

Considerazioni sull'assetto idraulico del tratto di Fiume Po nel tratto compreso fra la confluenza del fiume Lambro e il comune di Somaglia (LO)

Prof. Ing. Paolo Ghilardi
Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale
Università di Pavia
Via Ferrata 1
27100 Pavia

Agosto 2006

Considerazioni sull'assetto idraulico del tratto di Fiume Po nel tratto compreso fra la confluenza del fiume Lambro e il comune di Somaglia (LO)

Premessa

L'alveo del Fiume Po muta continuamente di forma attraverso un processo evolutivo provocato dal trasporto solido.

In generale, in ogni punto dell'alveo possono essere contemporaneamente in atto processi di mobilitazione dei granuli e, viceversa, di deposito del materiale trasportato dalla corrente. Quando i due processi si bilanciano, oppure sono assenti, l'alveo è in equilibrio e non cambia forma; quando prevale l'uno o l'altro si ha, a seconda dei casi, l'erosione dell'alveo o il suo sovralluvionamento.

Qualsiasi intervento artificiale che comporti estrazioni di materiale o spostamenti di esso da un punto all'altro va necessariamente ad interferire con il processo naturale, e può ad esempio accelerare fenomeni erosivi in atto o, viceversa, rallentarli fino ad invertirne la tendenza; ovvero, può alterare una situazione di equilibrio dando origine a nuovi processi di deposito o di erosione.

Solo attraverso la conoscenza delle trasformazioni in atto e potenziali è perciò possibile valutare se e quanto un intervento esterno può modificare l'attuale tendenza evolutiva di un alveo.

La raccolta dei dati storici sui cambiamenti di forma e l'osservazione dello stato di fatto permette di avere un primo quadro della situazione, mentre per la previsione degli effetti di una modifica artificiale dell'alveo, anche di limitata estensione, è necessaria l'applicazione di modelli predittivi basati sulle leggi fisiche che governano il moto della corrente e il trasporto dei sedimenti.

La presente relazione vuole fornire un primo inquadramento di queste problematiche nel tratto compreso fra la confluenza del Fiume Lambro nel Fiume Po e il meandro a valle della gola su cui sorge Cascina Isolone.

In essa si descrivono perciò le caratteristiche generali dell'assetto idraulico attuale degli alvei fluviali; particolare attenzione è posta alla interazione fra corrente e trasporto solido, al fine di pervenire a una valutazione sui possibili effetti di ipotetiche attività estrattive o di modellazione dell'alveo inciso e di piena.

Le considerazioni esposte nel seguito sono da considerarsi preliminari, in quanto la complessa conformazione del tratto di Fiume Po in oggetto richiede che, per una precisa quantificazione degli effetti di una modifica dell'alveo, si applichino procedure di calcolo basate su una modellazione distribuita della corrente per mezzo di uno schema bidimensionale.

Stime preliminari sul trasporto solido in condizioni di piena

La modellazione naturale di un alveo fluviale a fondo mobile avviene per opera del trasporto di sedimenti provocato dal moto della corrente, e dipende in particolare dal bilancio tra la quantità di materiale solido depositato e quella erosa. In generale i fenomeni connessi al trasporto solido sono tanto più intensi quanto maggiore è la portata del fiume. Per questo motivo, si esamina in questo capitolo la situazione che si viene a verificare durante un evento di piena.

In particolare si considera una ipotetica piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni, definita *piena di riferimento* nel *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)* predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, e all'interno dello stesso Piano utilizzata per il tracciamento delle fasce fluviali A e B.

Una valutazione precisa del trasporto solido dovrebbe appoggiarsi a una accurata modellistica matematica della corrente, data la complessa conformazione morfologica del tratto in esame: la presenza di marcati meandri e della confluenza del Lambro in Po lascia infatti intuire come la direzione del moto sia variabile da punto a punto, e la differenza di forma fra i limiti dell'alveo inciso e dell'alveo di piena suggerisce che la direzione principale della corrente in piena sia assai differente da quella in regime ordinario.

Tuttavia, una prima valutazione quantitativa della capacità della corrente di esercitare una azione di trasporto sui materiali granulari presenti all'interno dell'alveo è possibile appoggiandosi a quanto descritto nel PAI e relativo alla corrente in piena.

