



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

**LINEE GENERALI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO E QUADRO DEGLI INTERVENTI
BACINO DELL' ADDA SOTTOLACUALE**

6. Linee generali di assetto idraulico e idrogeologico nel bacino dell'Adda sottolacuale

6.1 Caratteristiche generali

6.1.1 Inquadramento fisico e idrografico

Il bacino dell'Adda ha una superficie complessiva di circa 7.927 km², per il 94% circa in territorio italiano e per il rimanente 6% in territorio svizzero. Complessivamente il bacino si trova per il 79% in ambito montano e per il 21% in pianura; la parte italiana del bacino si trova per l'81% in ambito montano e per il 19% in pianura. La quota in territorio italiano di questo bacino costituisce l'11% della superficie complessiva del bacino del fiume Po.

Il bacino imbrifero dell'Adda si compone dei seguenti sottobacini:

- Adda sopralacuale (Valtellina e Valchiavenna),
- lago di Como,
- Adda sottolacuale,
- Brembo,
- Serio.

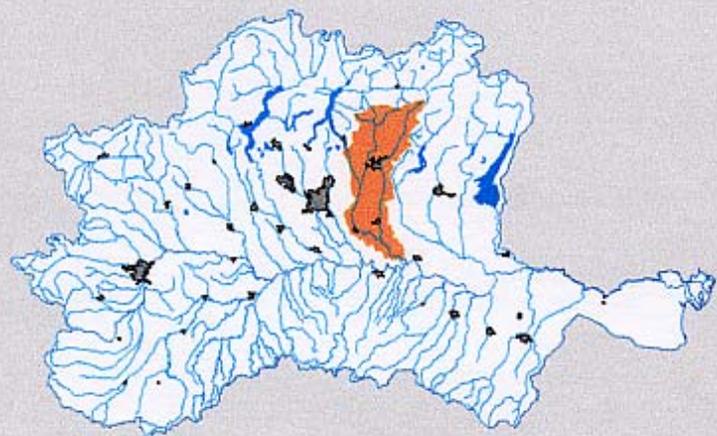
Il bacino sopralacuale è formato dal bacino dell'Adda montano, che si sviluppa in direzione est-ovest e dal bacino del fiume Mera che raccoglie i deflussi della Valchiavenna. Gli affluenti principali sono i torrenti Frodolfo, Mallerò, Masino, Tartano e Bitto.

Il bacino del lago di Como è drenato da una serie di torrenti quali Pioverna, Breggia, Faloppia, Albano, Liro e Livo.

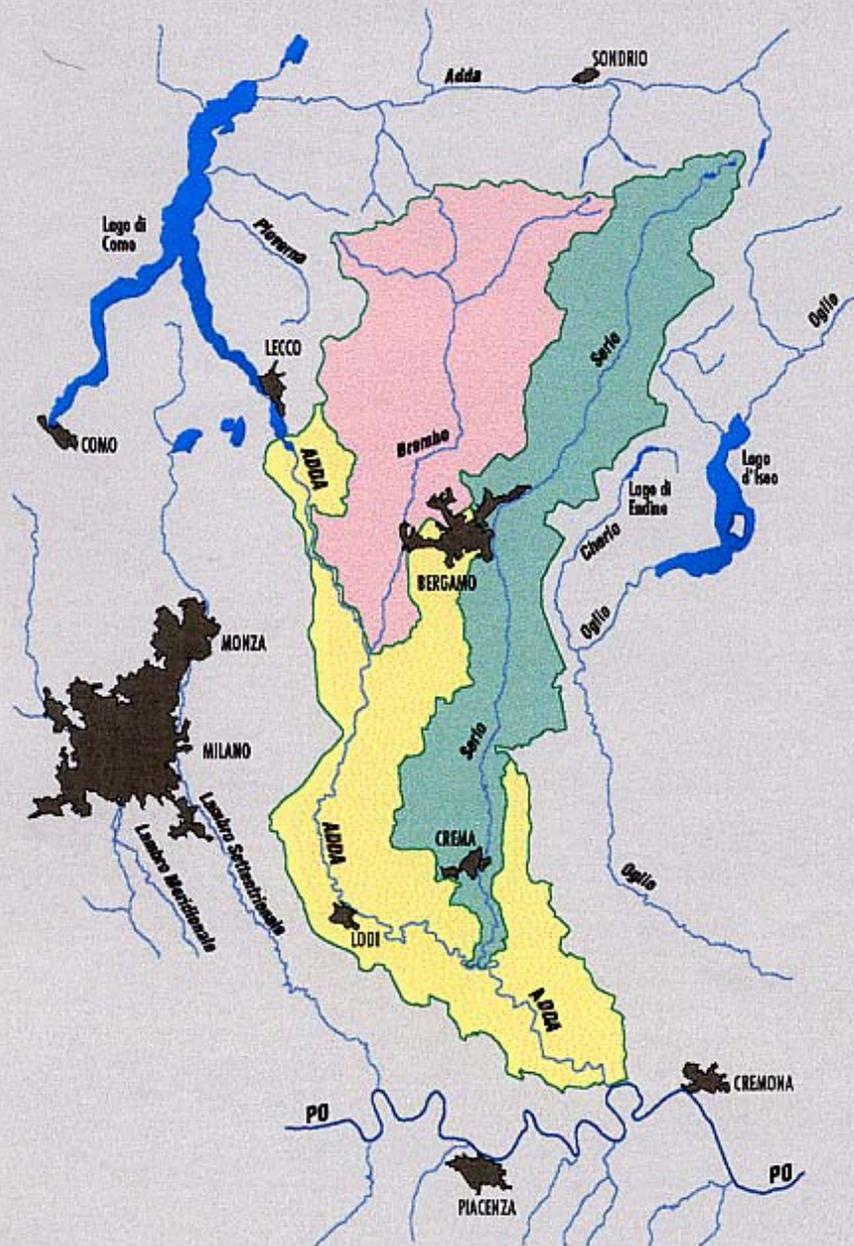
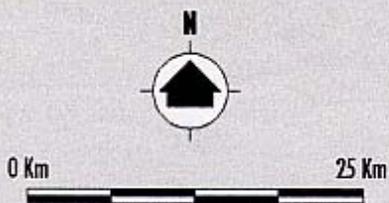
L'Adda sottolacuale, oltre a ricevere il Brembo e il Serio, è alimentato da un bacino di pianura incerta definizione, in relazione alla fitta rete di canali e corsi d'acqua minori fittamente sviluppati che determinano interscambi con i bacini limitrofi; i principali affluenti in destra sono i torrenti Brembo di Mezzoldo, Enna, Brembilla, Imagna, Lesina e Dordo; in sinistra i torrenti Valsecca, Parina, Serina e Quisa.

