuto

prevalentemente all'azione erosiva lungo il fondo alveo. Come descritto in precedenza, lungo tale tratto l'alveo di magra presenta attualmente sul fondo estesi affioramenti di substrato pre-quadernario, pertanto la mobilità verticale dell'alveo appare confinata attorno ad una quota di equilibrio tra processi di deposito e processi di erosione: i fenomeni erosivi riscontrati tra il 1999 e il 2004 potrebbero quindi essere legati all'asportazione di materiale depositatosi sul fondo alveo prima del 1999;

- il "tratto omogeneo 5", compreso tra Casale Monferrato (progr. km 182,00) e la confluenza con il Fiume Sesia (progr. km 197,00), è caratterizzato inizialmente, fino alla progr. 190,00 circa (a monte di Frassineto Po), da una portata solida costante, pari a circa 1'050'000 m³/anno. Tale circostanza deriva da un sostanziale equilibrio delle dinamiche in atto nelle forme di fondo (barre e sponde), dalla sostanziale stabilità delle quote di fondo alveo e dall'assenza di apporti esterni. Da Frassineto Po fino alla confluenza con il F. Sesia, invece, si ha un progressivo incremento della portata solida fino a valori di circa 1'250'000 m³/anno (comprensivo dell'apporto solido del F. Sesia). Tale incremento, a fronte di un sostanziale equilibrio delle dinamiche in atto nelle forme di fondo (barre e sponde), deriva prevalentemente dall'erosione verificatasi lungo il fondo alveo;
- il "tratto omogeneo 6", compreso tra la confluenza Sesia (progr. km 197,00) e la confluenza con il F. Tanaro (progr. km 224,00), è caratterizzato da un progressivo incremento della portata solida lungo la progressiva, da un valore minimo di circa 1'250'000 m³/anno (confluenza Sesia), fino ad un valore massimo di circa 2'000'000 m³/anno (confluenza Tanaro). L'incremento massimo si verifica nella zona a monte del ponte di Valenza. L'aumento della portata solida deriva dalla prevalenza di dinamiche erosive rispetto a quelle deposizionali, con particolare riferimento a quelle in atto lungo il fondo alveo.

In sintesi si rileva che il Po, nel tratto in studio, presenta un progressivo incremento della portata solida, da un minimo di 120'000 m³/anno (tra Stura di Lanzo e Malone) fino ad un valore massimo di circa 1'950'000 m³/anno (confluenza Tanaro). Solo un tratto limitato, localizzato a valle della confluenza della Dora Baltea e lungo circa 15 km, presenta una riduzione della portata solida trasportata verso valle.

Si sottolinea che l'incremento di circa 1'850'000 m³/anno è così ripartito:

- 800'000 m³/anno (43%) derivante da dinamiche evolutive in atto lungo il fondo alveo;
- 600'000 m³/anno (32%) da apporti esterni;
- 450'000 m³/anno (25%) da dinamiche evolutive in atto relativamente alle forme di fondo (barre, sponde).

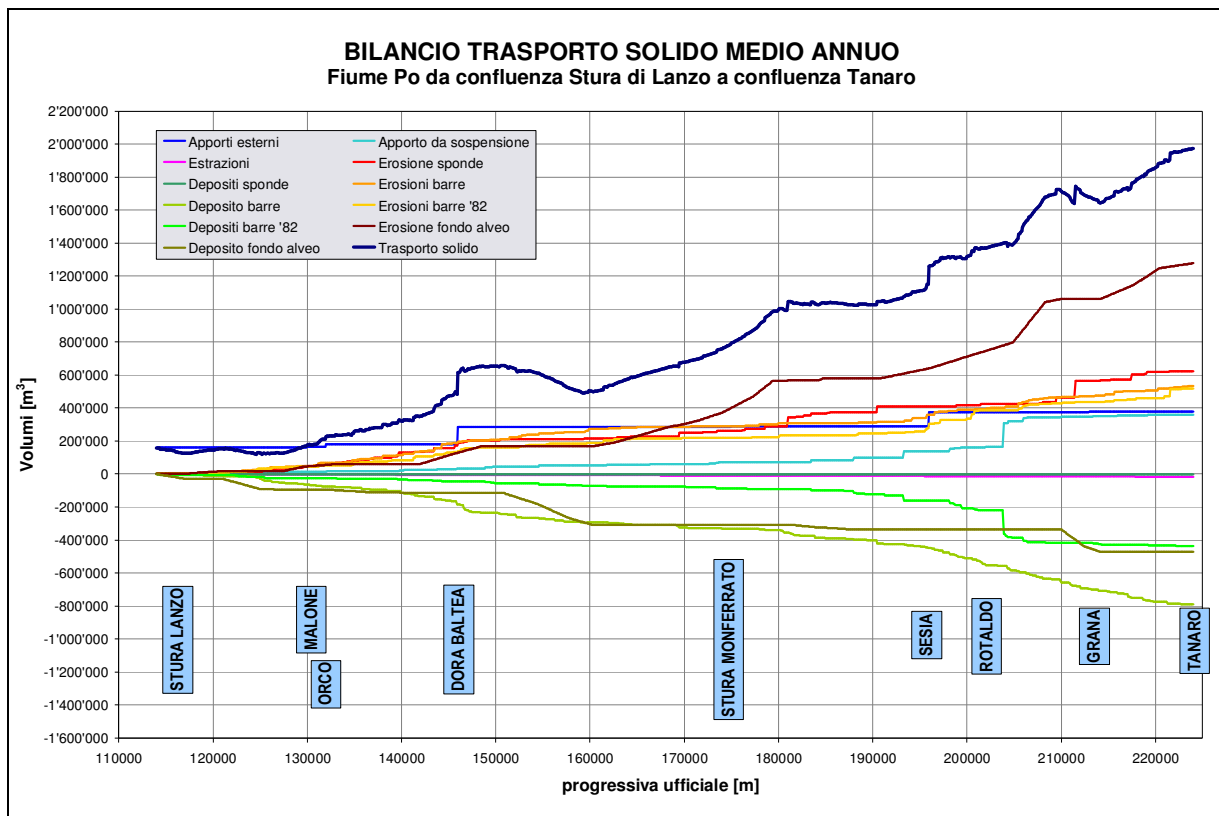


Figura 2.24 – Diagramma del bilancio del trasporto solido (1982 – 2002)

3 Il Programma generale dei sedimenti

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

3.1.1 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 2) e in una cartografia tematica, in scala 1:25'000, (Allegato 3), 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 (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 1999 – 2004;
- 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 seguente viene riportata la legenda della cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua



Figura 3.1 – 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.

3.1.2 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 di alcune sezioni, 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 1999 e il 2004 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 1999 e il 2004 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 1999 e il 2004 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 talweg 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 3.2 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.

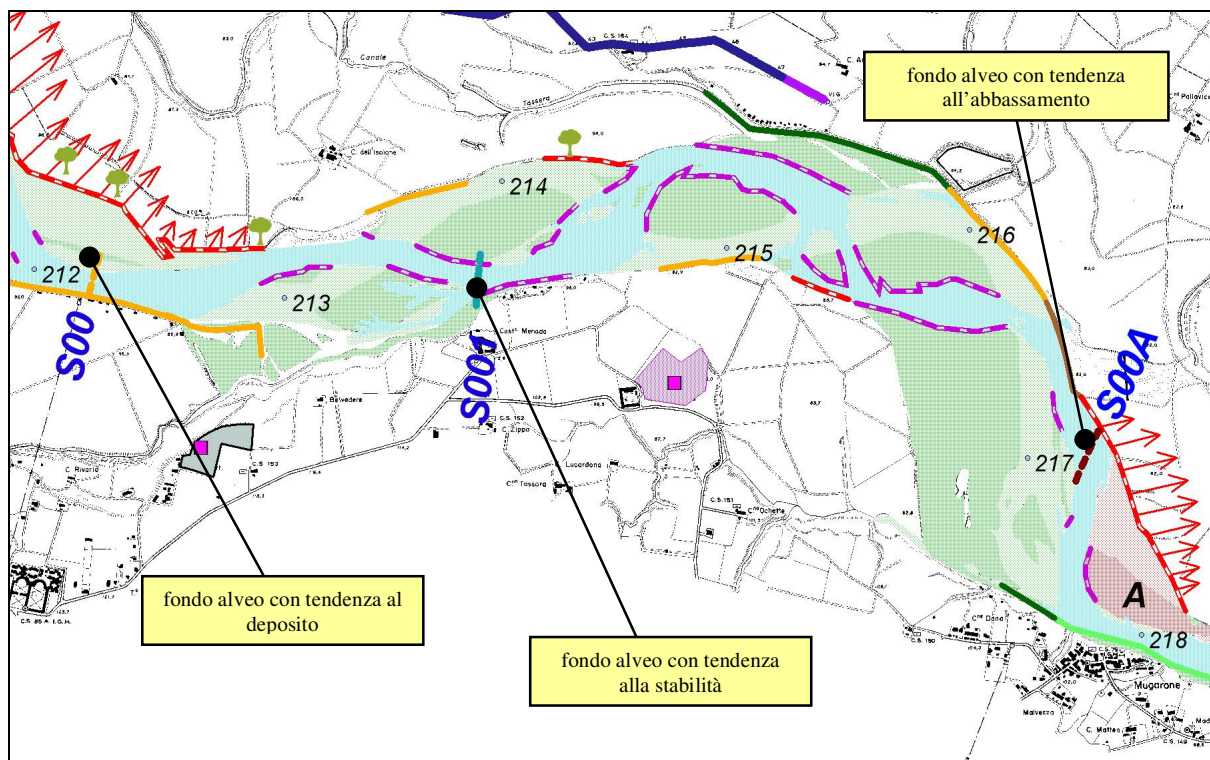


Figura 3.2 - Cartografia assetto attuale con caratterizzazione fondo alveo

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

Ad ogni forma di fondo (barra) è stato attribuito un giudizio relativamente al fatto che la stessa 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'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 3.3 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.

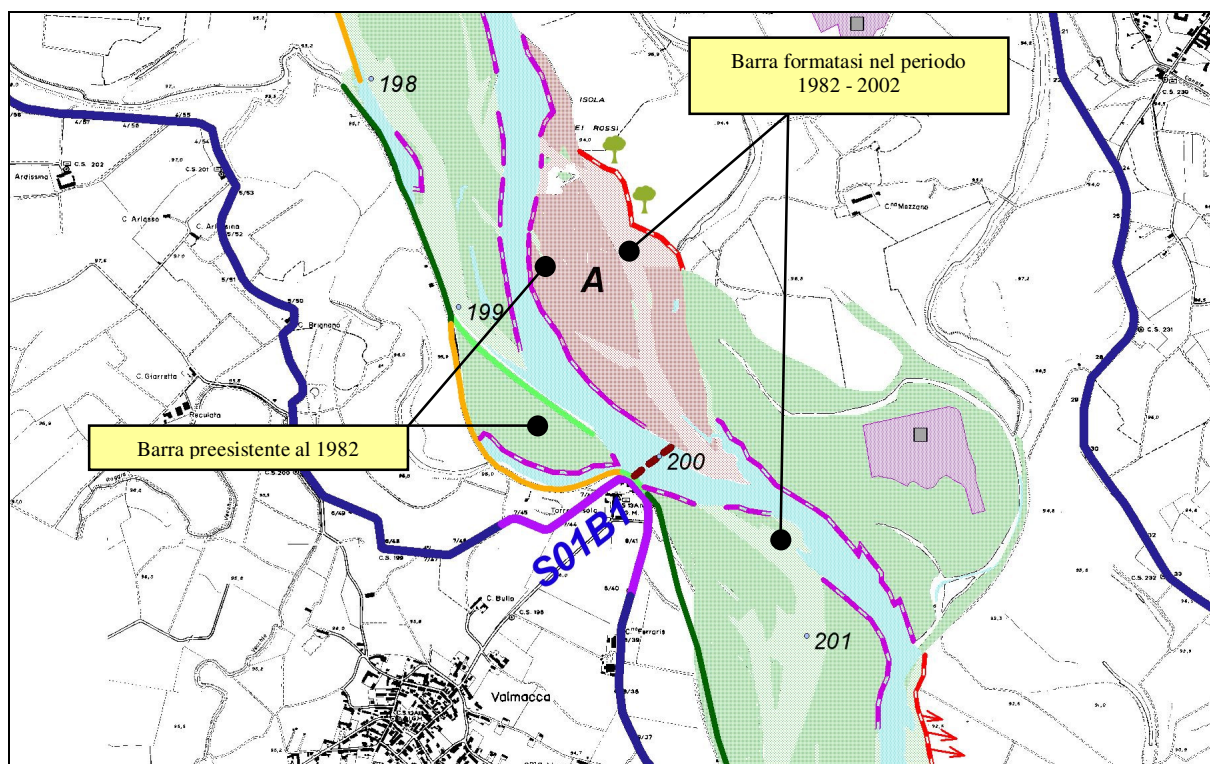


Figura 3.3 - Cartografia assetto attuale con caratterizzazione forme di fondo

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 la capacità idraulica dell’alveo inciso.

I fenomeni erosivi

Per quanto riguarda i fenomeni di erosione verificatisi nel periodo 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 periodo 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;

- Nella Figura 3.4 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.