In fig.1 è riportata una porzione della tavola di delimitazione delle fasce fluviali, allegata al vigente PAI, da cui risultano chiaramente i limiti delle fasce A e B. Vale la pena di rammentare che, in prima approssimazione, la fascia A rappresenta quella parte di corrente in cui scorre almeno l'80% della intera portata di piena, mentre la fascia B indica la zona allagata dalla corrente durante il passaggio della piena di riferimento e in cui la velocità è inferiore a 40 cm/s.

Queste definizioni già permettono una prima caratterizzazione della distribuzione delle velocità all'interno dell'alveo di piena.

Dalla tavola citata si evince che in un'ampia porzione della estesa golenata a valle della foce del Fiume Lambro, visibile nella parte centrale del tratto di Po rappresentato in fig. 1, le velocità sarebbero – sempre secondo il PAI – sicuramente inferiori a 40 cm/s, essendo l'area compresa all'interno della fascia B.

Le quote raggiunte dalla superficie libera della corrente possono essere ricavate dalla *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica* emanata dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, in cui è riportato il profilo di piena calcolato in corrispondenza delle sezioni identificate dalle crocette in Fig. 1; tali quote sono riportate in tab. 1.

La medesima direttiva riporta anche il valore della portata di piena stimata che è, nel tratto in esame, pari a 13600 m³/s.