Il fiume Brembo scorre nella zona occidentale della provincia di Bergamo con direzione nord-sud e confluisce in Adda all'altezza di Canonica d'Adda.

**FIG. 6.1. BACINO DEL FIUME ADDA SOTTOLACUALE:
AMBITO FISIOGRAFICO**



-  **SOTTOBACINO DELL'ADDA**
-  **SOTTOBACINO DEL SERIO**
-  **SOTTOBACINO DEL BREMBO**



Il fiume Serio è costituito da un bacino imbrifero relativamente ampio, costituente lo spartiacque tra la Valtellina ed il versante sud; prende origine dal Pizzo Coca in comune di Valbondione.

Il reticolo idrografico nel suo complesso è fortemente influenzato da elementi di carattere geologico-strutturale e geomorfologico; la Valtellina infatti ha un andamento longitudinale rispetto alla catena alpina e segue strettamente la linea del Tonale. Sempre in questa zona i ghiacciai quaternari hanno inciso fortemente il substrato facendo sì che il livello dell'Adda sia decisamente più basso rispetto a quello dei bacini circostanti.

Si può inoltre osservare come a monte del lago di Como il bacino sia asimmetrico, con il settore in destra orografica molto più sviluppato di quello in sinistra. Tali fattori sono rispecchiati da un indice di biforcazione con uno dei valori più elevati dell'intero bacino idrografico del Po da alti scostamenti dei valori del rapporto di biforcazione.

L'asta dell'Adda, a valle della confluenza del Brembo, è suddivisibile in tre tronchi omogenei per caratteristiche geometriche, morfologiche e idrauliche.

Il tronco di monte ha un alveo meandriforme, con curvature poco accentuate e presenza di formazioni alluvionali alimentate dall'apporto del Brembo, costituite in massima parte da ciottoli e ghiaia grossolana. La sezione dell'alveo inciso ha larghezza media di circa 200 m e altezza media di circa 6 m. Gli accumuli di materiale d'alveo comportano condizioni di deflusso irregolari, con conseguenti possibili fenomeni di instabilità morfologica.

Il tronco intermedio ha un alveo meandriforme, con curvatura più accentuata a monte e meno accentuata fino alla confluenza con il Serio, in cui permangono fenomeni di instabilità morfologica. La geometria dell'alveo è contraddistinta da una larghezza media di 80-100 m e da un'altezza di sponda media di 5,5 m. La pendenza, relativamente modesta rispetto ai tratti a monte, favorisce il deposito di materiale a granulometria medio-fine (nel campo delle ghiaie e delle sabbie). Le formazioni alluvionali presenti sono alimentate ancora dall'apporto del Brembo e dalle erosioni di sponda riscontrabili in numerosi tratti.

Il tronco finale, prossimo alla confluenza con il Po, ha un andamento a meandri con curvatura accentuata su cui sono inserite opere spondali e presenta fenomeni di instabilità evidenziati dalle locali tendenze all'erosione di sponda. Le caratteristiche geometriche dell'alveo sono contraddistinte da una larghezza media pari a 100-120 m, con tendenza a presentare valori più ridotti all'uscita

delle curve, e da una altezza media di sponda di 6-7 m. Il materiale d'alveo è di tipo ghiaioso, con presenza di lenti di sabbia molto consistenti.

Ai fini delle analisi conoscitive e della successiva delineazione degli interventi, il bacino idrografico dell'Adda viene suddiviso nelle seguenti componenti:

- il bacino dell'Adda sopralacuale che viene presentato, per il maggior dettaglio che caratterizza le analisi conoscitive e le proposte di intervento, in un monografico a parte (elaborato di Piano 3.6)
- l'asta dell'Adda nel tratto sublacuale;
- l'asta del Brembo;
- l'asta Serio;
- i sottobacini montani del Brembo e del Serio.

6.1.2 Caratteri generali del paesaggio

6.1.2.1 Caratteri generali del fiume Adda

Il fiume Adda dalla sorgente, presso il passo dell'Alpisella, nel Parco nazionale dello Stelvio, scende per la valle di Fraele nell'alto solco della Valtellina e si immette nel Lario, attraversato il Piano di Spagna, una delle più importanti e suggestive aree umide dell'arco alpino.

La Valtellina, con il suo andamento longitudinale est-ovest, dovuto alla formazione della "linea insubrica", o "linea del Tonale", estesa porzione di faglia di cui la valle costituisce appunto la parte centrale, divide le Alpi Retiche dalle Alpi Orobiche e dalle Prealpi.