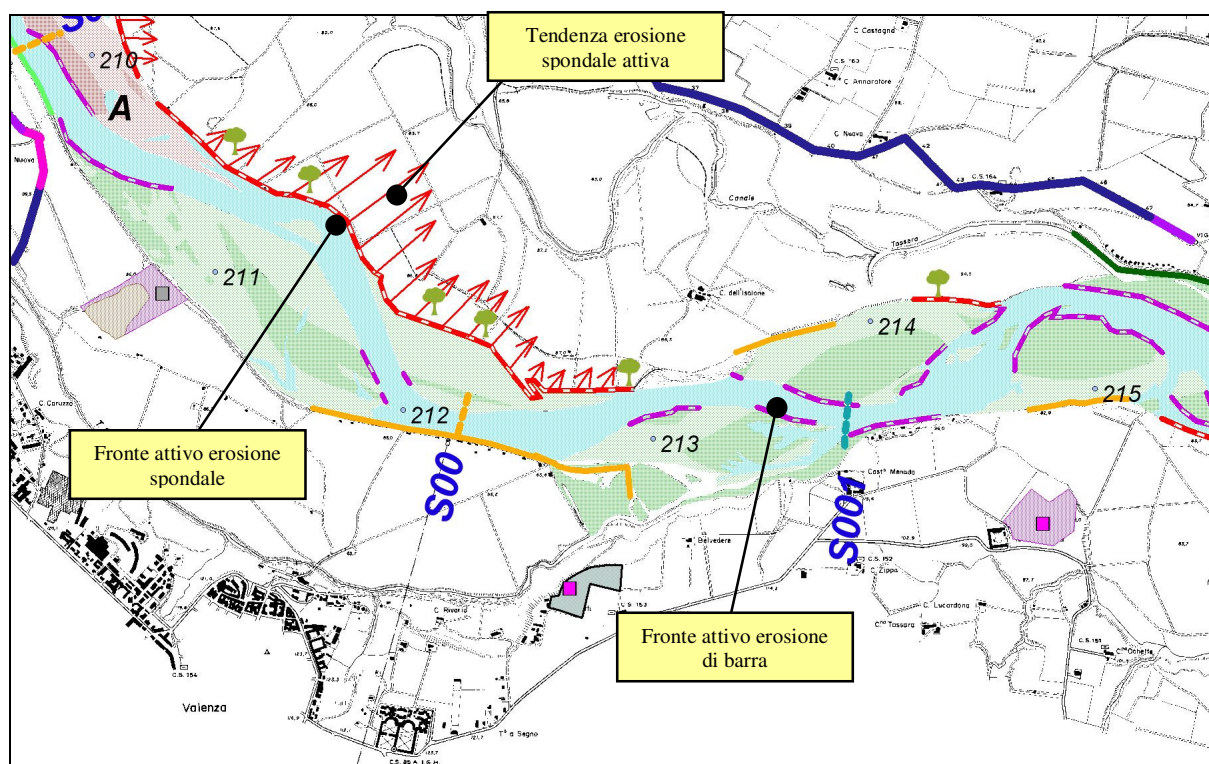


Figura 3.4 - Cartografia assetto attuale con caratterizzazione fenomeni erosivi

3.1.3 Il sistema difensivo

Gli argini

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

Mentre gli argini secondari sono presenti solo saltuariamente laddove più intense si sono manifestate nel tempo le richieste di protezione rispetto alle piene più frequenti, le arginature principali sono presenti nelle zone in cui è necessario soddisfare le esigenze di difesa degli abitati, degli insediamenti e delle proprietà terriere. Pertanto i tracciati degli argini principali presentano sovente andamenti assai poco giustificabili dal punto di vista idraulico, con molte tortuosità, angolature e restringimenti che inducono criticità idrauliche assai spinte.

Ovviamente gli argini principali 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 sull'intera asta fluviale (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 principali 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 principale arretrato ($d > 200$ m) rispetto alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale, pari a quella registrata nel periodo 1982 – 2005;
- argine principale 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 principale 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 110 km di fiume Po in studio sono presenti, complessivamente in sponda sinistra ed in sponda destra, circa 111 km di arginature principali, 7 dei quali da demolire, che verranno sostituiti con altre arginature con conseguenti modifiche della fascia B. Sono inoltre previsti circa 5 km di nuovi argini. Gli argini esistenti e confermati sono stati classificati secondo le tre tipologie prima indicate:

- 81 km di tipo arretrato (78% del totale);
- 21 km di tipo prossimo e protetto (20% del totale);
- 2 km di tipo prossimo non protetto (2% del totale).

L'ultima tipologia di argini rappresenta una criticità, in quanto l'azione dell'acqua risulta essere prossima al corpo arginale, mentre la seconda tipologia 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 3.5 è ripotato uno stralcio della cartografia dell'assetto attuale, nel quale sono evidenziati le tre tipologie con le quali sono stati classificati gli argini maestri.

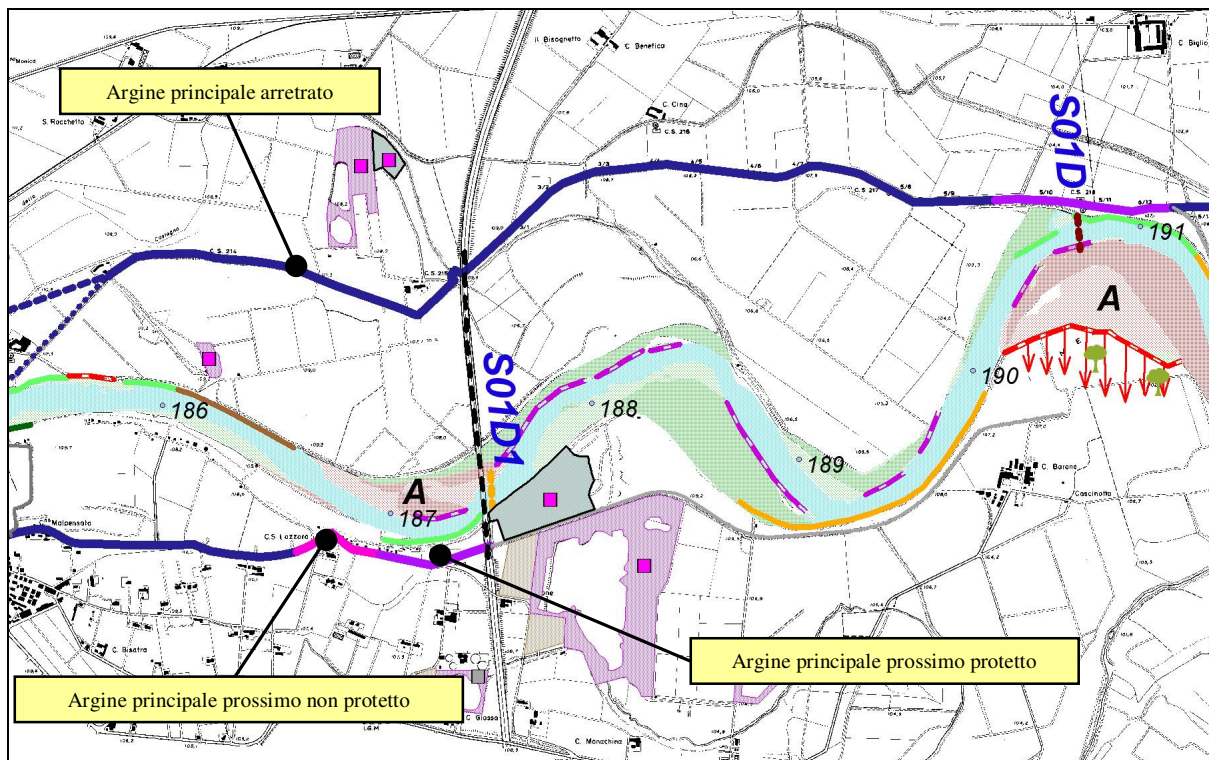


Figura 3.5 – Cartografia assetto attuale con caratterizzazione argini maestri

Le opere di difesa spondale

Lungo l'asta del Po in esame sono presenti diverse opere di difesa, 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. In ogni caso è da sottolineare l'elevata influenza determinata da tali infrastrutture sulle caratteristiche morfologiche e idrauliche locali, tanto che in molti casi l'andamento dell'alveo inciso ne risulta oggi decisamente vincolato e canalizzato.

Pertanto le difese spondali sono state considerate nel presente studio 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 sono state classificate in tre tipologie differenti:

- opere strategiche soggette a sollecitazioni critiche: 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 critiche: 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 principali, 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 principali, 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 110 km di fiume Po compresi nel tratto in studio sono presenti, complessivamente in sponda sinistra ed in sponda destra, circa 113 km di opere di difesa, suddivise nelle seguenti tipologie:

- 74 km di opere strategiche (65% del totale), di cui:
 - 44 km soggette a sollecitazioni critiche (39% del totale);
 - 30 km non soggette a sollecitazioni critiche (26% del totale);
- 39 km di opere non strategiche (35% del totale), di cui:
 - 4 km che inducono sollecitazioni su opere strategiche (4% del totale);
 - 35 km che non inducono sollecitazioni su opere strategiche (31% del totale).

Nella Figura 3.6 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.

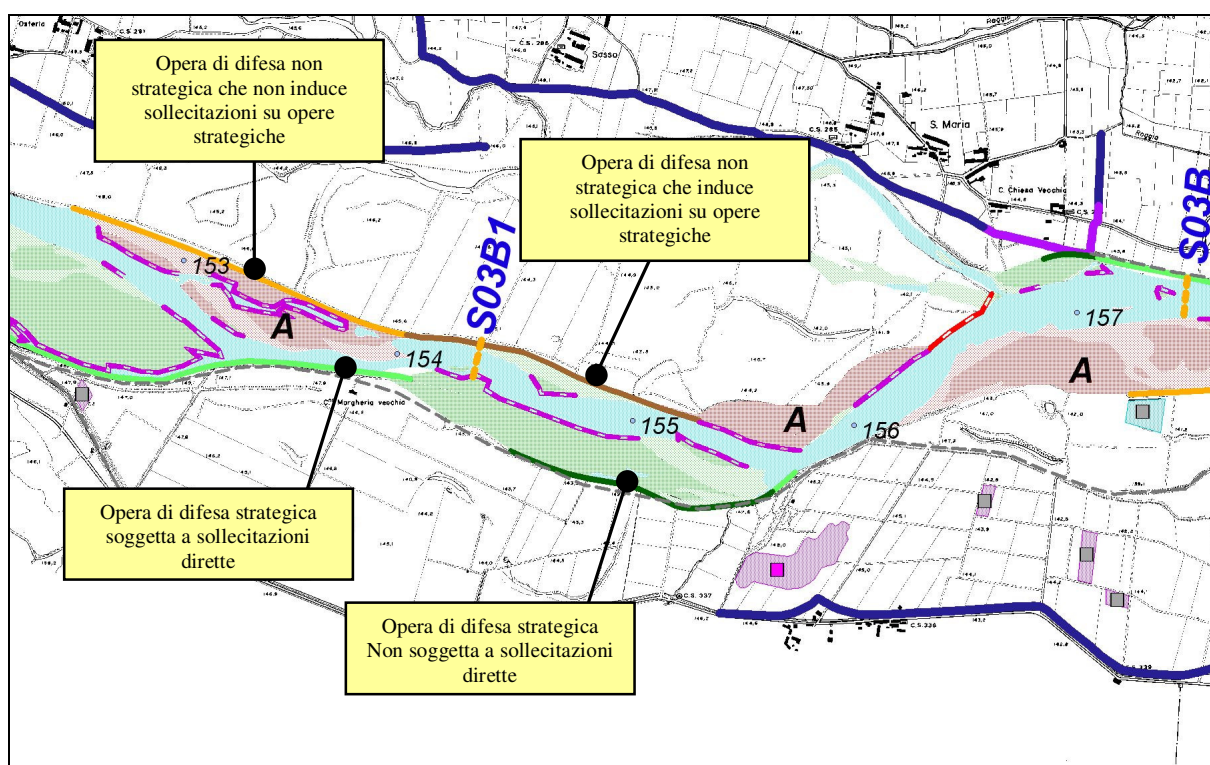


Figura 3.6 –Cartografia assetto attuale con caratterizzazione opere di difesa

3.1.4 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:

- 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:

- 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.

Derivazioni idriche

Lungo il tratto di Po in studio sono presenti alcuni impianti di derivazione. In particolare, a fini irrigui, è presente l'opera di presa del Canale Cavour del Consorzio di Bonifica Ovest Sesia e l'opera di presa del Canale Lanza a Casale Monferrato (AL), mentre per fini idroelettrici sono presenti due opere di presa: la prima localizzata appena a valle della confluenza tra il Po e lo Stura di Lanzo in sponda sinistra, in comune di Torino (prog. km 114), mentre la seconda è ubicata a San Mauro Torinese (TO) in sponda destra (prog. km 117).

Tutte le opere di presa (irrigue e idroelettriche) assumono un aspetto rilevante per quanto riguarda la dinamica del Po, dal momento che ognuna di essa presenta un'opera trasversale in alveo. Nelle foto seguenti sono riportate alcune delle opere di presa sopraccitate.



Foto 1 – Opera di presa Canale Cavour



Foto 2 – Opera di presa idroelettrica San Mauro Torinese

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, tanto che nelle aree del Po è fiorente un tradizionale e significativo settore industriale dei prefabbricati in calcestruzzo.

Dal punto di vista fluviale l'estrazione di inerti spinta a valori eccessivi e non compatibili con l'equilibrio morfologico del Po, pari cioè a valori maggiori di quelli consentiti dal bilancio del trasporto solido, ha prodotto, in combinazione con altri fattori di antropizzazione dell'alveo (protezioni spondali, sbarramenti, derivazioni, ecc.) o naturali, un sensibile abbassamento dell'alveo di magra del Po. Tale squilibrio è regredito a seguito della decisione intervenuta negli anni '80 del secolo scorso di impedire ogni attività estrattiva a meno di quelle strettamente giustificate da fattori idraulici.

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.

Opere di attraversamento

L'alveo del fiume Po nel tratto analizzato nel presente studio è attraversato da 14 importanti ponti viabilistici o ferroviari. Si tratta di infrastrutture che evidentemente

devono considerarsi strategiche per la loro funzione. I manufatti di attraversamento presenti sono riportati nella Tabella 3.1.

	Attraversamento	Località	Sez.	Progressiva [km]
1	Ponte-traversa AEM	Torino	06A	113.9
2	Ponte San Mauro Torinese	San Mauro Torinese (TO)	05B2	117.1
3	Ponte S.S. 590	San Mauro Torinese (TO)	05B1E	117.2
4	Ponte S.P. 92	Settimo Torinese (TO)	05B1	120.9
5	Ponte S.S. 26	Chivasso (TO)	0501	132.7
6	Ponte F.S. Chivasso – Asti	San Sebastiano Po (TO)	04B1	136.6
7	Ponte S.P. 94	San Sebastiano Po (TO)	04BB	137.4
8	Ponte S.P. 107	Crescentino (VC)	03B2	151.0
9	Ponte S.P. 7	Trino (VC)	03_1	168.3
10	Ponte ex S.S. 455	Pontestura (AL)	02A 1	173.9
11	Ponte S.S. 31 bis	Casale Monferrato (AL)	02_1	184.1
12	Ponte F.S.	Casale Monferrato (AL)	01D2	184.5
13	Ponte A26	Casale Monferrato (AL)	01D1	187.4
14	Ponte F.S. e ex S.S. 494	Valenza (AL)	01 A	208.1

Tabella 3.1 – Attraversamenti presenti lungo il fiume Po fra fra Stura di Lanzo e Tanaro

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.