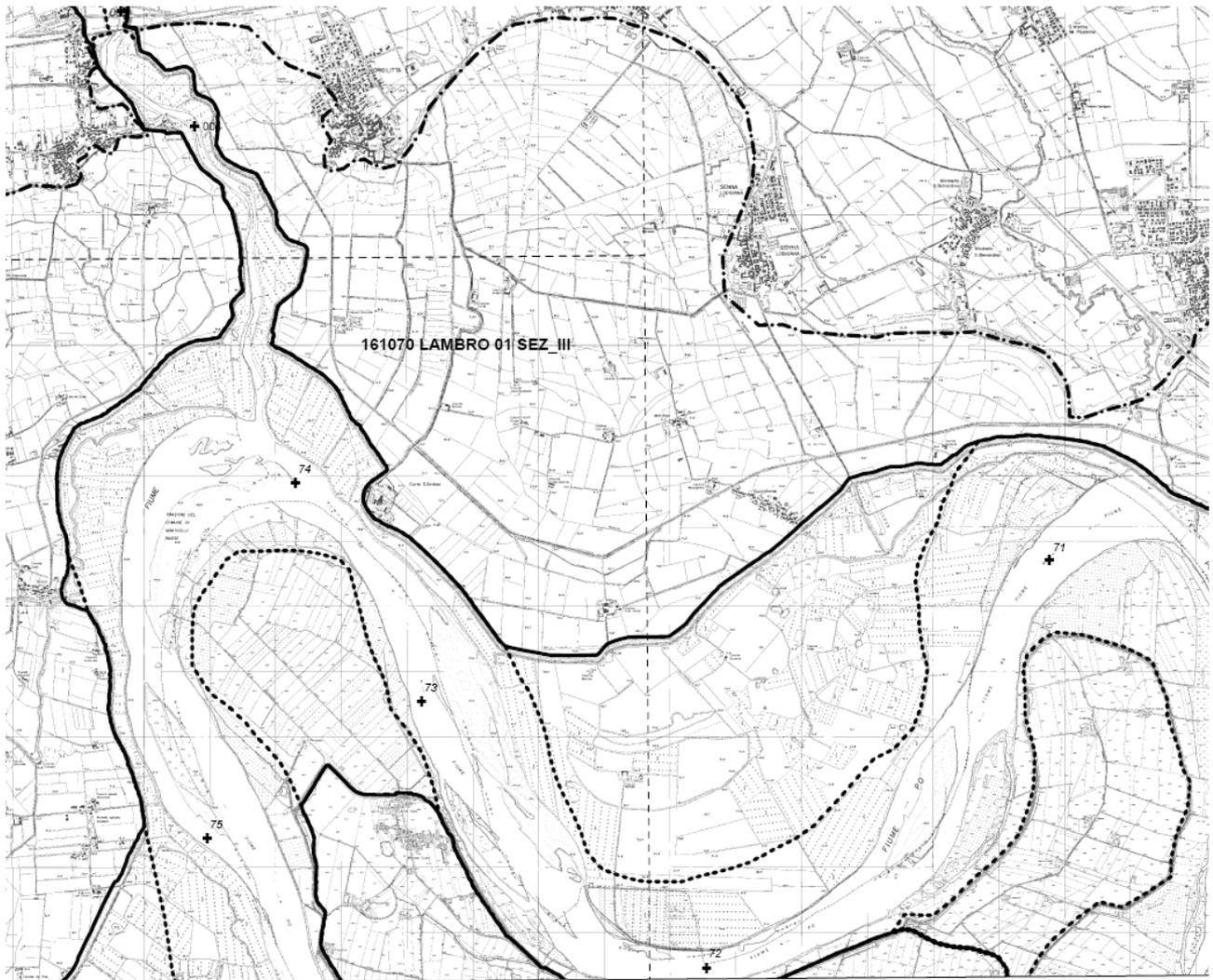


Fig. 1 – Cartografia della zona in esame con le indicazioni dei limiti di fascia A (linea tratteggiata) e di fascia B (linea continua), estratta dalle *tavole di delimitazione delle fasce fluviali - foglio 161 sez. I* allegate al vigente PAI.

Sezione	Progressiva (km)	Quota pelo libero $T = 200$ anni (m s.l.m.)
075	296.810	57.93
074	300.760	57.55
073	302.705	57.33
072	305.980	56.65
071	310.290	56.05
070	314.475	54.47

Tab. 1 – Quote del pelo libero riportate nella *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica (Autorità di Bacino del Fiume Po)*.

In base ai riscontri cartografici, la parte di golena inclusa nella fascia B risulta pressoché pianeggiante con quote del terreno per la maggior parte comprese fra 50 m e 52 m, a cui corrispondono elevate profondità (fra 4 e 6 m) al transito della piena di riferimento.

Il trasporto dei sedimenti all'interno dell'area golenale

Da quanto pubblicato nel PAI sembrerebbe che la superficie del suolo sulla golena si trovi in una situazione di buona stabilità: infatti, applicando il criterio di Shields, i citati valori di profondità e velocità porterebbero a stimare che all'interno della fascia B il massimo diametro mobilitabile dalla corrente, nell'ipotesi di terreno granulare incoerente non ricoperto da vegetazione, sia intorno a 1.5 mm: ciò equivarrebbe a dire che particelle di dimensioni maggiori della sabbia grossa non sarebbero mobilitabili, e indicherebbe l'attuale stabilità della zona in fascia B nei confronti dei fenomeni erosivi.

Tuttavia, prendendo in considerazione l'estesa golena posta in sinistra idrografica subito a valle della confluenza del Lambro, dai medesimi dati PAI emerge un notevole dislivello del pelo libero tra monte e valle della golena: al passaggio della piena di riferimento la superficie della corrente parte infatti da quota 57.33 m (sezione 73, cfr. tab. 1) e arriva a quota 56.05 (sezione 71, cfr. ancora tab. 1) dopo un percorso di circa 7.5 km.

Dato che la zona prossima all'argine maestro sinistro viene completamente invasa da una massa d'acqua che raggiunge profondità di vari metri, tale dislivello risulta in grado di generare una importante corrente idrica che, scorrendo in direzione parallela all'argine, può attraversare tutta la golena compiendo un percorso di circa 3 km (invece dei 7.5 km richiesti percorrendo l'alveo inciso); elementari calcoli idraulici permettono di stimare velocità di questo flusso intorno a 1.5 m/s. Si tratta di velocità molto superiori a quelle desumibili dal PAI, minori di 0.4 m/s.

Questo risultato, ottenuto dal calcolo, è in accordo con le testimonianze delle persone che hanno assistito agli ultimi eventi di piena e che riferiscono della presenza di un evidente intenso flusso parallelo all'argine.