Nel complesso il paesaggio è tipicamente alpino, con presenza di ambienti di alta montagna, cime oltre i 2000 m s.m., morfologie glaciali, periglaciali e fluvio-glaciali. Sono presenti numerose zone umide d'alta quota e formazioni di torbiera; la flora e la vegetazione sono tipicamente alpine con numerose specie endemiche, relitti glaciali e interglaciali. Alle medie quote prevale il bosco misto a latifoglie. Oltre i 600-800 m s.m. predominano le conifere, l'abete bianco, l'abete rosso, il larice. Nei fondovalle prevale il prato, sostituito via via che si sale dal castagneto e dal querceto. Lungo i corsi d'acqua sono presenti formazioni a ontani e luppolo. Anche la fauna è di tipo alpino, con numerose specie ben rappresentate numericamente in tutti i gruppi animali.

Le pendici retiche tuttavia esposte a sud godono di un microclima più caldo e più secco rispetto alle corrispondenti quote del versante orobico. Ciò ha generato differenti vocazioni ambientali: il versante retico rappresenta un'area

di antico popolamento, dove più denso è tuttora il sistema insediativo e maggiormente articolata l'infrastrutturazione viaria. La diversa vocazione agricola dei due versanti (colture specializzate a nord, agro-pastorale a sud) spiega anche le differenti tipologie urbanistiche ed edilizie dei centri abitati.

La Valchiavenna, solcata dal fiume Mera, si presenta come un taglio netto perpendicolare all'andamento della catena alpina, nel punto in cui il Lario è già profondamente penetrato nel sistema montuoso. Fin da epoche remote costituì perciò un frequentato percorso nel cuore delle Alpi centrali, traendo dalla funzione di area di transito i fattori determinanti del suo sviluppo.

A nord e a ovest del lago di Como, fino al confine di Stato, il paesaggio è ancora montuoso: comprende infatti valli e rilievi anche di notevole altezza (Pizzo Tambò), caratterizzati da una morfologia tormentata, con pareti a strapiombo, alternate a morene e coni di deiezione. Sono presenti alcune aree di elevato interesse naturalistico, tra le quali la Riserva regionale delle Marmitte dei Giganti, le cascate dell'Acquafraggia, la riserva regionale Lago di Piano.

Nell'area compresa tra Lecco e Rivolta d'Adda il fiume scorre nell'ambito del Parco regionale Adda Nord. Il territorio è composito; nel primo tratto vede lo scorrere del fiume attraverso valli molto incise, in cui affiora la formazione del "ceppo". Segue un tratto di fiume tipicamente planiziale. Immediatamente a valle di Lecco si formano i laghi di Garlate e di Olginate. La flora ripariale è ben conservata nel primo tratto, con prati umidi ed esemplari di farnia, pioppo nero, ontano; le rive sono colonizzate dal fragmiteto, mentre nel tratto planiziale è presente il bosco ripariale con ontano, pioppo bianco, pioppo nero, sambuco, nocciolo, sanguinello; più rara la farnia. Le acque sono caratterizzate nel primo tratto da salmonidi, timallidi e ciprinidi reofili mentre nel tratto planiziale permangono i ciprinidi reofili. Per il resto la fauna risulta limitata dalla forte antropizzazione. È presente un'avifauna acquatica e ripariale.

In questo tratto il fiume scorre al margine della Brianza, uno dei maggiori poli produttivi del paese, il cui sviluppo ha portato a preoccupanti dissesti ecologici e a trascurare il più delle volte il valore storico dei luoghi.

Lungo il limite fra la bassa e l'alta pianura milanese corre il Naviglio della Martesana, che collega Milano a Trezzo sull'Adda e attraversa un territorio che mutua il nome dal naviglio stesso. Il naviglio, "divisato nel 1457 e tratto a fine nel 1460", raffitti altri più antichi collegamenti imperniati sulle strade romane per Bergamo e per Brescia (la prima passava l'Adda presso Canonica, la seconda poco sotto Cassano), e sulla medievale via Castellana che univa la fortezza di Trezzo a Milano. Queste vie di comunicazione, per acqua o per terra,

potenziate nel '700 dalla "postale veneta", verso la metà dell'800 dalla ferrovia per Venezia e poco dopo dalle tramvie interurbane, diedero vita a una minuta e diffusa attività commerciale che ebbe il suo punto di raccolta nei mercati di Gorgonzola e Melzo. Tali attività furono di complemento all'agricoltura, che per la diversa giacitura dei suoli alternava volume e qualità della produzione: tenue nella parte alta asciutta, elevata, in quella bassa irrigua, con forte slancio delle lavorazioni casearie.

Il volto di questo territorio assume oggi i connotati tipici della periferia metropolitana, assorbendo funzioni industriali e residenziali allontanate da Milano e qui insediate per i vantaggi di una facile accessibilità.

Nella valle dell'Adda, da Cassano in su, il rapporto fra componenti naturali e antropiche acquista il valore di testimonianza storica per lo stretto vincolo che legava un tempo le unità produttive alla disponibilità di forza idrica. Il fiume era fonte di energia non solo per gli opifici ottocenteschi che integravano precedenti filande, ma anche per le successive centrali elettriche che, riducendo la dipendenza estera dal carbone, diedero il primo impulso all'industria idroelettrica nazionale. Altro discorso meriterebbero i villaggi operai dei Crespi e di Andrea Ponti, significativi della volontà di isolare in un ideale involucro protettivo la ragione umana e sociale del lavoro. Per la notevole concentrazione degli episodi, per la loro qualità formale e funzionale, per il richiamo di una nutrita letteratura, la valle dell'Adda è ritenuta oggi tra i più fecondi campi d'indagine dell'archeologia industriale.