Foto 3 - Ponte SS26 (Chivasso)

3.1.5 L'indicatore del Trasporto Solido

Per quanto riguarda i fenomeni di trasporto solido, nella cartografia dell'assetto attuale è riportato, per tratti omogenei, un indicatore di sintesi delle analisi sul bilancio del trasporto solido precedentemente descritte nel documento. L'asta fluviale è stata in particolare suddivisa in:

- tratti con tendenza globale al deposito, in cui si riscontra una progressiva riduzione della portata solida;
- tratti con tendenza globale all'equilibrio, in cui si riscontra una sostanziale invariabilità della portata solida;
- tratti con tendenza globale all'erosione, in cui si riscontra un progressivo incremento della portata solida.

La tendenza evolutiva indicata è da considerarsi come sommatoria di tutte le dinamiche in atto all'interno dell'alveo inciso (variazioni del fondo alveo; erosione e formazione di forme di fondo - barre ed isole; fenomeni di avanzamento ed arretramento di sponde) e degli scambi con l'esterno (apporti ed estrazioni).

3.1.6 Sintesi dell'assetto attuale del corso d'acqua

In seguito all'analisi dei diversi elementi che, in base a quanto specificato nel capitolo precedente, concorrono a rappresentare lo stato attuale del corso d'acqua (presenza di usi antropici, ponti, argini, stato delle opere di difesa, dinamiche in atto nell'alveo 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 Stura di Lanzo a Malone-Orco

Il tratto 1, compreso tra foce Stura di Lanzo (km 114) e confluenza con i torrenti Orco e Malone (km 131), presenta il seguente assetto:

- alveo inciso:
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato da un'alternanza di tratti in erosione e di tratti in deposito (variazioni massime di ± 1.5 m). Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 8 serie di sezioni;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di forme di fondo, alcune delle quali indirizzano la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione e la caratterizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: l'intero tratto è interessato da fenomeni erosivi. Quelli più intensi si sono verificati nel tratto tra Settimo Torinese e la confluenza con i torrenti Malone e Orco;
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è discontinuo e frammentato. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m), sono ubicati in modo diffuso prevalentemente nei pressi dei principali centri abitati: San Mauro Torinese e Settimo Torinese. Tali arginature sono protette da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi);
 - opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto sono presenti opere di difesa longitudinale. 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 due opere di presa a fini idroelettrici: la prima localizzata appena a valle della confluenza tra il Po e lo Stura di Lanzo in sponda sinistra, in comune di Torino (prog. km 114), mentre la seconda è ubicata a San Mauro Torinese (TO) in sponda destra (prog. km 117). 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 4 manufatti di attraversamento (ponte-traversa AEM, i due ponti di San Mauro Torinese e il ponte della S.P. 92 a Settimo Torinese);
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a determinare una portata solida al fondo sostanzialmente costante, compresa tra circa 120'000 m³/anno e 180'000 m³/anno. Tali valori sono sostanzialmente pari all'apporto solido del Po a monte della confluenza con lo Stura di Lanzo (circa 130'000 m³/anno), questo significa che le dinamiche in atto nel tratto sono in equilibrio. Si segnala, tra l'altro, che i volumi in gioco tra erosioni, depositi ed apporti esterni, sono ridotti.

Tratto 2 - da Malone-Orco alla Dora Baltea

Il tratto 2, compreso tra la confluenza con i torrenti Orco e Malone (km 131) e la foce della Dora Baltea (km 147), presenta il seguente assetto:

- alveo inciso:
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato da un'alternanza di tratti in erosione e tratti in deposito (variazioni contenute entro 1.0 m). Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 6 serie di sezioni;

- depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di forme di fondo, alcune delle quali indirizzano la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione e la caratterizzazione di tali forme di fondo;
- fenomeni erosivi: l'intero tratto è interessato da intensi fenomeni erosivi lungo entrambe le sponde;
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è discontinuo ed è ubicato nei pressi degli abitati di Chivasso e di Verolengo. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi), a parte un tratto in sponda sinistra a valle di Verolengo, davanti al quale è presente una barra molto ampia (l'alveo di magra dista dall'argine circa 1 km);
 - opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto sono presenti opere di difesa longitudinali. 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 è presente l'opera di presa irrigua del Canale Cavour. Nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di pioppeti a tergo di una sponda in erosione attiva, in sinistra idraulica a monte della confluenza con la Dora Baltea. All'interno del tratto sono presenti 3 manufatti di attraversamento (S.S. 26 a Chivasso, ponte ferroviario linea Chivasso-Asti, S.P. 94 San Sebastiano);
- trasporto solido: l'analisi del bilancio del trasporto solido ha portato a determinare una portata solida al fondo in aumento lungo la progressiva, da valori minimi pari a circa 200'000 m³/anno fino a valori massimi pari a circa 630'000 m³/anno (considerando anche l'apporto concentrato della Dora Baltea). Tale andamento della portata solida è dovuto prevalentemente all'azione erosiva che si esercita lungo le sponde, sulle barre e sul fondo alveo.

Tratto 3 - da Dora Baltea a località S. Maria

Il tratto 3, compreso tra la confluenza con la Dora Baltea (km 147) alla località S. Maria (km 160, a monte di Palazzolo Vercellese), presenta il seguente assetto:

- alveo inciso:
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato da un innalzamento delle quote di fondo medio (valore massimo pari a 1.5 m). Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 5 serie di sezioni;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di forme di fondo, alcune delle quali indirizzano la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione e la caratterizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: l'intero tratto è interessato da ridotti fenomeni erosivi lungo entrambe le sponde. L'unico fenomeno rilevante si è manifestato a monte del ponte di Crescentino, in sponda destra.
- sistema difensivo:

- argini: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo in sponda sinistra, mentre in sponda destra è praticamente assente, fatto salvo un tratto di circa 3 km ubicato nei comuni di Moncestino e Gabiano (AL). I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi);
- opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto sono presenti opere di difesa longitudinali. 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 opere non strategiche in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche (dal km 154 al km 155 in sponda sinistra);
- pressione antropica: all'interno del tratto non sono presenti opere di presa. Nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di pioppeti a tergo di alcune sponde in erosione attiva. All'interno del tratto è presente un manufatto di attraversamento (S.P. 107 a Crescentino);
- trasporto solido: il tratto è caratterizzato inizialmente, fino alla progr. 151,00 (ponte di Crescentino), da una portata solida costante, pari a circa 650'000 m³/anno. Dal ponte di Crescentino fino alla fine del tratto si ha una progressiva riduzione della portata solida fino a valori di circa 490'000 m³/anno. Tale riduzione è imputabile prevalentemente al deposito lungo il fondo alveo, in quanto le dinamiche evolutive in atto nelle forme di fondo (erosioni e depositi di barre e sponde) sono tra loro in equilibrio.

Tratto 4 – da località S. Maria a Casale Monferrato

Il tratto 4, compreso tra la località S. Maria (km 160, a monte di Palazzolo Vercellese) e Casale Monferrato (km 182) presenta il seguente assetto:

- alveo inciso
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato da un abbassamento del fondo alveo (valore massimo pari a circa 1.5 m). 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 da una ridotta presenza di forme di fondo, di cui solo una (sponda destra a monte di Palazzolo Vercellese) indirizza la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione e la caratterizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: l'intero tratto è interessato da fenomeni erosivi lungo entrambe le sponde. I fenomeni maggiori si sono verificati in sponda destra presso la località Villanova (km 169, comune di Camino) e in sponda sinistra a monte di Casale Monferrato tra la prog. km 180 e 182;
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo in sponda sinistra, mentre è assente in sponda destra. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi);
 - opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto sono presenti opere di difesa longitudinali. 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 un'opera non strategica in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche (intorno al km 171 in sponda sinistra);

- pressione antropica: all'interno del tratto è presente un'opera di presa irrigua del Canale Lanza a Casale Monferrato (AL), prog. km 181. Nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di pioppeti a tergo di alcune sponde in erosione attiva. All'interno del tratto sono presenti due manufatti di attraversamento (S.P. 7 a Trino e S.P. 457 a Pontestura);
- trasporto solido: il tratto presenta un andamento della portata solida al fondo in aumento lungo la progressiva da valori minimi pari a circa 490'000 m³/anno a valori massimi pari a circa 1'050'000 m³/anno. Tale andamento della portata solida è dovuto prevalentemente all'azione erosiva lungo il fondo alveo. Lungo tale tratto l'alveo di magra presenta attualmente sul fondo estesi affioramenti di substrato pre-quadernario, pertanto la mobilità verticale dell'alveo appare confinata attorno ad una quota di equilibrio tra processi di deposito e processi di erosione. I fenomeni erosivi riscontrati tra il 1999 e il 2004 potrebbero quindi essere legati all'asportazione di materiale depositatosi sul fondo alveo prima del 1999.

Tratto 5 – da Casale Monferrato a confluenza Sesia

Il tratto 5, compreso tra Casale Monferrato (km 182) e la confluenza con il fiume Sesia (km 197) presenta il seguente assetto:

- alveo inciso
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato in prevalenza da fenomeni di erosione del fondo alveo (valore massimo di circa 1 m). Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 6 serie di sezioni;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di forme di fondo, alcune delle quali indirizzano la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione e la caratterizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: l'intero tratto è interessato da alcuni fenomeni erosivi lungo entrambe le sponde. I fenomeni maggiori si sono verificati in sponda sinistra nei pressi di Casale Monferrato ed in sponda destra a monte di Frassineto Po (km 191).
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo lungo entrambe le sponde, fatta eccezione per due tratti, uno in sponda destra tra il ponte dell'Autostrada A26 e Frassineto Po e uno in sponda sinistra a monte della confluenza con il fiume Sesia. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi), a parte alcuni tratti in sponda destra nei pressi di Casale Monferrato (km 183 e km 187): la sponda risulta essere stabile nell'ultimo ventennio, pertanto non si propone di intervenire con opere strutturali, ma piuttosto con un monitoraggio frequente sullo stato di consistenza delle sponde;
 - opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto sono presenti opere di difesa longitudinali. 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 un'opera non strategica in grado di indurre sollecitazioni critiche su opere strategiche (km 186 in sponda sinistra);

- pressione antropica: all'interno del tratto non sono presenti opere di presa. Nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di pioppeti a tergo di alcune sponde in erosione attiva. All'interno del tratto sono presenti tre manufatti di attraversamento (due a Casale Monferrato, SS31bis e ponte ferroviario, e il ponte dell'autostrada A26);
- trasporto solido: il tratto è caratterizzato inizialmente, fino alla progr. 190,00 circa (a monte di Frassineto), da una portata solida costante, pari a circa 1'050'000 m³/anno. Tale circostanza deriva da un sostanziale equilibrio delle dinamiche in atto nelle forme di fondo (barre e sponde), dalla sostanziale stabilità delle quote di fondo alveo e dall'assenza di apporti esterni. Da Frassineto fino alla confluenza con il F. Sesia, invece, si ha un progressivo incremento della portata solida fino a valori di circa 1'250'000 m³/anno (comprensivo dell'apporto solido del F. Sesia). Tale incremento, a fronte di un sostanziale equilibrio delle dinamiche in atto nelle forme di fondo (barre e sponde), deriva prevalentemente dall'erosione verificatasi lungo il fondo alveo.

Tratto 6 – da Sesia a Tanaro

Il tratto 6, compreso tra foce Sesia (km 197) e foce Tanaro (km 224) presenta il seguente assetto:

- alveo inciso
 - evoluzione fondo medio alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato in prevalenza da fenomeni di erosione del fondo medio dell'alveo, ad eccezione di un sottotratto ubicato tra il ponte di Valenza e la confluenza con il T. Grana. Le variazioni del fondo medio dell'alveo sono comprese tra ± 2 m. Si segnala che i dati per la valutazione della dinamica in atto nel fondo alveo sono costituiti da 10 serie di sezioni;
 - depositi di sponda e di barra: il tratto risulta interessato dalla presenza di numerose forme di fondo molto ampie, alcune delle quali indirizzano la corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche. Si rimanda alla cartografia di dettaglio per la localizzazione e la caratterizzazione di tali forme di fondo;
 - fenomeni erosivi: l'intero tratto è interessato da fenomeni erosivi, prevalentemente in sponda sinistra. I fenomeni maggiori si sono verificati in sponda sinistra nel tratto a valle del ponte di Valenza.
- sistema difensivo:
 - argini: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo lungo entrambe le sponde, fatta eccezione per due tratti, uno in sponda sinistra nei pressi del lago di Sartinara e uno in sponda destra da Valenza fino a confluenza Tanaro. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi), a parte un tratto in sponda destra a valle del ponte di Valenza (km 210): la sponda destra risulta essere stabile nell'ultimo ventennio (erosioni presenti in sponda sinistra), pertanto non si propone di

intervenire con opere strutturali, ma piuttosto con un monitoraggio frequente sullo stato di consistenza della sponda;

- opere di difesa: all'interno del tratto in oggetto sono presenti opere di difesa longitudinali. 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;
- pressione antropica: all'interno del tratto non sono presenti opere di presa. Nelle aree golenali sono presenti alcune cave per l'estrazione di inerti, sia attive che inattive. Si segnala la presenza di pioppeti a tergo di alcune sponde in erosione attiva. All'interno del tratto è presente un manufatto di attraversamento (ponte di Valenza);
- trasporto solido: il tratto è caratterizzato da un progressivo incremento della portata solida lungo la progressiva, da un valore minimo di circa 1'250'000 m³/anno (confluenza Sesia), fino ad un valore massimo di circa 2'000'000 m³/anno (confluenza Tanaro). L'incremento massimo si verifica nella zona a monte del ponte di Valenza. L'aumento della portata solida deriva dalla prevalenza di dinamiche erosive rispetto a quelle deposizionali, con particolare riferimento a quelle in atto lungo il fondo alveo.