Con tale velocità la corrente in piena è in grado di mobilitare, sull'area golenale, ghiaia di dimensione superiore ai 20 mm: un potere destabilizzante paragonabile a quello del flusso principale nell'alveo inciso, come verrà precisato nel seguito.

Legame fra la stabilità delle sponde dell'alveo inciso e quella dell'area golenale

Considerando la porzione di golena esterna alla fascia B, si osserva che la stabilità della parte di golena limitrofa all'alveo inciso è oggi in parte preservata grazie alla presenza di importanti opere a difesa della sponda, evidenziate in fig. 2.

La necessità di queste opere si è manifestata palesemente nei tempi passati, quando si evidenziò un processo di erosione della sponda indifesa.

La morfologia attuale e le caratteristiche del moto della corrente in piena confermano la necessità di tali opere. Infatti, all'interno dell'alveo inciso, dove è possibile calcolare profondità anche superiori ai 10 m e velocità che possono oltrepassare i 2 m/s, su fondo orizzontale risultano mobilitabili granuli intorno ai 20 mm di diametro; quindi nei tratti di sponda inclinata privi di difesa le medesime velocità, a causa della pendenza della sponda, possono provocare la mobilitazione di granuli di dimensione sensibilmente maggiore.

Se la pezzatura del materiale sul fondo alveo è dell'ordine di pochi centimetri, eventuali scavi profondi all'interno dell'alveo inciso possono compromettere la stabilità di tali opere di difesa, in quanto verrebbero a creare trincee subacquee le cui pareti verrebbero facilmente erose dalla corrente in moto innescando un processo di allargamento della trincea che potrebbe così raggiungere le parti più profonde delle attuali opere di difesa scalzandone il piede.

Sulla base delle precedenti valutazioni sul trasporto solido è evidente che l'eventuale danneggiamento anche di una breve porzione delle opere di difesa spondale innescherebbe la mobilitazione del materiale depositato sul contorno della golena; è inoltre molto probabile che ciò possa dare inizio a un fenomeno erosivo che partendo dalla sponda si propaghi verso l'interno della golena.

È importante sottolineare che tale fenomeno erosivo potrebbe avere conseguenze su scala molto ampia: infatti, come mostrato in precedenza, in una vasta parte dell'area golenale la corrente in piena è in grado di porre in movimento sedimenti dello stesso ordine di grandezza di quelli mobilitabili all'interno dell'alveo inciso.

Di conseguenza, il medesimo processo erosivo localizzato sulla sponda può potenzialmente agire in favore della riattivazione di un antico alveo, oggi abbandonato, che correva proprio parallelamente all'argine sinistro.

Va ribadito che oggi la difesa spondale non è continua, presentando ad esempio una vasta interruzione nel tratto subito a valle della sezione S14 indicata in fig. 2 (tale sezione corrisponde alla n. 73 di fig. 1); in accordo alle precedenti argomentazioni, questa interruzione rappresenta un potenziale rischio per l'intera area golenale, amplificata dalla locale discontinuità della copertura vegetale come evidenziato dalla foto 1.



Foto 1 – Al centro della foto aerea, tratta da Google Earth, si può notare la presenza di vaste aree in cui la copertura vegetale è assente, e quindi è favorita la movimentazione dei sedimenti a opera della corrente in piena, proprio in corrispondenza di una vasta interruzione della difesa spondale (cfr. fig. 2).

Il rischio di erosione in condizioni di piena

Si può concludere che buona parte della grande area golenale a valle della confluenza del Fiume Lambro, limitata a nord dall'argine maestro sinistro, è oggi esposta a un potenziale rischio di erosione che potrebbe anche favorire la riapertura di un antico alveo abbandonato.

Una valutazione precisa e puntuale della effettiva entità del processo erosivo, e della dinamica della sua evoluzione spazio-temporale, può essere stabilita solo sulla base di una accurata modellazione idraulica che permetta l'esatta definizione della distribuzione delle velocità del flusso in tutta l'area in esame. Va però segnalato che i primi calcoli effettuati, e che hanno evidenziato il potenziale rischio, sono in accordo con le osservazioni empiriche compiute sulla corrente in piena e sul territorio.