Il tratto meridionale della valle, dai confini amministrativi della provincia di Cremona fino alla foce del fiume Po, è compreso nel Parco regionale Adda Sud. Nel Parco si rinvengono tutti gli aspetti vegetazionali tipici delle aree planiziali e golenali, sebbene spesso limitati nell'estensione e alterati nella composizione floristica per cause antropiche. Negli specchi d'acqua liberi delle lanche la vegetazione è data da idrofite sommerse, lamineto, fragmiteto, magnocariceto, cui segue la vegetazione arborea a salice bianco, ontano, pioppo bianco o nero e infine il querceto misto golenale, stadio climax della vegetazione della valle dell'Adda. Sono segnalate varie specie rare (orchidee, ranunculacee, liliacee). Interessante la presenza di rovere ed elleboro verde. La notevole diversità ambientale consente la sopravvivenza di una fauna piuttosto rara. L'ittiofauna è ben rappresentata anche se è segnalata una preoccupante rarefazione di specie pregevoli. Erpetofauna: frequenti i tritoni; presente nelle aree boscate la rana di Lataste, endemica nella pianura padana. Avifauna: sono segnalate più di 200 specie tra stanziali, migratorie e svernanti (falco di palude,

cormorani). Mammalofauna: piccoli nuclei di Daini e cinghiali; tasso, puzzola, faina, donnola.

Nel parco è presente la riserva Adda Morta che rappresenta un vecchio meandro dell'Adda, abbandonato dal fiume e quindi trasformato in una palude per mancanza di flusso di acqua corrente. La riserva include una morta fluviale e una lanca comunicante con l'Adda, collegate fra loro da un canale. È costituita da estesi e interessanti ambienti umidi e ridotti tratti boscati situati in piccola parte sopra la scarpata di un marcato terrazzo. Ambienti di questo tipo erano un tempo molto comuni in Val Padana, ma sono sempre più rari a causa del processo di bonifica e conversione in campi coltivati.

Il corso inferiore dell'Adda scorre nella bassa pianura cremonese, nella quale testimonianze di storia si hanno a partire dall'epoca romana. La rete dei canali, l'orientamento dei campi recano infatti in più luoghi la caratterizzazione del reticolo ortogonale (centuriazione) delineato dai gromatici romani.

Il sistema insediativo tradizionale, distribuito in modo funzionale all'organizzazione agraria, è rimasto quasi immutato; a una certa distanza da Cremona si situano gli altri poli economicamente "forti", collegati con il capoluogo da una trama diffusa di minuscoli centri e di cascine rurali, spesso di pregio architettonico. A questa rete urbana sono state risparmiate le macroscopiche trasformazioni edilizie che caratterizzano altre zone della pianura padana e vi è pressoché assente il fenomeno delle conurbazioni. Non sono mancate tuttavia nel sistema insediativo più debole, quello delle cascine, dinamiche di segno negativo; la progressiva meccanizzazione del lavoro dei campi, la crisi della zootecnia e la ricerca di una diversa qualità della vita hanno portato al parziale abbandono delle strutture edilizie sparse sul territorio e, inevitabilmente, al degrado del patrimonio dell'architettura rurale. Lo stesso paesaggio agrario è andato gradualmente immiserendosi per la sistematica distruzione delle alberature e delle siepi che un tempo intervallavano una maglia di campi ben più parcellizzata dell'attuale.

6.1.2.2 Caratteri generali del fiume Brembo

In prossimità del centro abitato di Vaprio d'Adda sbocca la val Brembana, estesa dalle dorsali del pizzo dei Tre Signori e del pizzo del Diavolo di Tenda fino allo sbocco in pianura. Il bacino è suddiviso in due rami principali dal contrafforte dei monti Pagherolo, Secco e Forcellino di Tòrcola, che, disegnandone l'ampio ventaglio sorgentifero, individua le due aree dell'alta valle. Verso sud, a partire dal nodo di Lenna, la valle si restringe alternando alle strette forre

le brevi pause delle conche e i fitti segnali di innesto delle valli laterali, fino alla serrata conclusione in prossimità della pianura. Stabilmente abitata dall'età preistorica, fu riscattata dal secolare isolamento grazie alla costruzione della via "Priula", nel 1590, di collegamento con la Lombardia veneziana e la Svizzera. La strada fu poi condizione determinante dello sviluppo industriale nel segmento inferiore della valle, ove si affermò con precocità nei settori tessili e della carta. Tale fenomeno decresce man mano che si risalgono i tratti medio e alto e ci si addentra nelle valli laterali, aree dove l'abbandono delle attività agro pastorali, il conseguente spopolamento, nonché la scoperta dell'industria turistica sono eventi relativamente recenti.

6.1.2.3 Caratteri generali del fiume Serio

Percorsa dal fiume Serio, il principale affluente dell'Adda, la valle Seriana si caratterizza per la presenza di una serie di quadri fisici differenziati, corrispondenti ai distinti caratteri orografici del territorio, il quale, a partire dalla porzione iniziale, in cui la valle, distesa su un fondo ampio e limitato da fianchi morbidi, denuncia la propria origine di golfo padano, a quella media, caratterizzata da pianori estesi al margine del terrazzo fluvio-glaciale di Ponte Selva, fino all'ultima, di aspetto alpino, del bacino tra Gromo e Valbondione, presenta caratteri di accessibilità e praticabilità, adatti a favorire un rapido processo insediativo.