3.2 Gli obiettivi

3.2.1 Obiettivi generali e locali e “Cartografia degli obiettivi”

Il presente paragrafo 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 atto (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 strategiche o ad accentuare situazioni oggi ritenute non compatibili;
- il miglioramento dell'assetto morfologico, naturale ed 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 principali e secondari, quando questi ultimi costituiscano il limite di aree di laminazione controllata, opere di derivazione irrigua ed industriale, ecc.);

- opere di difesa strategiche (protezioni longitudinali delle sponde dell'alveo inciso e pennelli per la navigazione);
- fascia di salvaguardia in cui non risulta compatibile la divagazione dell'alveo inciso del fiume Po. Essa è stata tracciata in modo da tutelare il sistema degli argini principali e degli argini secondari con valenza idraulica utile al regime fluviale (aree di laminazione);
- 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 4).

Nella Figura 3.7 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.

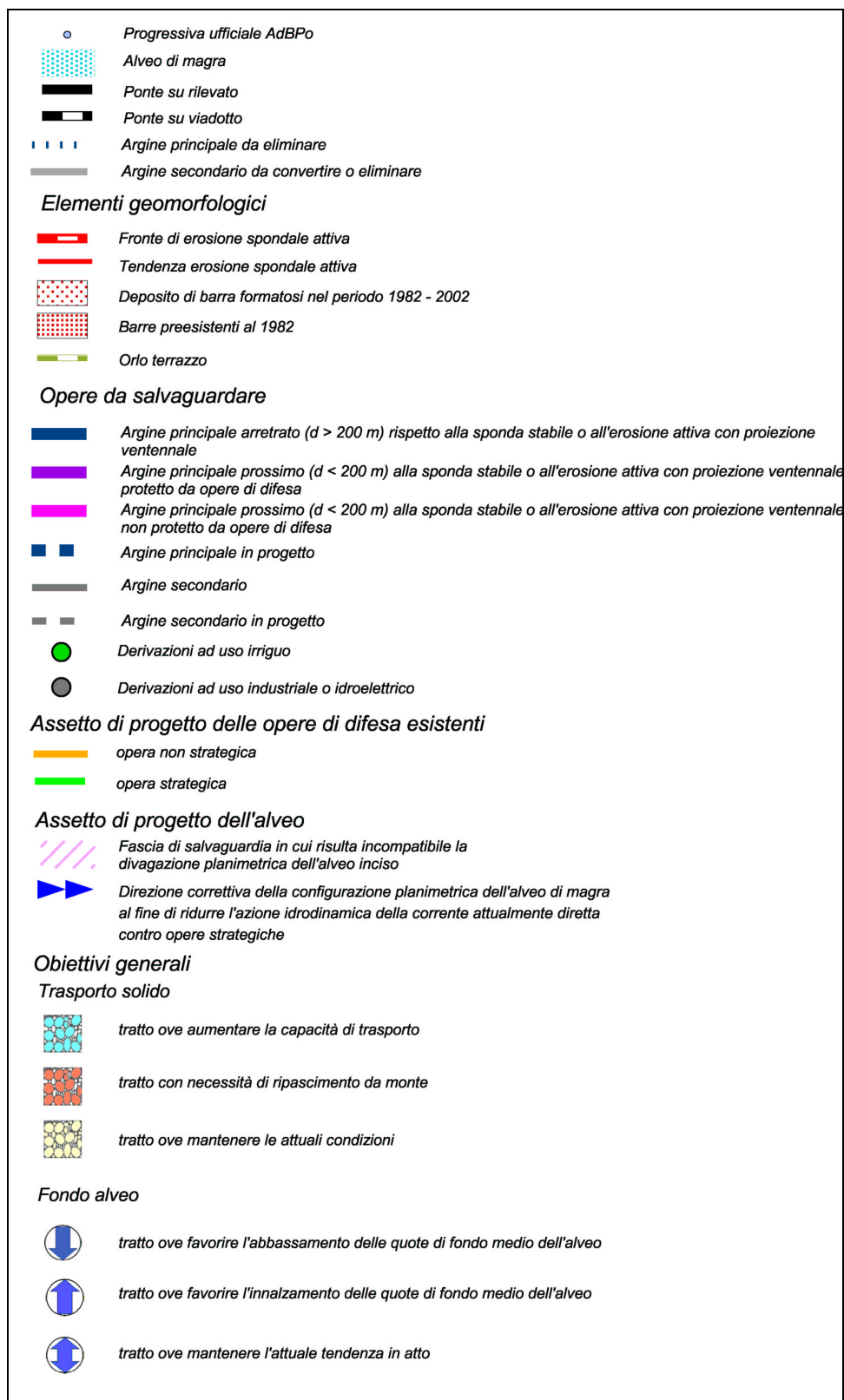


Figura 3.7 – legenda della cartografia degli obiettivi del corso d'acqua

3.2.2 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.

Per ciascuno di essi, nel seguito, vengono date alcune specificazioni, mentre nella Figura 3.8 viene riportato uno stralcio della cartografia con riportati tali obiettivi generali.

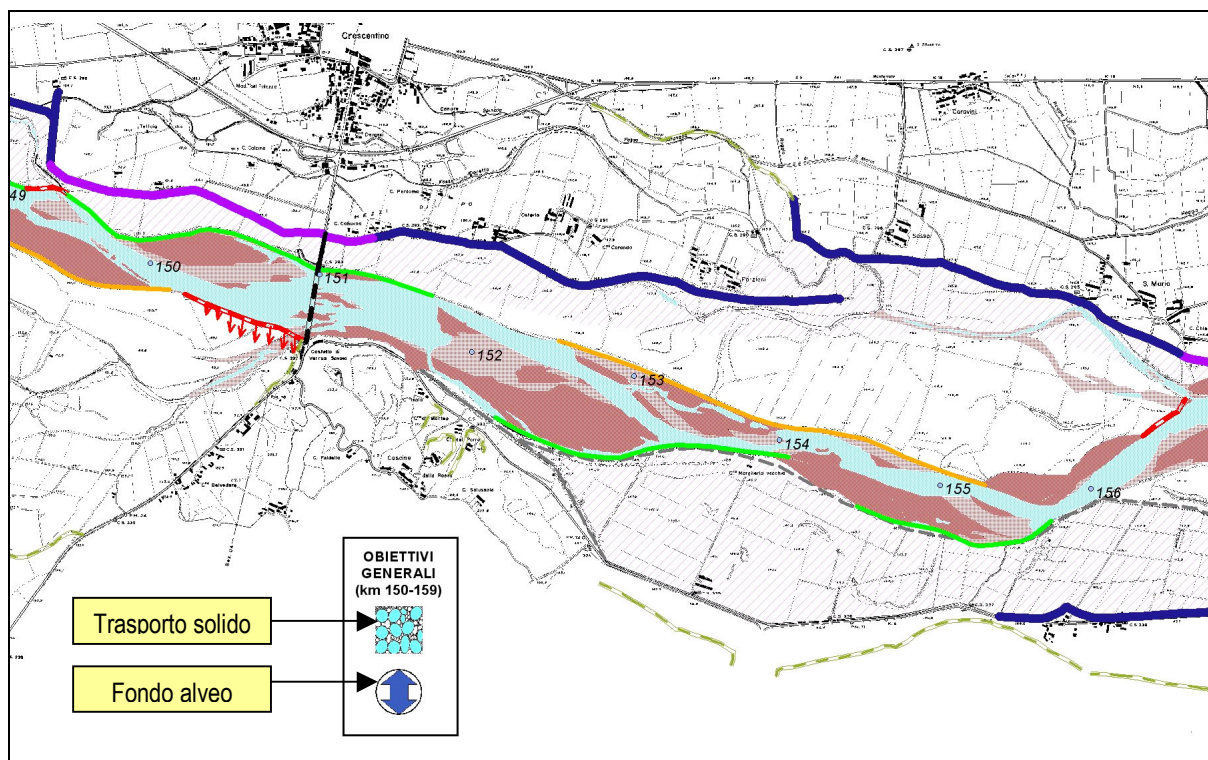


Figura 3.8 – obiettivi generali di assetto di progetto

Trasporto solido

Le valutazioni di dettaglio effettuate sulle tendenze evolutive dei singoli elementi morfologici, insieme alle valutazioni quantitative sul trasporto solido lungo il tratto in studio, 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;
- 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.

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, 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 viene fissato in quei tratti in cui l'analisi dell'assetto attuale porta a definire una tendenza all'innalzamento delle quote di fondo tali da innescare fenomeni non compatibili con l'assetto fluviale complessivo. All'interno del tratto in studio non si sono riscontrati casi per cui fosse necessario fissare il presente obiettivo;
- 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;
- 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.

3.2.3 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.). Tali obiettivi si riferiscono a:

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

Opere strategiche da salvaguardare

Tra gli obiettivi locali 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 principali;
- argini secondari con funzionalità idraulica utile al sistema fluviale;
- derivazioni irrigue ed industriali.

Gli argini principali 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 principale arretrato ($d > 200$ m) rispetto alla sponda stabile o all'erosione attiva con proiezione ventennale;
- argine principale 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 principale 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 3.9 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 principali.

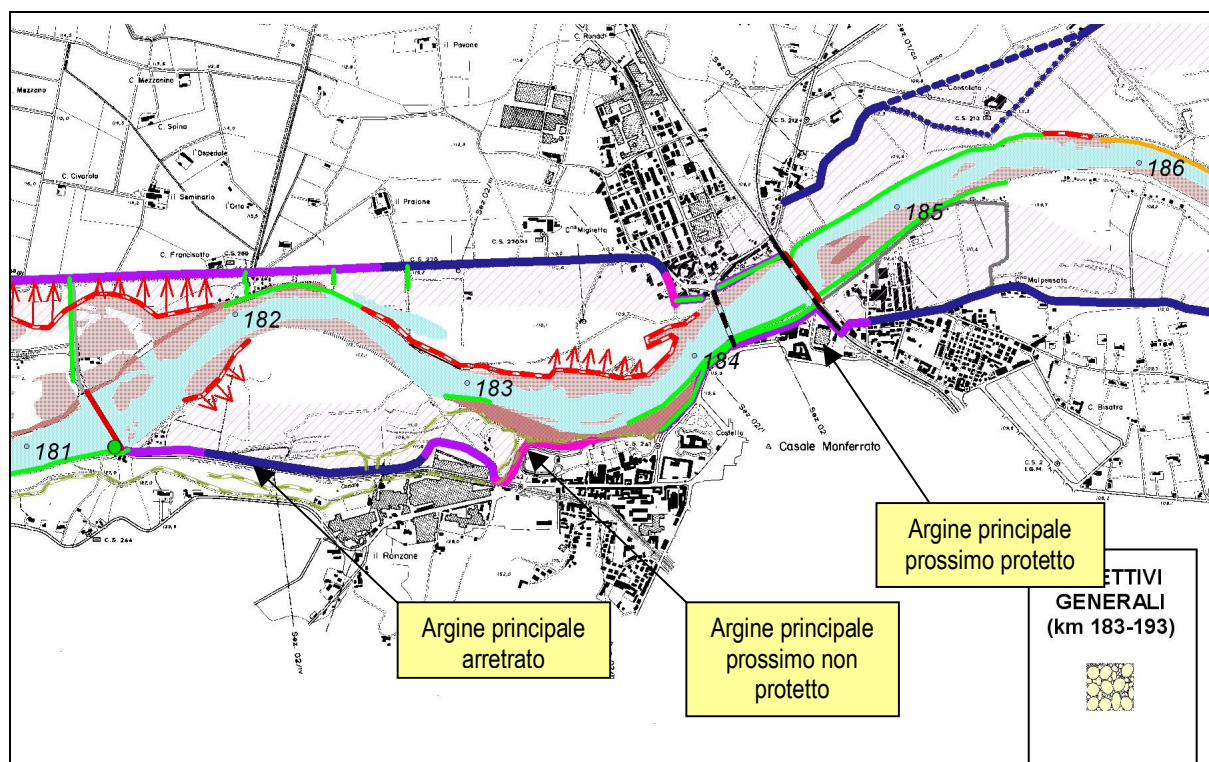


Figura 3.9 – caratterizzazione argini maestri

Oltre agli argini sono state localizzate le seguenti opere strategiche di cui è necessario garantirne la funzionalità: a fini irrigui, è presente l'opera di presa del Canale Cavour del Consorzio di Bonifica Ovest Sesia e l'opera di presa del Canale Lanza a Casale Monferrato (AL), mentre per fini idroelettrici sono presenti due opere di presa: la prima localizzata appena a valle della confluenza tra il Po e lo Stura di Lanzo in sponda sinistra, in comune di Torino (prog. km 114), mentre la seconda è ubicata a San Mauro Torinese (TO) in sponda destra (prog. km 117).

Assetto di progetto delle opere di difesa esistenti

Lungo il Po è presente un diffuso sistema di opere di difesa (longitudinali e pennelli) che delimitano l'alveo inciso e difendono le aree golenali.

Le opere sono presenti laddove si sono manifestate nel tempo intense azioni erosive della corrente fluviale e le conseguenti richieste di difesa delle aree golenali, sovente interessate soprattutto nel passato da attività economiche.

Le principali opere sono state ultimate negli anni sessanta ed hanno determinato una notevole evoluzione morfodinamica dell'alveo tanto che in molti casi l'andamento dell'alveo inciso ne risulta oggi decisamente vincolato e canalizzato.

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

Spesso 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 3.10 è ripotato 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.