Alla luce di quanto conosciuto oggi sull'assetto locale dell'alveo e sullo scorrimento della corrente in piena, risulta necessario monitorare attentamente l'area per poter intervenire tempestivamente qualora si noti l'insorgere di un fenomeno erosivo.

Per ridurre la vulnerabilità dell'area risulta necessario preservare le attuali opere di difesa spondale e ripristinare quelle danneggiate. L'evidenziata fragilità delle opere presenti (foto 2) rende necessaria molta cautela per qualsiasi intervento esterno che sposti materiale all'interno dell'alveo inciso, e sconsiglia decisamente l'effettuazione di scavi sul fondo.

Per lo stesso motivo, è potenzialmente pericolosa la asportazione delle barre antistanti le opere spondali che oggi provvedono a riparare le stesse attraverso il duplice ruolo di limitare la velocità della corrente prossima alla sponda e di ostacolare lo scalzamento del piede della difesa.

All'interno della golena è altamente consigliabile garantire la stabilità del terreno superficiale attraverso la continuità della copertura vegetale, e favorire la presenza di vegetazione d'alto fusto al fine di rallentare la velocità della corrente che attraversa l'area golenale e ridurre il potenziale erosivo.

Di conseguenza, ogni intervento che preveda la riduzione della vegetazione o comunque della copertura del terreno, anche in zone di estensione limitata, è da ritenersi a sfavore della stabilità dell'area golenale.



Foto 2 – Un tratto della difesa spondale in sinistra dell'alveo inciso, fotografata in occasione delle eccezionali condizioni di magra verificatesi nell'estate del 2006. La foto evidenzia, oltre al non ottimale stato dell'opera, la funzione di tutela esercitata dall'accumulo di ghiaia in primo piano: una sua asportazione o erosione farebbe mancare la base d'appoggio ai massi e il degrado dell'opera verrebbe certamente accelerato.

L'assetto idraulico dell'alveo inciso

La valutazione delle tendenze evolutive dell'alveo inciso può essere fatta ricorrendo a due recentissimi documenti prodotti dall'Autorità di Bacino: la *Direttiva per la gestione dei sedimenti* e il *Programma generale di gestione dei sedimenti sul fiume Po*. A essi fanno riferimento le figg. 2, 3, e 4.

Sulla base di quanto contenuto nei predetti documenti, la fig. 2 riproduce la tavola che definisce lo stato attuale dei luoghi dal punto di vista dell'evoluzione morfologica dovuta al trasporto solido. Come si può notare, è evidenziato (linea bianco-rossa) un fronte attivo di erosione spondale in corrispondenza della foce del Lambro. Sempre vicino alla foce, la riga verde chiaro in sponda sinistra del Po denota una "opera di difesa strategica soggetta a sollecitazioni dirette". L'opera è definita strategica in quanto posta a protezione dell'argine maestro sinistro, denotato dalla linea blu e, in un tratto, dalla linea verde che indica come l'argine sia esposto a sollecitazioni dirette data la sua vicinanza all'alveo inciso.

Procedendo verso valle l'opera di difesa strategica viene a trovarsi alle spalle di una grossa barra; la carta (fig. 2) indica l'assenza di opera di difesa spondale per un lungo tratto intorno alla progressiva 308, mentre poco più a valle si trova un'altra opera di difesa in prossimità della quale è indicato un fronte attivo di erosione spondale.

Di particolare rilevanza la vasta zona posta in fregio all'argine maestro sinistro e indicata da un tratteggio a linee violette nella fig. 4: si tratta di una "*fascia di salvaguardia in cui risulta incompatibile la divagazione planimetrica dell'alveo inciso*". Questa prescrizione assume un importante significato se si pensa che in prossimità di essa era presente un ramo del fiume che in seguito è stato abbandonato.

E' anche importante rilevare che, nella medesima carta degli obiettivi (fig. 4), l'intero tronco di Po rappresentato è indicato come tratto ove mantenere le attuali condizioni di trasporto solido, mantenere l'attuale tendenza in atto riguardo all'evoluzione del fondo alveo, e garantire permanentemente la navigazione turistica.

La barra indicata dalla lettera A al centro di Fig. 2 indirizza la corrente in magra verso la sponda destra; per quanto esposto in precedenza, in condizioni di piena essa viene attraversata da una corrente con velocità tutt'altro che trascurabili dirette verso est, e quindi svolge un ruolo di protezione della vicina difesa spondale in sinistra idrografica.