Tra i bacini laterali di rilevante interesse sono la val Gandino e l'altopiano di Clusone. Molteplici i centri di spessore storico e così i luoghi di pregio ambientale e paesistico.

6.1.3 Aspetti geomorfologici e litologici

Nel seguito si descrivono le principali caratteristiche geolitologiche del bacino con particolare attenzione verso quei litotipi che per le proprie caratteristiche geomeccaniche manifestano alti gradi di erodibilità e/o propensione a dissesti gravitativi; fra parentesi si indica la sigla del litotipo riportata nella cartografia di Piano alla scala 1:250.000 della *Geolitologia*.

Il bacino idrografico del fiume Adda, può essere suddiviso in quattro sottobacini: Adda sublacuale, Lario, Mera e Valtellina.

Il sottobacino dell'Adda sublacuale è suddivisibile per gli aspetti litologici in due aree distinte, separate dalla località di Merate. A valle di tale località la litologia predominante è costituita da depositi derivanti dall'alterazione di rocce e terreni (DCG). L'area a monte è caratterizzata da litoidi sedimentari con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità (LDS) e alternanze di litotipi

eterogenei a diverso comportamento meccanico (ADM). In subordine litotipi sedimentari massivi (LMS), depositi glaciali e fluvioglaciali (DGL) e in piccoli affioramenti terreni, a comportamento plastico (TCP).

Il sottobacino del Lario è suddivisibile da una linea che congiunge le località di Bellano e S. Abbondio con direzione nord-ovest-sud-est, che è rappresentabile come fascia a litoidi metamorfici massivi (LMM). L'area a sud è caratterizzata da litoidi sedimentari massivi e con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità (LDS, LMS). Nell'area a sud di Como è possibile incontrare un modesto affioramento ad alternanze di litotipi a diverso comportamento meccanico (ADM). In subordine depositi glaciali e fluvioglaciali (DGL) e depositi eterogenei e di versante e di trasporto torrentizio (DEV). L'area a monte, è costituita prevalentemente da una fascia con direzione est-ovest a litologia metamorfica, con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità (LDM).

Tra i sottobacini del Lario e del Mera si incontra una sottile fascia, con direzione est-ovest, costituita da litoidi ignei massivi (LMI), che delimita i due sottobacini confinanti. L'area di testata del sottobacino del Mera è caratterizzata da litoidi metamorfici massivi e con frequenti discontinuità per stratificazione o per scistosità (LDM, LMM). Il sottobacino del torrente Lirio presenta in vetta depositi eterogenei di versante e di trasporto torrentizio (DEV) e in valle depositi glaciali e fluvioglaciali (DGL). In confluenza tra il torrente Lirio e il fiume Mera esiste un considerevole affioramento di litoidi sedimentari con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità (LDS). L'area di valle è predominata da litotipi metamorfici massivi (LMM) con l'esclusione della Val Codera in cui si incontrano litoidi ignei massivi (LMI).

Il sottobacino della Valtellina è costituito da litoidi metamorfici con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità (LDM). La litologia che caratterizza le zone di testata tra le valli di Frale e di Braulio è costituita da litoidi sedimentari con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità (LDS). Rocce ignee di tipo massivo interessano l'intero sottobacino del torrente Masino e nella parte alta il fiume Adda tra le località di Sondalo e Tola. In subordine e sporadicamente si incontrano affioramenti di litoidi metamorfici massivi (LMM). Diversi affioramenti, di depositi glaciali e fluvioglaciali (DGL) e depositi eterogenei e di versante e di trasporto torrentizio (DEV), sono distribuiti su tutta l'area del sottobacino. In prossimità della località di Berbenno di Valtellina si incontra un esteso affioramento di terreni ad abbondante componente organica (TCO).

Alluvioni fluviali e lacustri fiancheggiano i principali corsi d'acqua di tutto il bacino.

6.1.4 Aspetti idrologici

6.1.4.1 Caratteristiche generali

L'Adda è caratterizzato da un regime pluviometrico di tipo continentale, con massimi estivi e minimi invernali. I sottobacini dell'Adda alpino, in riferimento ad eventi a tempo di ritorno 100 anni presentano contributi specifici unitari assai elevati, dell'ordine di $2 \text{ m}^3/\text{s km}^2$. L'Adda a Tirano presenta, a causa della confluenza di molti bacini secondari dotati di apporto di piena elevato, un contributo specifico unitario di piena di $0,7 \text{ m}^3/\text{s km}^2$. Tale contributo unitario di piena diminuisce lungo lo sviluppo del corso d'acqua, dallo 0,7 di Tirano allo 0,55 di Fuentes, allo 0,2 di Olgiate e Pizzighettone.

Il regime di deflusso a valle del lago di Como è influenzato dall'effetto di laminazione e regolazione sulle portate. Il massimo livello idrometrico del lago alla stazione di Malgrate con frequenza cinquantennale è di 2,8 m. Nel periodo di non regolazione (1845-1945) si sono verificati 5 colmi con livello superiore a 3 m, mentre nel periodo regolato dello sbarramento di Olginate (1946-94) i colmi si sono ridotti a due. Il volume regolato nel lago è di circa 247 milioni di m^3 .

Nei bacini dell'Adda e del Mera sono stati costruiti numerosi serbatoi e si sono regolati laghi naturali prevalentemente a scopo idroelettrico; la capacità utile complessiva è di 405 milioni di m^3 .

I sottobacini del Brembo e del Serio si distinguono per l'elevata piovosità che interessa le aree che si trovano in prossimità dello spartiacque della Valtellina, nonché in alcuni settori delle medie valli. I contributi specifici unitari del Brembo di Mezzoldo e del Brembo orientale sono dell'ordine di $3 \text{ m}^3/\text{s km}^2$, il Brembo a Ponte Cene presenta un contributo unitario di $1,15 \text{ m}^3/\text{s km}^2$.