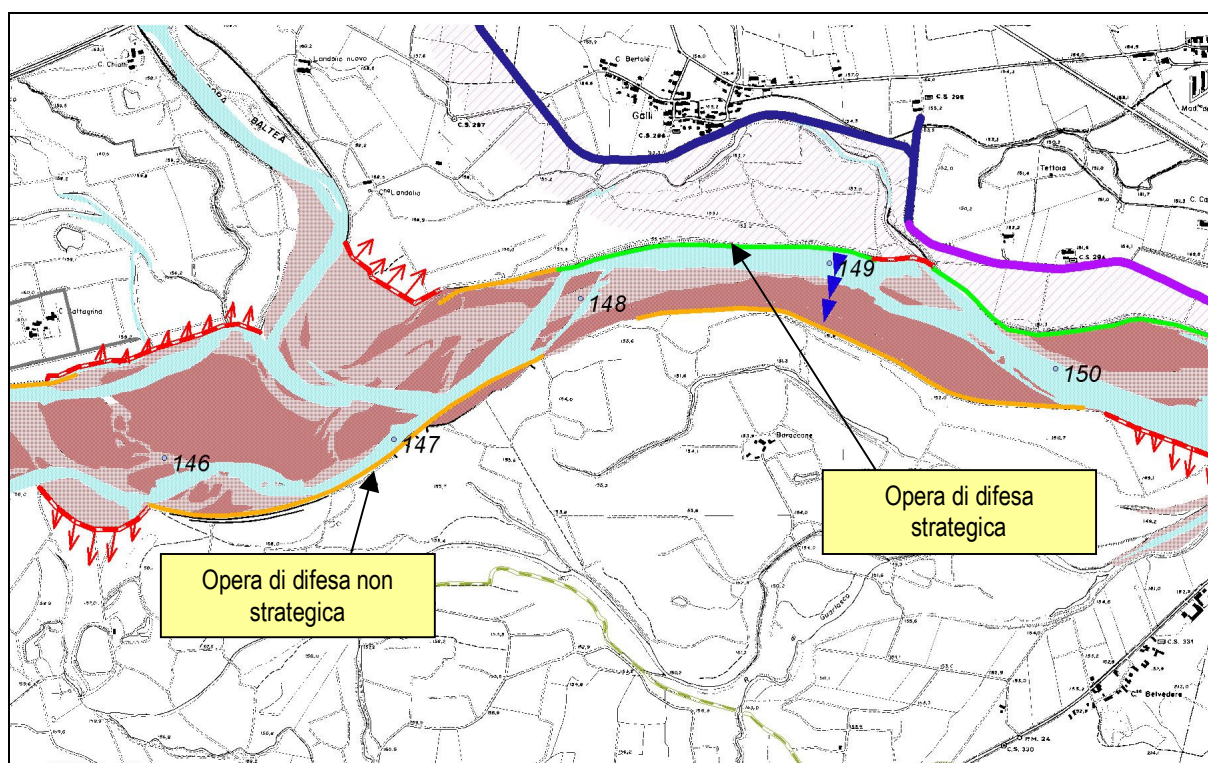


Figura 3.10 – assetto di progetto opere di difesa

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. La fascia di salvaguardia è stata

traccata attraverso il seguente criterio: individuare una fascia di rispetto a protezione del sistema arginale (argini principali e secondari, ove necessario) nei confronti delle dinamiche erosive in atto. Nelle aree golenali comprese tra l'attuale alveo inciso e la fascia così definita l'alveo è libero di divagare senza dare origine a situazioni di rischio nei confronti delle opere da salvaguardare. In relazione al sistema degli argini maestri, tale area è stata individuata applicando la seguente metodologia: nelle zone dove l'argine principale 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 gli argini secondari non viene prevista una fascia di rispetto di ampiezza analoga a quella degli argini principali;

- 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 3.11 è riportato uno stralcio della cartografia degli obiettivi di assetto di progetto del corso d'acqua.

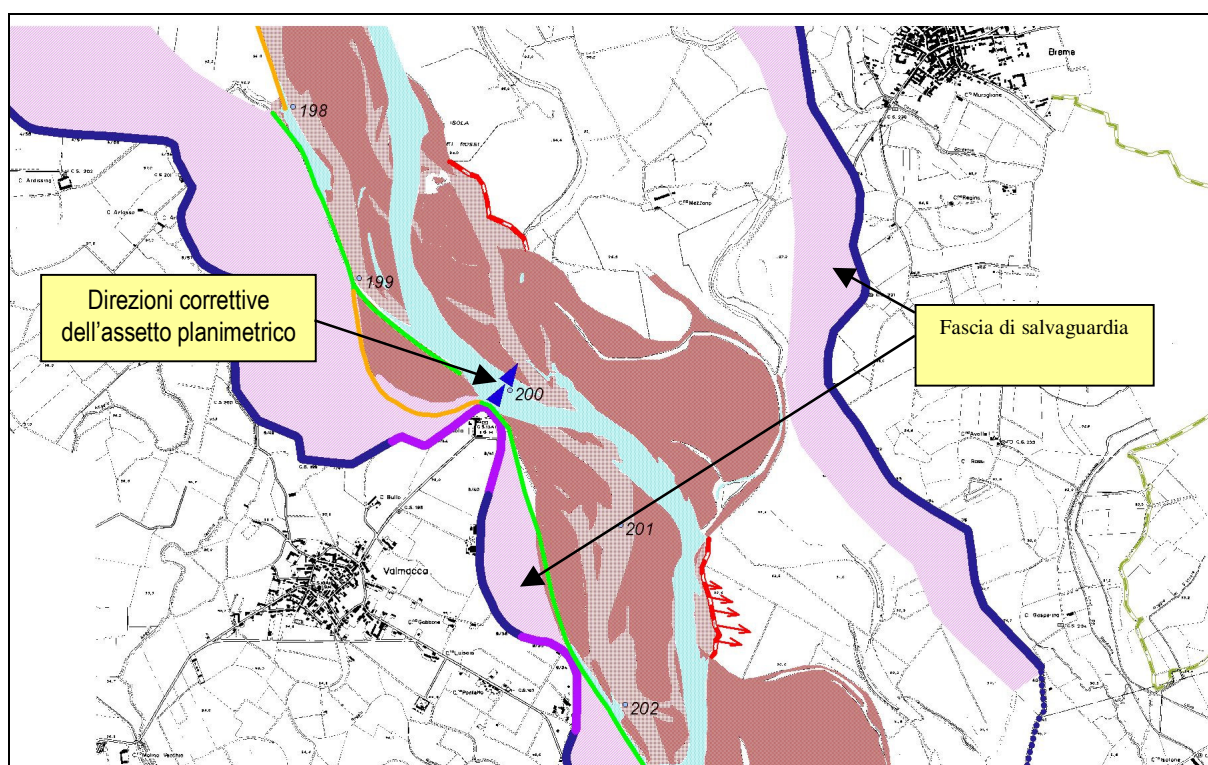


Figura 3.11 – obiettivi di assetto di progetto dell'alveo

3.2.4 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 Stura di Lanzo a Malone - Orco

Il tratto 1, compreso tra foce Stura di Lanzo (km 114) e la confluenza con i torrenti Malone e Orco (km 131), presenta, dal punto di vista degli obiettivi, il seguente quadro:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è discontinuo e frammentato. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m), sono ubicati in modo diffuso prevalentemente nei pressi dei principali centri abitati: San Mauro Torinese e Settimo Torinese. Tali arginature sono protette da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi. Non sono presenti tratti di argine prossimi ($d < 200$ m) a sponde in erosione in assenza di opere di difesa. Nel tratto in oggetto sono presenti due opere di presa a fini idroelettrici: la prima localizzata appena a valle della confluenza tra il Po e lo Stura di Lanzo in sponda sinistra, in comune di Torino (prog. km 114), mentre la seconda è ubicata a San Mauro Torinese (TO) in sponda destra (prog. km 117);
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa spondali. Per la caratterizzazione dell'assetto di progetto delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo:
 - fascia di salvaguardia: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini principali, è riportata nell'apposita cartografia, solo in corrispondenza dell'argine in prossimità della Piana di S. Raffaele, in quanto gli altri argini sono localizzati in frodo all'alveo;
 - alveo di magra: non si prevedono modifiche planimetriche dell'alveo di magra.
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire il presente tratto come tendente all'equilibrio: la portata di trasporto solido al fondo è compresa tra circa 120'000 m³/anno e 180'000 m³/anno. Tali valori sono sostanzialmente pari all'apporto solido del Po a monte della confluenza con lo Stura di Lanzo (circa 130'000 m³/anno). L'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto consiste nel mantenere l'attuale capacità di trasporto solido del tratto;
 - fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire un'alternanza di tratti in erosione e di tratti in deposito (variazioni massime di ± 1.5 m). L'obiettivo è quello di monitorare l'attuale dinamica in atto, senza necessità, allo stato attuale, di apportare correzioni.

Tratto 2 - da Malone-Orco alla Dora Baltea

Il tratto 2, compreso tra la confluenza con i torrenti Orco e Malone (km 131) e la foce della Dora Baltea (km 147), presenta il seguente assetto:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è discontinuo ed è ubicato nei pressi degli abitati di Chivasso e di Verolengo. I tratti di

argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi), a parte un tratto in sponda sinistra a valle di Verolengo, davanti al quale è presente una barra molto ampia (l'alveo di magra dista dall'argine circa 1 km). Nel tratto in oggetto è presente l'opera di presa irrigua del Canale Cavour;

- assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa spondali. Per la caratterizzazione dell'assetto di progetto delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
- assetto di progetto dell'alveo:
 - *fascia di salvaguardia*: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini principali, è riportata nell'apposita cartografia;
 - *alveo di magra*: non si prevedono modifiche planimetriche dell'alveo di magra.
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire il presente tratto come tendente all'erosione: la portata solida al fondo è in aumento lungo la progressiva, da valori minimi pari a circa 200'000 m³/anno fino a valori massimi pari a circa 630'000 m³/anno (considerando anche l'apporto concentrato della Dora Baltea). Tale andamento della portata solida è dovuto prevalentemente all'azione erosiva che si esercita lungo le sponde, sulle barre e sul fondo alveo. L'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto consiste nel mantenere le attuali condizioni;
 - fondo alveo: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire un'alternanza di tratti in erosione e di tratti in deposito (variazioni contenute entro 1.0 m). L'obiettivo è quello di monitorare l'attuale dinamica in atto, senza necessità, allo stato attuale, di apportare correzioni.

Tratto 3 - da Dora Baltea a località S. Maria

Il tratto 3, compreso tra la confluenza con la Dora Baltea (km 147) alla località S. Maria (km 160, a monte di Palazzolo Vercellese), presenta il seguente assetto:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo in sponda sinistra, mentre in sponda destra è praticamente assente, fatto salvo un tratto di circa 3 km ubicato nei comuni di Moncestino e Gabiano (AL). I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi);
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa spondali. Per la caratterizzazione dell'assetto di progetto delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo:
 - *fascia di salvaguardia*: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini

- principali e gli argini secondari con funzionalità idraulica (aree di laminazione in golena), è riportata nell'apposita cartografia;
 - *alveo di magra*: si prevedono alcune modifiche planimetriche dell'alveo di magra per allontanarlo dalle arginature in frodo.
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: l'analisi dell'assetto attuale ha portato a definire il presente tratto come tendente al deposito, a parte una prima zona (fino alla progr. 151,00 - ponte di Crescentino), caratterizzato da una portata solida costante, pari a circa 650'000 m³/anno. Dal ponte di Crescentino fino alla fine del tratto si ha una progressiva riduzione della portata solida fino a valori di circa 490'000 m³/anno. L'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto consiste nell'incrementare la capacità di trasporto del tratto a valle di Crescentino;
 - fondo alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato da un innalzamento delle quote di fondo medio (valore massimo pari a 1.5 m). L'obiettivo è quello di monitorare l'attuale dinamica in atto, senza necessità, allo stato attuale, di apportare correzioni.

Tratto 4 – da località S. Maria a Casale Monferrato

Il tratto 4, compreso tra la località S. Maria (km 160, a monte di Palazzolo Vercellese) e Casale Monferrato (km 182) presenta il seguente assetto:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo in sponda sinistra, mentre è assente in sponda destra. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi). All'interno del tratto è presente un'opera di presa irrigua del Canale Lanza a Casale Monferrato (AL), prog. km 181;
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa spondali. Per la caratterizzazione dell'assetto di progetto delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo:
 - *fascia di salvaguardia*: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini principali e gli argini secondari con funzionalità idraulica (aree di laminazione in golena), è riportata nell'apposita cartografia;
 - *alveo di magra*: non si prevedono modifiche planimetriche dell'alveo di magra.
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: il presente tratto presenta un andamento della portata di trasporto solido al fondo in aumento lungo la progressiva da valori minimi pari a circa 490'000 m³/anno a valori massimi pari a circa 1'050'000 m³/anno. L'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto consiste nel mantenere le attuali condizioni;
 - fondo alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato da un abbassamento del fondo alveo (valore massimo pari a circa 1.5 m). L'alveo di magra presenta estesi affioramenti del

substrato pre-quadernario (terziario) sul suo fondo che ne vincola la relativa quota di fondo. La “mobilità verticale” dell'alveo, in un determinato intervallo di tempo e in una data sezione, appare confinata intorno ad una quota di equilibrio tra processi di deposito (che incrementano la quota di fondo) e processi di erosione (che asportano il sedimento precedentemente depositato). L'obiettivo è quello di monitorare l'attuale dinamica in atto, senza necessità, allo stato attuale, di apportare correzioni.

Tratto 5 – da Casale Monferrato a confluenza Sesia

Il tratto 5, compreso tra Casale Monferrato (km 182) e la confluenza con il fiume Sesia (km 197) presenta il seguente assetto:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo lungo entrambe le sponde, fatta eccezione per due tratti, uno in sponda destra tra il ponte dell'Autostrada A26 e Frassineto Po e uno in sponda sinistra a monte della confluenza con il fiume Sesia. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi), a parte alcuni tratti in sponda destra nei pressi di Casale Monferrato (km 183 e km 187): la sponda risulta essere stabile nell'ultimo ventennio, pertanto non si propone di intervenire con opere strutturali, ma piuttosto con un monitoraggio frequente sullo stato di consistenza delle sponde;
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa spondali. Per la caratterizzazione dell'assetto di progetto delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo:
 - *fascia di salvaguardia*: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini principali, è riportata nell'apposita cartografia;
 - *alveo di magra*: si prevedono modifiche planimetriche dell'alveo di magra per allontanarlo dalle arginature poste in frodo in modo da ridurre le azioni erosive. Tali modifiche sono previste a monte del ponte dell'autostrada A26, nel meandro a monte di Frassineto Po e a monte della confluenza con il fiume Sesia;
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: il tratto è caratterizzato inizialmente, fino alla progr. 190,00 circa (a monte di Frassineto Po), da una portata solida costante, pari a circa 1'050'000 m³/anno. Tale circostanza deriva da un sostanziale equilibrio delle dinamiche in atto nelle forme di fondo (barre e sponde), dalla sostanziale stabilità delle quote di fondo alveo e dall'assenza di apporti esterni. Da Frassineto Po fino alla confluenza con il F. Sesia, invece, si ha un progressivo incremento della portata solida fino a valori di circa 1'250'000 m³/anno (comprensivo dell'apporto solido del F. Sesia). L'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto consiste nel mantenere le attuali condizioni;

- fondo alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato in prevalenza da fenomeni di erosione del fondo alveo (valore massimo di circa 1 m). Essendo tali abbassamenti abbastanza contenuti, l'obiettivo è quello di monitorare l'attuale dinamica in atto, senza necessità, allo stato attuale, di apportare correzioni. Oltretutto l'obiettivo di allontanare l'alveo inciso dalle arginature in frodo, rende ancora di più compatibile tale fenomeno. Ovviamente è importante proseguire nelle azioni di monitoraggio, in modo da misurare nel tempo la dinamica evolutiva del fenomeno erosivo in atto.