Tale ruolo risulta oggi importante alla luce della vulnerabilità della grande area golenale nei confronti dei fenomeni erosivi, con particolare riguardo alla già citata *fascia di salvaguardia* in prossimità della fondamentale difesa idraulica costituita dall'argine maestro sinistro e all'attuale assenza di opere di difesa spondale proprio in corrispondenza della barra.

Infatti, come discusso nei precedenti paragrafi, l'attuale capacità di trasporto della corrente in piena è in grado di consentire la propagazione – anche per lunghe distanze – di eventuali fenomeni erosivi innescatisi all'interno dell'area golenale oppure in corrispondenza delle sponde. L'innescio di tali fenomeni è certamente favorito dalle citate discontinuità nella difesa spondale.

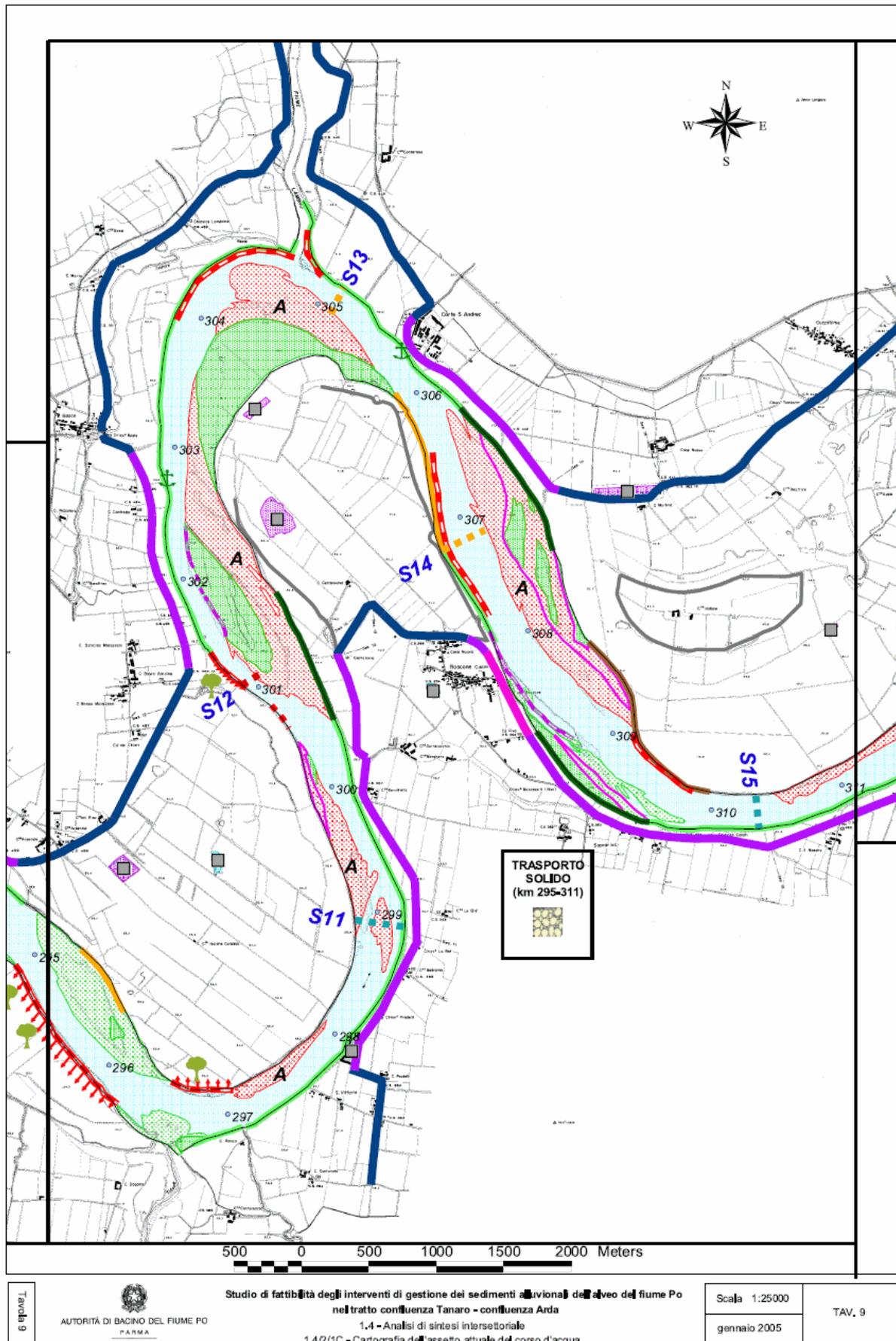


Fig. 2 – Carta dell’assetto attuale dell’alveo (Autorità di Bacino del Fiume Po)



Fig. 3 – Legenda per le tavole di fig. 3 (a sinistra) e di fig. 4 (a destra).