6.1.4.2 Portate di piena e piene storiche principali

Nel bacino idrografico dell'Adda le stazioni di misura per le quali sono disponibili valori storici delle portate di piena, sufficientemente significativi, sono elencate in Tab. 6.1.

L'evento di maggiore gravità che ha colpito il bacino dell'Adda, nel suo complesso, è quello del luglio '87. Tutta la valle sopralacuale (particolarmente la Valtellina) fu interessata da gravi dissesti idrogeologici. Sulla porzione

sottolacuale del bacino, che qui interessa specificatamente, il lago di Como svolse funzione laminante annullando gli effetti della piena.

Per analisi di dettagliata dell'evento e delle sue conseguenze sulla porzione sopralacuale si rinvia alla specifica monografia 3.6 *Adda Sopralacuale*.

Tab. 6.1. Valori delle portate di piena storiche nel bacino dell'Adda

Sezione	Superficie km ²	Hmedia m s.m.	Hmin m s.m.	Qmax m ³ /s	qmax m ³ /s km ²	Data
Adda a Tirano	906	2.136	430	540	0,60	01/11/1926
Adda a Fuentes	2.598	1.841	198	1.190	0,46	22/08/1911
Adda a Ponte di Lecco (Fortilizio)	4.508	1.560	197	1.070	0,24	06/10/1898
Adda a Lavello	4.572	1.569	195	738	0,16	03/09/1965
Adda a Pizzighettone	7.775	1.157	40	1.650	0,21	17/09/1888
Brembo a Ponte Briolo	765	1.140	230	1.580	2,07	07/11/1928
Serio a Ponte Cene	455	1.335	353	547	1,20	10/11/1927

6.1.4.3 *Trasporto solido*

La caratterizzazione del bacino in rapporto al trasporto solido nell'asta principale è definita dai seguenti elementi:

- la quantità di sedimenti mediamente prodotta dal bacino montano in funzione delle specifiche caratteristiche geologico-geomorfologiche e climatiche,
- la capacità media di trasporto solido dell'asta principale in funzione delle caratteristiche idrologiche, geometriche, granulometriche del materiale d'alveo e idrauliche.

Per il primo punto si fa riferimento alla formulazione teorico-sperimentale di Gavrilovich, il secondo parametro il valore medio annuo è stato stimato impiegando la formulazione di Engelund-Hansen

Le Tab. 6.2. e Tab. 6.3 rappresentano i dati numerici relativi alla quantità di sedimento media prodotta dal bacino montano dell'Adda per la parte sottolacuale e alla capacità di trasporto dell'asta principale.

Tab. 6.2. Caratteristiche del trasporto solido del bacino montano

Sottobacino montano	Superficie km ²	Quota media m s.m.	Precipitaz. media annua mm	Trasporto solido 10 ³ m ³ /anno	Erosione specific mm/anno
Brembo	908	1.100	1.494	139.1	0,15
Serio	552	1.200	1.447	56.8	0,10
Totale	1.460	1.138	1.476	195.9	0,13

Rispetto a un valore totale di produzione del trasporto solido a scala di intero bacino montano del Po pari a 3,35 milioni di m³/anno, il trasporto solido prodotto rappresenta il 5,85%, a fronte di un 5,13% di estensione territoriale; nel complesso quindi il bacino si colloca su valori medi di erosione, come evidenziato dal valore di erosione specifica rispetto al valore medio a scala di intero bacino pari a 0,12 mm/anno.

Tab. 6.3. Caratteristiche del trasporto solido delle aste fluviali principali

Asta fluviale	Capacità di trasporto al fondo	Capacità di trasporto in sospensione	Capacità di trasporto totale
	10 ³ m ³ /anno	10 ³ m ³ /anno	10 ³ m ³ /anno
Adda (sublacuale monte Brembo)	103,3	4,0	107,3
Adda (sublacuale: tra Brembo e Serio)	180,0	89,3	269,3
Adda (sublacuale: tra Serio e confl.)	157,2	83,3	240,5
Serio	23,5	24,5	48,0
Brembo	39,9	85,4	125,3

Il confronto tra la capacità di trasporto solido dell'asta e il volume di materiale solido prodotto dal bacino montano permette di valutare, pur nell'approssimazione dei valori medi utilizzati e della scala di dettaglio delle valutazioni stesse, la tendenza al deposito ovvero all'erosione.

6.1.5 Assetto morfologico e idraulico

6.1.5.1 Caratteristiche generali

- *Asta dell'Adda*

L'Adda sottolacuale, *dall'abitato di Brivio alla confluenza del fiume Brembo*, scorre profondamente incassato tra alti terrazzi, con andamento sinuoso e struttura d'alveo monocursale; l'andamento planimetrico non ha subito variazioni significative recenti; osserva la presenza di barre longitudinali e isole semi-stabili. Il corso d'acqua alimenta numerose centrali idroelettriche, con opere di derivazione in alveo. Viene attraversato da infrastrutture viarie di notevole importanza fra le quali l'autostrada A4 e la linea ferroviaria Milano-Bergamo.

Dalla confluenza del Brembo a Rivolta d'Adda l'alveo è monocursale meandriforme con caratteristiche abbastanza stabili e una lieve tendenza al restringimento dell'alveo inciso. Si rilevano modificazioni nell'assetto delle aree golenali; in particolare si segnala la perdita di ambienti palustri, in destra dell'altezza di Fara e in sinistra all'altezza di Cassano.