Tratto 6 – da Sesia a Tanaro

Il tratto 6, compreso tra foce Sesia (km 197) e foce Tanaro (km 224) presenta il seguente assetto:

- obiettivi locali:
 - opere da salvaguardare: il sistema arginale presente è sostanzialmente continuo lungo entrambe le sponde, fatta eccezione per due tratti, uno in sponda sinistra nei pressi del lago di Sartinara e uno in sponda destra da Valenza fino a confluenza Tanaro. I tratti di argine principale posti ad una distanza ridotta dalla sponda incisa (minore di 200 m) sono protetti da opere di difesa (scogliere e/o diaframmi), a parte un tratto in sponda destra a valle del ponte di Valenza (km 210): la sponda destra risulta essere stabile nell'ultimo ventennio (erosioni presenti in sponda sinistra), pertanto non si propone di intervenire con opere strutturali, ma piuttosto con un monitoraggio frequente sullo stato di consistenza della sponda;
 - assetto di progetto delle opere di difesa esistenti: il tratto risulta essere interessato in modo diffuso da opere di difesa spondali. Per la caratterizzazione dell'assetto di progetto delle opere (strategiche e non strategiche) si rimanda alla cartografia;
 - assetto di progetto dell'alveo:
 - fascia di salvaguardia: la fascia di rispetto all'interno della quale l'alveo inciso non può scorrere, al fine di salvaguardare gli argini principali, è riportata nell'apposita cartografia;
 - alveo di magra: si prevede di modificare l'assetto planimetrico dell'alveo di magra in modo da allontanarlo dalla sponda destra dove sono presenti argini principali in frodo e portarlo verso la sponda sinistra dove è presente un'ampia zona golenale. Tale obiettivo è da perseguire soprattutto nel tratto tra la confluenza Sesia e Valenza e a monte della confluenza con il Tanaro;
- obiettivi generali:
 - trasporto solido: il tratto è caratterizzato da un progressivo incremento della portata solida lungo la progressiva, da un valore minimo di circa 1'250'000 m³/anno (confluenza Sesia), fino ad un valore massimo di circa 2'000'000 m³/anno (confluenza Tanaro). L'incremento massimo si verifica nella zona a monte del ponte di Valenza. L'obiettivo a cui deve tendere l'assetto di progetto consiste nel mantenere le attuali condizioni;
 - fondo alveo: il fondo medio dell'alveo nel periodo 1999 – 2004 è caratterizzato in prevalenza da fenomeni di erosione del fondo medio dell'alveo, ad eccezione di un sottotratto ubicato tra il ponte di

Valenza e la confluenza con il T. Grana. Le variazioni del fondo medio dell'alveo sono comprese tra ± 2 m. L'obiettivo è quello di monitorare l'attuale dinamica in atto, senza necessità, allo stato attuale, di apportare correzioni, fatto salvo per il tratto tra Valmacca e il ponte di Valenza, dove l'obiettivo è quello di favorire l'innalzamento delle quote di fondo medio. L'obiettivo di allontanare l'alveo di magra dalle arginature in frodo rende il fenomeno erosivo sul fondo compatibile con il sistema fluviale.

3.3 Gli interventi

3.3.1 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 il recupero di un assetto morfologico meno vincolato ed il conseguimento di un maggior equilibrio dinamico e valore ambientale dell'alveo inciso, tramite la riapertura di rami laterali e la dismissione di opere di difesa spondale non più strategiche ai fini della difesa idraulica.

3.3.2 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 e alla riapertura di rami laterali.

Nella seconda categoria fanno parte 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 sopracitati (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 5) a cui si rimanda per gli aspetti di dettaglio. Nella Figura 3.12 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 3.12 – Legenda della cartografia degli interventi sul corso d'acqua

Di seguito vengono descritte le singole tipologie d'intervento.

3.3.3 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.

Nel tratto in studio non è stata prevista la realizzazione di nuove opere di difesa spondali.

La realizzazione di nuovi pennelli è 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 3.13 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

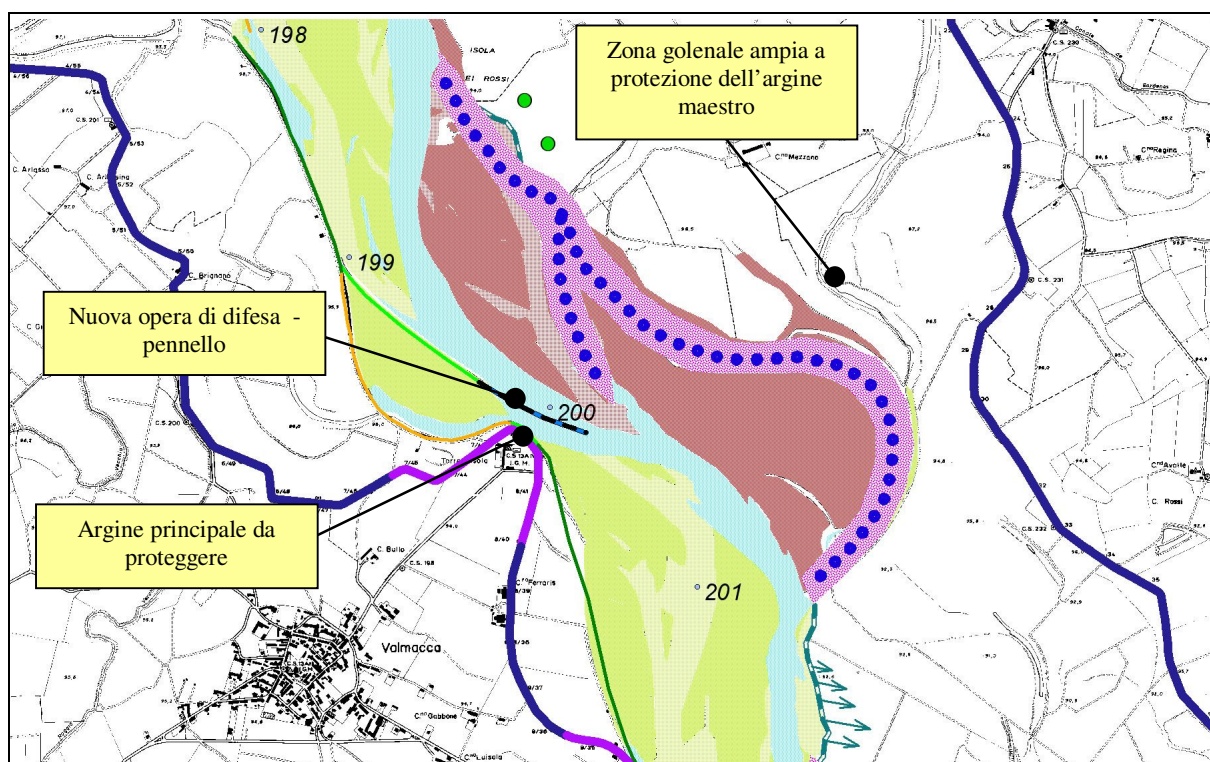


Figura 3.13 – Intervento di realizzazione nuova scogliera

Nel tratto in oggetto si è previsto di dismettere alcune opere di difesa esistenti, le quali attualmente risultano non strategiche ed inoltre inducono sollecitazioni dirette nei confronti di opere di difesa strategiche e limitano la libera divagazione dell'alveo inciso in zone compatibili. Nella Figura 3.14 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe citata.

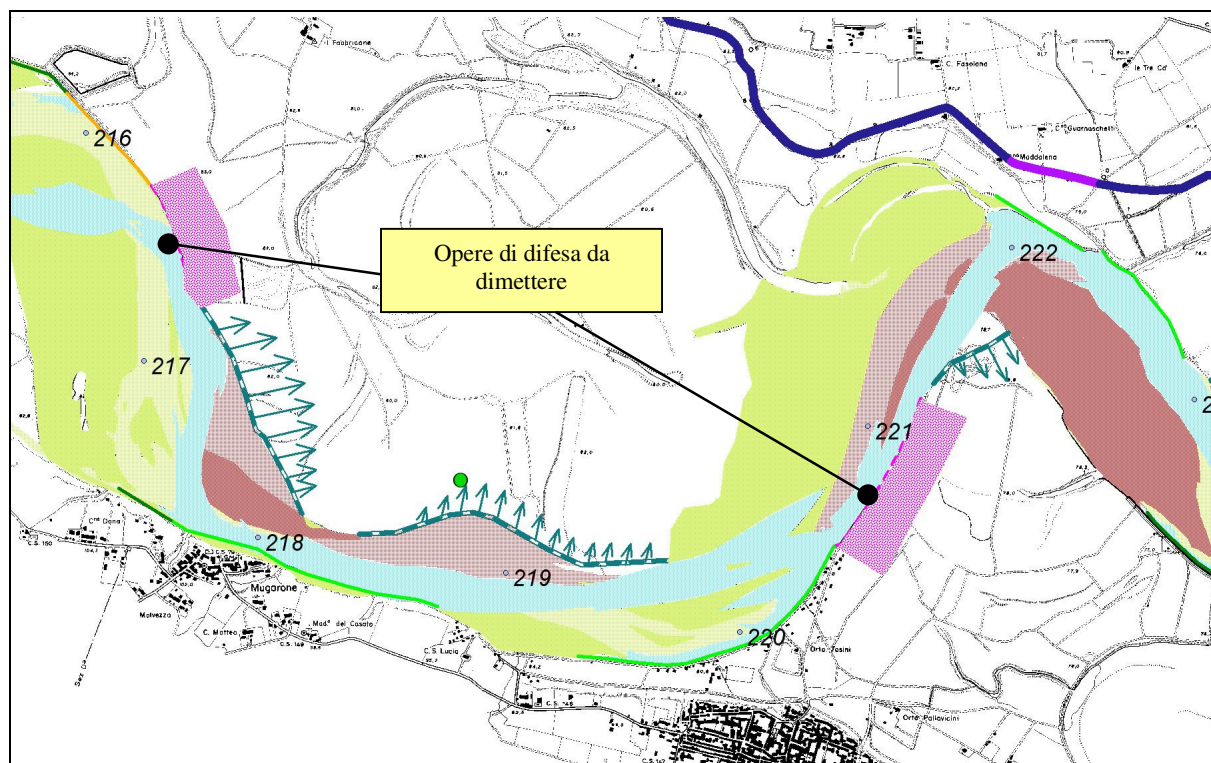


Figura 3.14 - Intervento di realizzazione pennello

Gli interventi di movimentazione e asportazione del materiale litoide hanno l'obiettivo di modificare l'assetto planimetrico dell'alveo al fine di ridurre l'azione idrodinamica della corrente contro opere di difesa strategiche e sul fondo alveo. Tali interventi riguardano la riapertura di canali laterali, in alcuni casi preesistenti ma attualmente occlusi in seguito a fenomeni di deposito, per ridare all'alveo inciso un assetto pluricursale. Un criterio generale per il dimensionamento di tali canali potrebbe essere quello di consentire all'interno degli stessi, in condizioni di piena ordinaria (tempo di ritorno pari a circa 1.33), il deflusso del 20 – 30% della portata attualmente defluente nell'alveo inciso del Po;

Nella Figura 3.15 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato l'intervento di apertura di un canale. La realizzazione di tali interventi deve prevedere anche una serie di azioni volte a rinaturalizzare tutta l'area compresa tra la lanca e l'alveo in base a quanto indicato dalla "Direttiva per la definizione degli interventi di rinaturazione", adottata con deliberazione n. 8/2006.

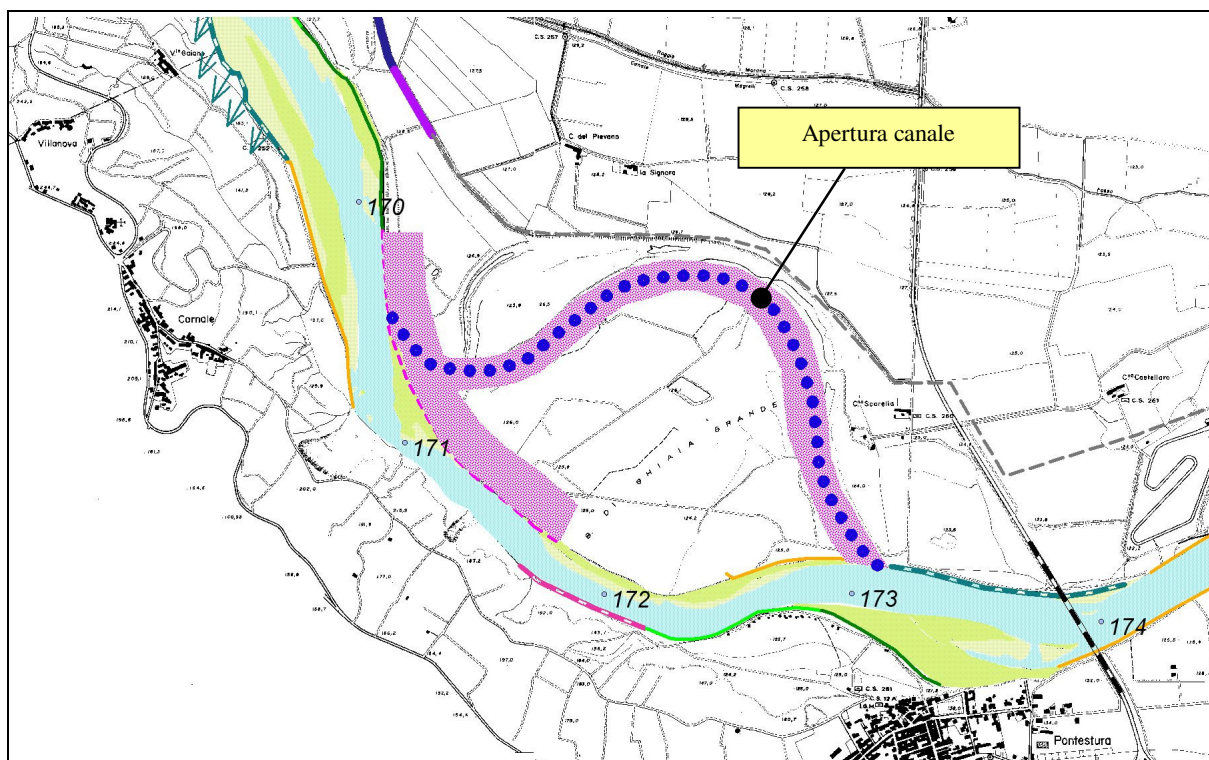


Figura 3.15 – Intervento di apertura di un canale

3.3.4 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 non è previsto all'interno del tratto compreso tra foce Stura di Lanzo e foce Tanaro, in quanto gli obiettivi generali individuati per l'intera asta in questione consistono nel mantenere l'attuale assetto del trasporto solido e del fondo alveo, monitorandone l'evoluzione nel tempo.