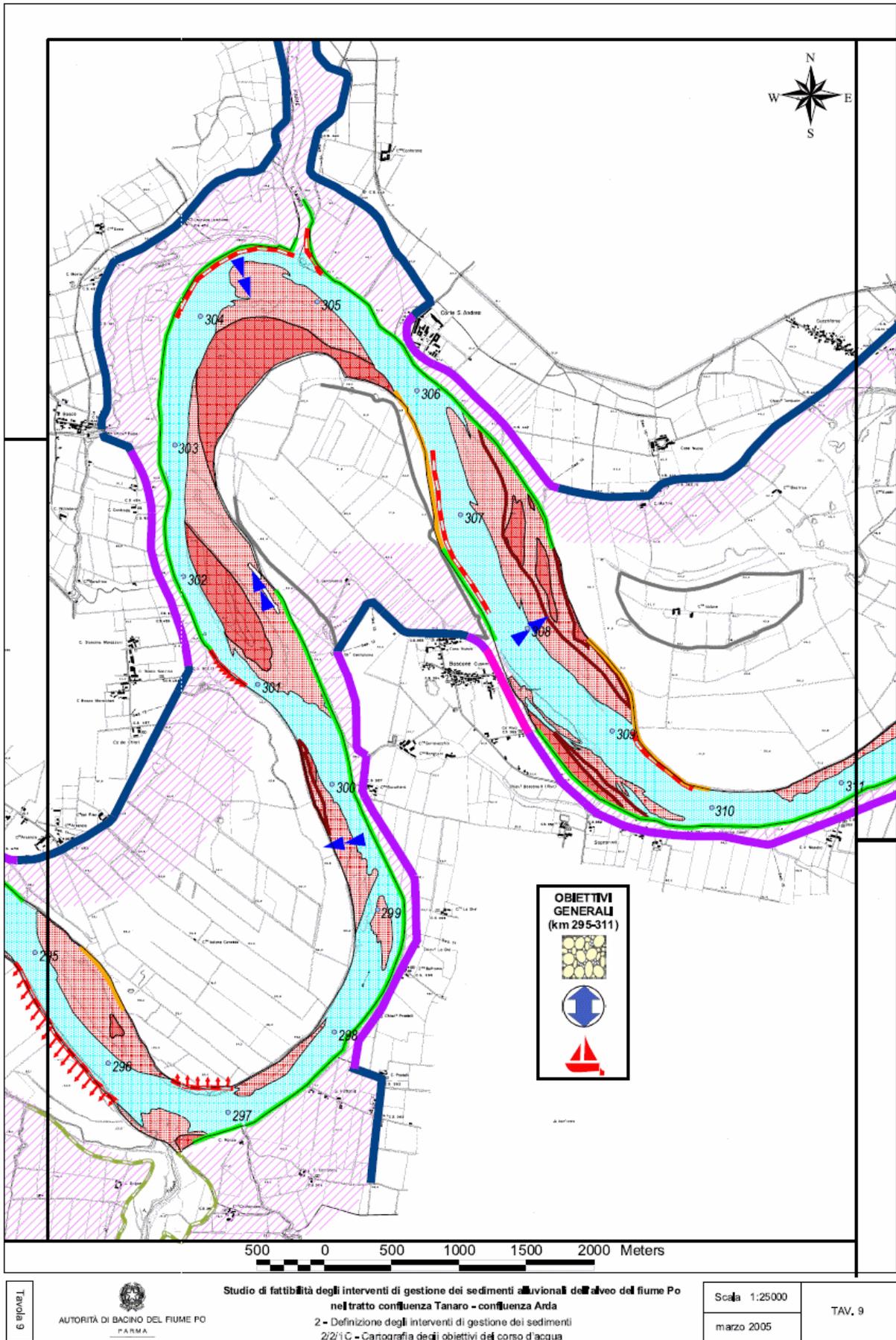


Fig. 4 – Carta degli obiettivi del corso d’acqua (Autorità di Bacino del Fiume Po)

Conclusioni

In questa relazione è stato sinteticamente esaminato l'assetto idraulico del tratto dell'alveo del Fiume Po a valle della foce del Fiume Lambro, presentando alcune elaborazioni preliminari effettuate sulla base della configurazione morfologica attuale e dei risultati di recenti studi idraulici che hanno analizzato sia le caratteristiche del moto della corrente che le tendenze evolutive in atto nell'alveo.

Alla luce delle considerazioni esposte, e delle valutazioni idrauliche effettuate per mezzo di alcuni modelli interpretativi, appare di tutta evidenza come il tratto in esame presenti delle criticità soprattutto in corrispondenza di importanti opere di difesa spondale, poste in fregio all'alveo inciso, e all'interno di vaste aree golenali.

Ad esempio, buona parte della grande area golenale a valle della confluenza del Fiume Lambro, limitata a nord dall'argine maestro sinistro, è oggi esposta a un potenziale rischio di erosione proprio in corrispondenza di una *fascia di salvaguardia*, così definita dall'Autorità di Bacino del Po, necessaria a preservare la stabilità dell'argine maestro sinistro che oggi garantisce la sicurezza del territorio del Basso Lodigiano.

Per la stabilità del terreno all'interno dell'area golenale è altamente consigliabile mantenere – e ripristinare ove necessario – la continuità della copertura vegetale, e favorire la presenza di vegetazione d'alto fusto al fine di rallentare la velocità della corrente che attraversa la zona durante la piena e ridurre così il potenziale erosivo.

Di conseguenza, ogni intervento che preveda la riduzione della vegetazione o comunque della copertura del terreno, anche se in zone di estensione limitata, è a sfavore della stabilità dell'area golenale.