Da Rivolta d'Adda a Lodi l'alveo si mantiene monocursale meandriforme; localmente sono presenti isole e barre laterali attive; ha subito locali variazioni (in particolare nella zona di Boffalora) che hanno determinato un aumento della sinuosità. Si riscontrano evidenze di abbassamento d'alveo locali e scarsamente significative a valle del ponte di Spino d'Adda (difeso da una briglia di fondo), con trasformazione di alcune barre laterali in golene stabili, e all'altezza di Corneliano Bertanio, con la sparizione in sinistra di una lanca e zone umide collegate. Il corso d'acqua attraversa numerosi abitati che interferiscono marginalmente con le aree golenali, malgrado gli sporadici fabbricati o insediamenti in prossimità dell'alveo; è attraversato sporadicamente da infrastrutture viarie le più importanti sono le SS. 11 e 415 e la linea ferroviaria Milano-Venezia.

Da Lodi alla confluenza del Serio l'evoluzione del corso d'acqua, di struttura monocursale meandriforme, è stata caratterizzata da continue modificazioni dell'andamento planimetrico, in relazione a successivi tagli di meandro, evidenziati dalla presenza pressoché continua entro la regione fluviale di antiche anse abbandonate. Particolarmente significativo risulta il taglio avvenuto all'altezza di Cavenago d'Adda, dove un'ampia ansa di circa 6,5 km è stata sostituita da un tratto sub-rettilineo lungo circa 750 m. Non si osservano evidenze significative di abbassamento dell'alveo anche se tale fenomeno interessa verosimilmente almeno i settori a monte delle anse tagliate, in relazione all'aumento di pendenza d'alveo innescato dai fenomeni di taglio stessi.

Dalla confluenza Serio a Pizzighettone si rilevano fenomeni di taglio di meandri relativamente diffusi, tutti piuttosto antichi. L'unica modificazione rilevante recente riguarda il taglio del meandro in corrispondenza della confluenza con il Serio e la conseguente variazione del punto di confluenza stesso.

Da Pizzighettone al Po l'alveo ha subito modificazioni significative per taglio di meandri in epoca piuttosto antica. Si manifestano significativi fenomeni di erosione spondale nel tratto più prossimo alla confluenza con il Po.

- *Asta del Brembo*

Il Brembo *da Almenno al ponte SS 342* ha un alveo monocursale subrettilineo abbastanza stabile dal punto di vista planimetrico, con isole fluviali e barre attive laterali e longitudinali. Situazioni di abbassamento d'alveo si osservano nella zona tra Alme e Ghiaie dove appaiono reincise e disattivate le barre laterali in sinistra; sono presenti opere trasversali di stabilizzazione del fondo alveo e un'elevata concentrazione di attività estrattive.

Dalla SS 342 alla foce in Adda l'alveo conserva le caratteristiche del tronco precedente, con presenza di barre instabili laterali e longitudinali. Le principali

modificazioni morfologiche recenti interessano il tratto all'altezza dell'abitato di Medone, precedentemente ramificato e ora monocursale e quello all'altezza di Filago in cui tendono a instaurarsi caratteri di tipo ramificato.

- *Asta del Serio*

Il fiume Serio *da Alzano Lombardo al ponte autostradale A4* è caratterizzato da un alveo a struttura monocursale e andamento sinuoso, piuttosto stabile, a tratti è incassato tra alte scarpate, soprattutto nel settore a monte di Seriate. Si osservano evidenze di abbassamento del profilo di fondo per la chiusura di uno dei due rami dell'isolotto di fronte a Pedrengo e la reincisione, subito a monte del ponte autostradale (dove l'alveo tende a ramificare) dei depositi attivi di barra longitudinale, con creazione di un isolotto stabile. Le zone circostanti il corso d'acqua sono densamente urbanizzate e in più punti si osservano fabbricati isolati e insediamenti produttivi in prossimità delle sponde, ma complessivamente tali da non condizionare negativamente il libero deflusso del fiume. Le più importanti infrastrutture viarie che interferiscono con l'asta del Serio sono la SS. 42, la linea ferroviaria Bergamo-Brescia e l'autostrada A4.

Dall'autostrada A4 a Mozzanica la morfologia della zona di pertinenza fluviale cambia quasi completamente, infatti l'alveo, pur mantenendo un andamento sinuoso, si allarga ramificandosi con aree golenali ben definite. Gli abitati risultano molto arretrati rispetto al corso d'acqua. Le vie di comunicazione interessanti il fiume sono la SS e la linea ferroviaria Milano-Brescia.

Nel tratto terminale, *da Mozzanica alla confluenza in Adda*, il corso d'acqua diventa monocursale ad andamento meandriforme, con accentuata instabilità nella parte terminale per migrazioni di assi di meandri e fenomeni di taglio. Rilevante è la variazione del punto di confluenza, spostatasi di circa 700 m verso sud in relazione al taglio del meandro dell'Adda a Bocca di Serio. Molto evidenti risultano i fenomeni di erosione spondale. Localmente si osservano marcate scarpate di erosione, (derivanti da abbassamento di fondo alveo). Il corso d'acqua attraversa aree densamente urbanizzate, fra le quali la città di Crema, e numerose vie di comunicazione (SS 235, 415, 59 e la linea ferroviaria Bergamo-Crema) che non condizionano il libero deflusso del Serio.

6.1.5.2 *Fenomeni di erosione spondale*

L'erosione spondale, per il corso d'acqua dell'Adda sublacuale, risulta quasi totalmente assente e comunque con incidenza minima sull'assetto morfologico, anche garantito da un elevato e diffuso grado di sistemazione idraulica.