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 sponde in erosione, 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 per altro prescritto dall'articolo 29 comma 1, lettera d delle Norme di Attuazione del PAI.

Nella Figura 3.16 viene presentato uno stralcio della cartografia degli interventi, in cui è rappresentato un intervento della classe descritta.

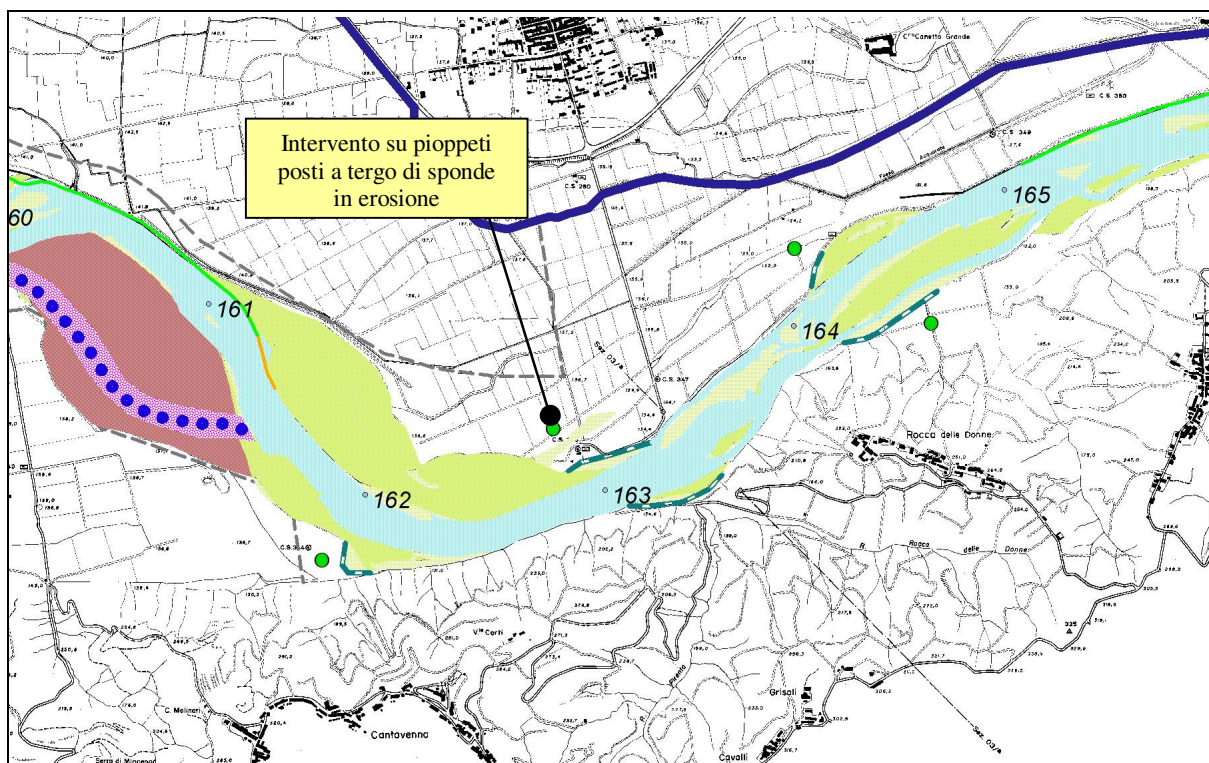


Figura 3.16 – Esempio di intervento sulla vegetazione arborea

3.3.5 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 3.17):
 - 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.

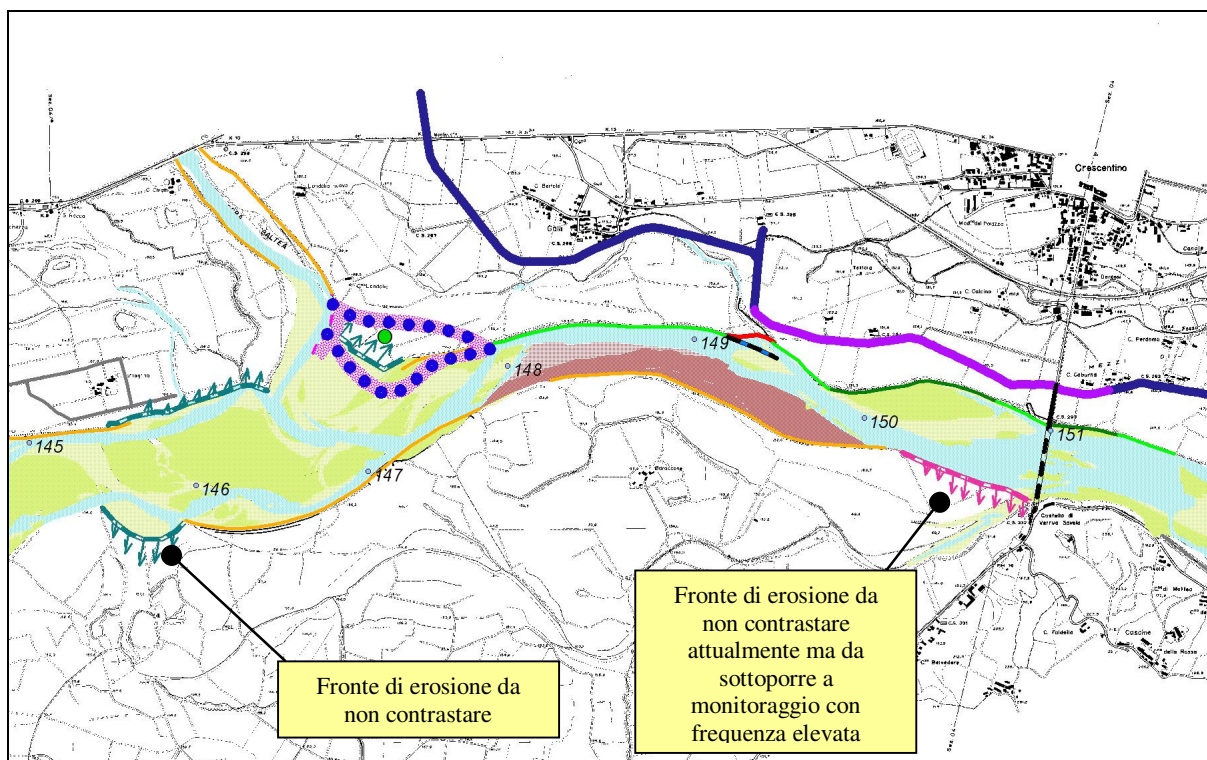


Figura 3.17 – Fronti di erosioni da monitorare

- relativamente alle opere di difesa si distinguono (vedere Figura 3.18):
 - 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 3.19):
 - 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.

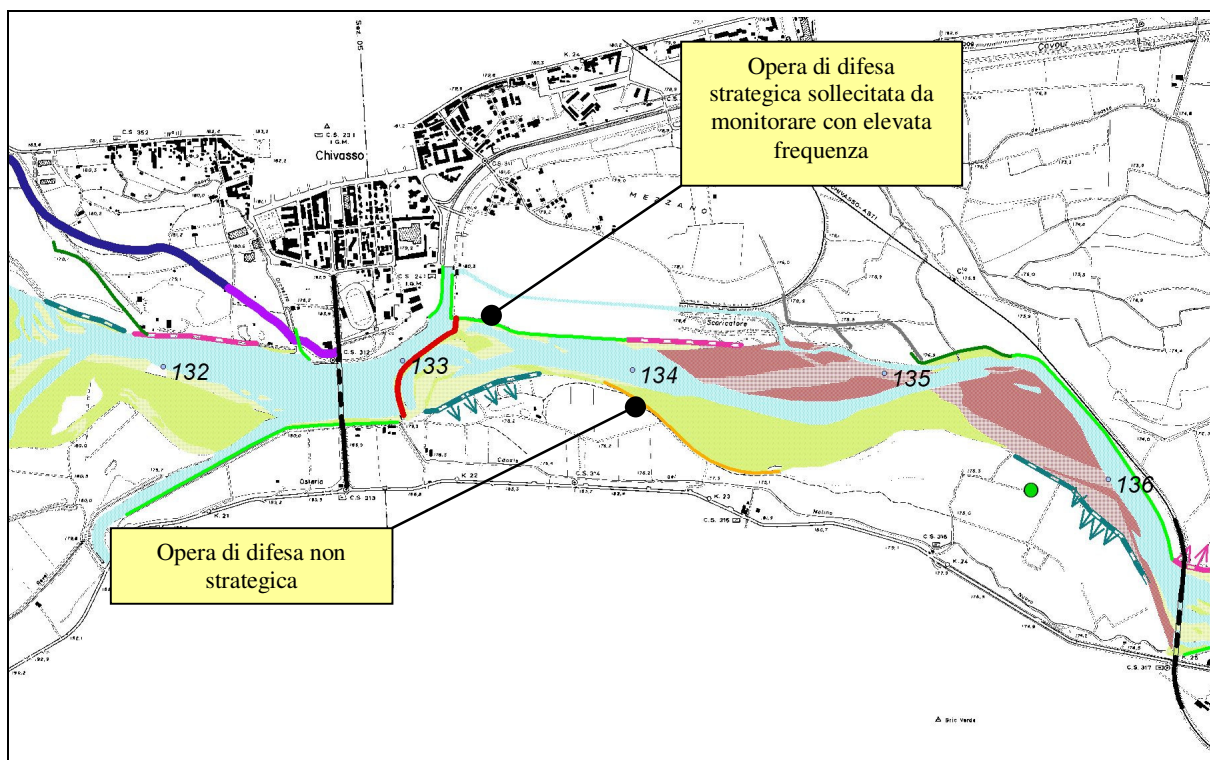


Figura 3.18 – Opere da sottoporre ad interventi di monitoraggio

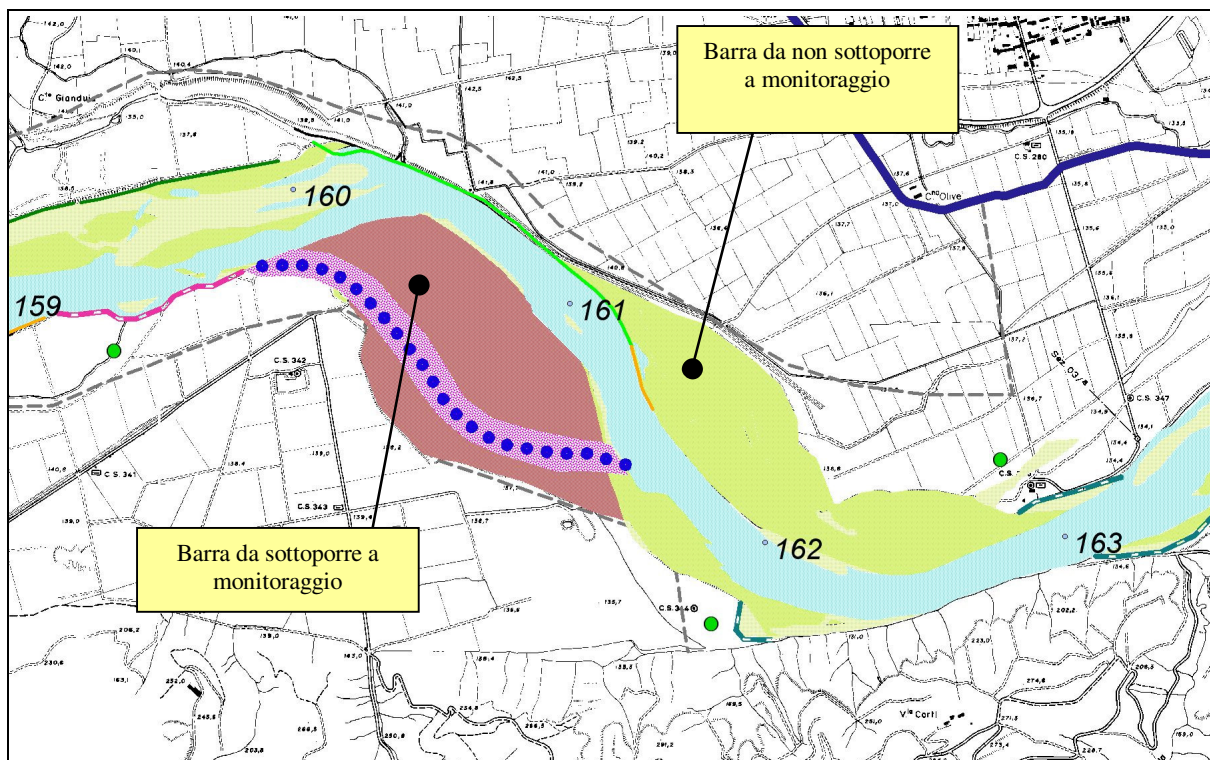


Figura 3.19 – Interventi di monitoraggio delle barre

3.3.6 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, attracchi fluviali 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 d'intesa fra le autorità competenti e sulla base di analisi specifiche, 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;
- 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.