Parimenti, interventi che comprendono la movimentazione di terreno, eliminandone quindi la compattezza e la coesione, provocano un deciso aumento dell'erodibilità e sono in grado di innescare fenomeni erosivi che, nella attuale configurazione della golena, possono propagarsi anche per distanze considerevoli.

Ulteriore elemento di rischio è l'evidenziata fragilità delle opere spondali presenti; questa rende necessaria molta cautela per qualsiasi intervento esterno che sposti materiale operando nell'alveo inciso, e sconsiglia decisamente l'effettuazione di scavi sul fondo.

Di conseguenza, movimenti di terra nei terreni vicini e scavi in alveo aumentano il rischio di erosione della *fascia di salvaguardia* di cui sopra; è appena il caso di ricordare che il rischio di cedimento dell'argine maestro verrebbe senza ombra di dubbio gravemente amplificato dalla erosione della fascia stessa.

Per ridurre la vulnerabilità dell'area risulta altresì necessario completare la difesa spondale in quei tratti in cui essa manca, preservare le opere di difesa attualmente esistenti e ripristinare quelle danneggiate.

La presenza e l'integrità di tali difese è infatti essenziale per la conservazione delle attuali aree golenali, con particolare riguardo al tratto di golena prossimo all'argine maestro sinistro, dato che sulle sponde viene accentuata la già elevata capacità della corrente in piena a mobilitare il materiale solido sulla superficie del terreno golenale.

Per lo stesso motivo, è potenzialmente pericolosa la asportazione delle barre antistanti le opere spondali; le barre infatti oggi provvedono a riparare la sponda attraverso il duplice effetto di limitare la velocità della corrente in loco e di ostacolare lo scalzamento del piede delle opere di difesa.

Prof. Ing. Paolo Ghilardi
Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale
Università degli Studi di Pavia