3.3.7 Gli interventi rilevanti a scala di asta fluviale

Le attività svolte hanno permesso di raggruppare i singoli interventi strutturali strategici descritti in precedenza in 11 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 3.2 – Elenco degli interventi

<i>n.</i>	<i>Località</i>	<i>Interventi</i>	<i>U.m.</i>	<i>Quantità</i>	<i>Importo [€]</i>
1	Dora Baltea	Dismissione difesa spondale	m	500	186'000
		Apertura canale laterale: scavo	mc	330'000	974'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	250'000	250'000
2	Galli	Formazione pennello	m	300	800'000
3	S. Maria	Dismissione difesa spondale	m	2'600	1'488'000
		Apertura canale laterale: scavo	mc	765'000	2'257'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	1'000'000	1'000'000
4	Gabiano	Apertura canale laterale: scavo	mc	360'000	1'062'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	400'000	400'000
5	Ghiaia Grande	Dismissione difesa spondale	m	1'500	1'364'000
		Apertura canale laterale: scavo	mc	928'000	2'738'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	1'500'000	1'500'000
6	Monte ponte A26	Dismissione difesa spondale	m	500	600'000
7	Sesia	Apertura canale laterale: scavo	mc	3'100'000	9'145'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	1'800'000	1'800'000
8	Valmacca	Formazione pennello	m	500	914'000
		Apertura canale laterale: scavo	mc	1'539'000	4'540'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	1'000'000	1'000'000
9	Bozzole	Dismissione opera di difesa	m	1'100	2'604'000
		Apertura canale laterale: scavo	mc	1'700'000	5'015'000
		Apertura canale laterale: intervento di rinaturazione	mq	1'500'000	1'500'000
10	Mugarone	Dismissione opera di difesa	m	450	1'800'000
11	Bassignana	Dismissione opera di difesa	m	700	600'000

Intervento 1: Dora Baltea

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto richiama in parte quanto previsto nell'ambito del Progetto della linea Alta Velocità tra Torino e Milano del Consorzio CAV.To.Mi., il quale prevede di modificare l'assetto della confluenza tra il Po e la Dora Baltea. Nel dettaglio, gli interventi previsti in questa sede sono: scavo e rimodellamento dei due canali parzialmente formatisi durante la piena del 2000, rimozione delle opere di difesa che attualmente impediscono l'attivazione di tali canali per portate ordinarie, interventi di riqualificazione ambientale (riqualificazione e impianto di formazioni ripariali e arboreo-arbustive, sostituzione di pioppeti posti a tergo di sponde in erosione con salici arbustivi e impianto di fasce di elofite).

L'intervento di apertura dei due canali in corrispondenza della confluenza tra Dora Baltea e Po è così costituito: lunghezza complessiva dei due canali: 2'000 m (850 m per il canale più a nord e 1'150 m per il canale posto più a sud); altezza media scavo: per il canale posto più a nord è pari a circa 3 m, mentre per il canale posto più a sud è pari a circa 2 m (considerando la quota di fondo dei nuovi canali compresa tra 153 m s.m. in prossimità dell'attuale alveo della Dora Baltea e 150 m s.m. in prossimità del Po); larghezza in sommità: circa 80 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 330'000 m³.

La lunghezza complessiva delle opere di difesa da rimuovere è pari a circa 500 m. Considerando l'altezza dell'opera pari a circa 3 m, la larghezza pari a 1.5 m e l'inclinazione del paramento pari a 3:1, si ha che il volume da rimuovere è pari a circa 7'500 m³.

EFFETTI ATTESI: miglioramento funzionalità idraulica della confluenza fra Po e Dora Baltea.

Intervento 2: Galli

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: si prevede la realizzazione di un nuovo pennello in sinistra in corrispondenza della progressiva km 147,00. La lunghezza del pennello è pari a circa 300 m, la larghezza del coronamento è pari a circa 6 m, l'altezza è pari a circa 5 m e la pendenza del paramento è pari a 2:1.

EFFETTI ATTESI: arrestare il fenomeno erosivo in atto lungo la sponda sinistra.

Intervento 3: S. Maria

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede in sintesi la dismissione delle opere di difesa presenti in sponda sinistra e l'apertura di un canale laterale in modo da creare un alveo inciso pluricursale.

La lunghezza complessiva delle opere di difesa da dismettere è pari a circa 2'600 m. Considerando l'altezza dell'opera pari a circa 5 m, la larghezza pari a 1.5 m e l'inclinazione del paramento pari a 3:1, si ha che il volume da rimuovere è pari a circa 60'000 m³.

L'intervento di apertura del canale all'interno della golena sinistra è così caratterizzato: lunghezza del canale: 3'000 m; altezza media dello scavo: circa 3 m; larghezza in sommità: circa 100 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 765'000 m³.

EFFETTI ATTESI: maggiore possibilità di divagazione dell'alveo inciso.

Intervento 4: Gabiano

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede in sintesi l'apertura di un canale laterale così caratterizzato: lunghezza del canale: 1'400 m; altezza media dello scavo: circa 3 m; larghezza in sommità: circa 100 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 360'000 m³.

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni indotte dalla barra in sponda sinistra e formazione di un alveo inciso pluricursale.

Intervento 5: Ghiaia Grande

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede in sintesi la dismissione dell'opera di difesa presente in sponda sinistra e l'apertura di un canale laterale in modo da creare un alveo inciso pluricursale.

La lunghezza complessiva delle opere di difesa da dismettere è pari a circa 1'500 m. Considerando l'altezza dell'opera pari a circa 8 m, la larghezza pari a 1.5 m e l'inclinazione del paramento pari a 3:1, si ha che il volume da rimuovere è pari a circa 55'000 m³.

L'intervento di apertura del canale all'interno della golena sinistra è così caratterizzato: lunghezza del canale: 2'900 m; altezza media dello scavo: circa 4 m; larghezza in sommità: circa 100 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 928'000 m³.

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni indotte dalla barra in sponda sinistra e formazione di un alveo inciso pluricursale.

Intervento 6: ponte A26

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede in sintesi la dismissione delle opere di difesa presenti in sponda sinistra.

La lunghezza complessiva delle opere di difesa da dismettere è pari a circa 500 m. Considerando l'altezza dell'opera pari a circa 10 m, la larghezza pari a 1.5 m e l'inclinazione del paramento pari a 3:1, si ha che il volume da dismettere è pari a circa 55'000 m³.

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni in sponda destra e libera divagazione dell'alveo in sponda sinistra.

Intervento 7: Sesia

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede l'apertura di tre canali, due sul Po ed uno sul Sesia. Il canale posto in sponda sinistra Sesia e quello in sponda sinistra Po, più a valle, sono già stati proposti ed analizzati per conto dell'AdBPo con un modello bidimensionale a fondo mobile nell'ambito dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Sesia nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po". Le analisi condotte hanno permesso di valutare la sostanziale stabilità morfologica dei canali proposti e il beneficio ottenibile sia sull'assetto geomorfologico e ambientale, sia sul sistema difensivo posto in sponda destra del Po. Il canale posto più a monte in sponda sinistra Po è già stato analizzato per conto di AIPO con un modello bidimensionale a fondo fisso, implementato per

valutare gli effetti in relazione alla piena di progetto. L'intervento, oltre a ridurre i livelli di piena, riduce le sollecitazioni in sponda destra dove sono presenti le opere di difesa dell'argine di Frassineto Po. La geometria dei canali è stata definita in modo tale da garantire all'interno dei rami il deflusso di circa il 20-30% della portata di piena ordinaria, che per il Po a monte della confluenza è pari a circa 1950 m³/s, mentre per il Sesia è pari a circa 1735 m³/s. I canali sono così caratterizzati:

- o Canale Po-monte: lunghezza: 2'700 m; altezza media dello scavo: circa 4 m; larghezza in sommità: circa 170 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 1'600'000 m³ (volume previsto nello studio AIPO);
o Canale Po-valle: lunghezza: 1'300 m; altezza media dello scavo: circa 4 m; larghezza in sommità: circa 190 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 900'000 m³ (dimensioni da studio AdBPo).
- Canale Sesia: lunghezza: 1'400 m; altezza media dello scavo: circa 3 m; larghezza in sommità: circa 140 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 600'000 m³ (dimensioni da studio AdBPo).

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni in sponda destra e formazione di un alveo inciso pluricursale.

Intervento 8: Valmacca

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede in sintesi l'apertura di un canale laterale così caratterizzato: lunghezza del canale: 3'800 m; altezza media dello scavo: circa 3 m; larghezza in sommità: circa 150 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 1'539'000 m³.

Inoltre, in corrispondenza della progr. km 200,00, in sponda destra, si prevede la formazione di un pennello per deviare il flusso della piena ordinaria verso la sponda sinistra. Tale pennello ha una lunghezza di circa 500 m, un'altezza di circa 4 m, una larghezza del coronamento pari a 6 m e una pendenza del paramento pari a 2:1

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni indotte dalla barra in sponda sinistra e formazione di un alveo inciso pluricursale.

Intervento 9: Bozzole

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede in sintesi l'apertura di un canale laterale così caratterizzato: lunghezza del canale: 6'000 m; altezza media dello scavo: circa 2 m; larghezza in sommità: circa 150 m; inclinazione sponde: 5:1. Il volume complessivo di scavo risulta pertanto essere pari a circa 1'700'000 m³.

Inoltre, un chilometro a monte del ponte di Valenza, vengono dismessi i pennelli, in parte già danneggiati, in modo da favorire la libera divagazione dell'alveo inciso in zone compatibili con tale dinamica evolutiva. Tali opere hanno una lunghezza complessiva di circa 1'100 m. Si ipotizza di intervenire per un'altezza di circa 6 m, per cui considerando una larghezza del coronamento pari a circa 4 m e una pendenza del paramento pari a 2:1, si ha che il volume complessivo è pari a circa 105'000 m³.

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni indotte dalla barra in sponda sinistra e formazione di un alveo inciso pluricursale.

Intervento 10: Mugarone

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede la dismissione di un'opera di difesa presente in sponda sinistra.

La lunghezza complessiva dell'opere di difesa da dismettere è pari a circa 450 m. Si ipotizza di intervenire per un'altezza di circa 8 m, per cui considerando una larghezza del coronamento pari a circa 4 m e una pendenza del paramento pari a 2:1, si ha che il volume complessivo è pari a circa 72'000 m³.

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni in sponda destra e libera divagazione dell'alveo in sponda sinistra.

Intervento 11: Bassignana

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO: l'intervento in oggetto prevede la dismissione di un'opera di difesa presente in sponda destra.

La lunghezza complessiva delle opere di difesa da dismettere è pari a circa 700 m. Considerando l'altezza dell'opera pari a circa 8 m, la larghezza pari a 1.5 m e l'inclinazione del paramento pari a 3:1, si ha che il volume è pari a circa 25'000 m³.

EFFETTI ATTESI: riduzione delle sollecitazioni in sponda sinistra e libera divagazione dell'alveo in sponda destra.

Tabella 3.3– Sintesi degli interventi

<i>Tipologia intervento</i>	<i>U.m.</i>	<i>Quantità</i>	<i>Importo opere [€] *</i>
Formazione pennelli	m	800	1'714'000
Dismissione opere di difesa	m	7'350	8'642'000
Apertura canali: interventi di rinaturazione	mq	7'450'000	7'450'000
Apertura canali: scavo	mc	8'722'000	25'731'000
Importo opere totale			~ 43'500'000

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

3.3.8 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 obiettivo prioritario la necessità di migliorare l'assetto idraulico, morfologico ed ambientale del fiume attraverso l'apertura di canali laterali in modo da ricreare un alveo pluricursale. Tali interventi implicano anche la riduzione delle sollecitazioni agenti contro le opere strategiche (argini principali e difese spondali).

Per tali motivazioni sono considerati di prima priorità gli interventi previsti a:

intervento 1: Dora Baltea;

intervento 3: S. Maria;

intervento 4: Gabiano;

intervento 5: Ghiaia Grande;

intervento 7: Sesia;

intervento 8: Valmacca;

intervento 9: Bozzole.

In seconda priorità sono posti i restanti interventi che hanno lo scopo di risolvere delle criticità idrauliche connesse in particolare all'azione della corrente ordinaria contro opere di difesa strategiche:

intervento 2: Galli;

intervento 6: monte ponte A26;

intervento 10: Mugarone;

intervento 11: Bassignana.

Come già definito nel precedente paragrafo "Criteri e delle prescrizioni 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 (modelli bidimensionali, modelli fisici), in altri condurre dettagliate valutazioni sugli impatti ambientali, dal punto di vista amministrativo inoltre occorrerà ad esempio individuare le procedure necessarie alla dismissione e alla modifica delle opere di difesa.

3.3.9 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 oggi estremamente carenti ed in alcuni casi non codificate (ad esempio, non esiste un catasto unico delle concessioni di estrazioni di inerti e degli interventi pianificati o urgenti di svaso, 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 relativamente all'anno medio per il periodo 1982 - 2005.

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 di più volte l'anno;
- 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 sopracennate devono portare ad acquisire conoscenze sempre più approfondite 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 la Dora Baltea e il Sesia.

3.3.10 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 morbidie 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.

3.3.11 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 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.

3.3.12 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.

In particolare, in base a quanto emerso durante le analisi del bilancio del trasporto solido, occorre realizzare misure di trasporto in sospensione lungo l'asta del Po e nel tratto terminale degli affluenti appenninici, in modo da valutare, attraverso un bilancio di massa, la quantità di materiale in sospensione che lungo l'asta del Po può sedimentare e quindi costituire un ingresso al sistema. Le sezioni in cui effettuare le misure di trasporto in sospensione possono in prima analisi essere le seguenti: a Crescentino, Casale Monferrato e Valenza. Relativamente agli affluenti si potrebbe cominciare a prendere in esame la Dora Baltea.

Per quanto detto sopra, in generale, le attività di monitoraggio sperimentale possono essere costituite da:

- misure torbidometriche e di trasporto solido effettuate con le classiche strumentazioni e procedure;
- 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;

- 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.

4 Elenco allegati

Allegato 1 – Carta geomorfologica delle tendenze evolutive in atto nel periodo
1982 -2002

Allegato 2 – Cartogramma di sintesi dell'assetto attuale del corso d'acqua

Allegato 3 – Cartografia dell'assetto attuale del corso d'acqua

Allegato 4 – Cartografia degli obiettivi del corso d'acqua

Allegato 5 – Cartografia degli interventi sul corso d'acqua