Il fiume Brembo, da Villa d'Almé alla confluenza in Adda, è interessato da una moderata instabilità morfologica dell'alveo, con erosione di sponda intensa a tratti, che in alcuni casi minaccia la sicurezza di insediamenti in prossimità del corso d'acqua, a valle del ponte di Almenno S. Salvatore, o può dare luogo a fenomeni di cattura di bacini di cava, in prossimità della località Roncola.

Il fiume Serio è interessato da fenomeni di erosione spondale nel complesso modesti, spesso da mettere in relazione a sovralluvionamenti; solo puntualmente i fenomeni erosivi possono costituire fattore di criticità soprattutto per la presenza di bacini di cava lungo il corso d'acqua, in particolare in prossimità di Ghisalba, Offanengo.

6.1.5.3 *Tendenza evolutiva*

Il fiume Adda sublacuale, fino a Lodi, non risulta interessato da evidenti abbassamenti del fondo alveo, anche in relazione alla diffusa presenza di opere trasversali che hanno effetto stabilizzante. Solo localmente si osservano variazioni significative del profilo di fondo alveo, come nel tratto a monte di Bisnate dove sono riscontrabili abbassamenti di circa 1 m; abbassamenti di fondo interessano anche il tratto da Bisnate a Lodi, confermati dalla trasformazione di barre laterali in golene stabili nonché dalla disattivazione di rami secondari.

Da Lodi alla confluenza in Po, l'alveo è stato interessato da instabilità planimetrica caratterizzata da migrazioni di meandro, restringimenti di lobi e fenomeni di taglio, che ne hanno ridotto notevolmente la lunghezza e prodotto un drastico abbassamento del profilo di fondo. In particolare:

- in prossimità di Cavenago d'Adda un'ansa di circa 6.500 m è stata sostituita da un tratto sub rettilineo di 750 m,
- in prossimità della confluenza del fiume Serio il taglio di meandro ha prodotto una traslazione del punto di confluenza stesso,
- in prossimità del ponte stradale per Montodine, l'elevato scalzamento delle fondazioni evidenzia un abbassamento del fondo di 1,50, correlabile alla tendenza verso la disattivazione del meandro a valle.

Il fiume Brembo, da Villa d'Almé alla confluenza in Adda, non è interessato da sostanziali modificazioni del profilo di fondo alveo; uniche evidenze di abbassamento del fondo sono presenti a livello locale da Alme a Ghiaie (loc. Cementificio) con reincisione e disattivazione di alcune barre laterali e in

corrispondenza del ponte stradale di Almenno S. Salvatore con un abbassamento di circa 1 m.

Anche il fiume Serio non è interessato da sostanziali modificazioni del profilo di fondo alveo; localmente si osserva la disattivazione di rami laterali del corso d'acqua e trasformazione di depositi di barra in golene stabili, in particolare a Pedrengo, a monte del ponte autostradale A4, a monte di Casal Cremasco e all'altezza di Offanengo. Inoltre fenomeni di scalzamento delle fondazioni sono individuabili in corrispondenza degli attraversamenti di Alzano Lombardo (1.5 m), dell'autostrada A4 (oltre 3 m), del ponte stradale di Ghisalba (1 m), del ponte stradale di Crema (1 m).

6.2 Quadro dei dissesti

6.2.1 Quadro dei dissesti sui corsi d'acqua principali dell'Adda sottolacuale, Brembo e Serio

L'Adda sottolacuale, dal lago alla confluenza del fiume Brembo, non presenta particolari dissesti; benché l'area attraversata sia densamente urbanizzata, gli insediamenti presenti sorgono su superfici terrazzate poste a quote molto alte rispetto al corso d'acqua e non vi sono pertanto rischi di allagamento.

Dalla confluenza del Brembo a Lodi il grado di protezione dalle piene non è del tutto adeguato, malgrado si risenta ancora in parte dell'effetto di laminazione del lago di Como; in particolare in prossimità degli abitati di Fara Gera d'Adda, Rivolta d'Adda e Lodi. Lo stato delle opere in alveo è discreto, solo localmente si rilevano difese spondali in dissesto, unitamente a esigenze di manutenzione straordinaria di opere di derivazione e stabilizzazione del fondo alveo.

Da Lodi alla confluenza in Po molte delle difese spondali risultano inadeguate a controllare l'evoluzione morfologica dell'alveo in corrispondenza dei meandri; una situazione di particolare criticità si manifesta in corrispondenza dell'attraversamento della SS 591, ricostruito di recente con un manufatto provvisorio: il nuovo attraversamento si sviluppa su di un lobo di meandro di notevole ampiezza, che a valle si restringe drasticamente, creando una strozzatura laddove transita la strada statale, con una elevatissima erosione e difese di sponda in grave dissesto; in occasione di eventi di piena gravosi si delinea il rischio di un possibile taglio di meandro con conseguente collasso dell'infrastruttura viaria e coinvolgimento dell'abitato di Gombito.

Malgrado la presenza di argini a carattere discontinuo fino a Pizzighettone e continuo valle, il grado di protezione dalle piene non risulta sempre adeguato; in particolare vi sono aree a rischio di esondazione in prossimità di Bertonico, Montodine, Gombito e Pizzighettone.

Le opere di difesa presenti in alveo sono a tratti dissestate.

Il fiume Brembo nella parte alta denuncia fenomeni erosivi molto marcati, con opere di difesa trasversali e longitudinali in parziale dissesto, soprattutto per una carenza di manutenzione straordinaria. Da Villa d'Almé a Ponte S. Pietro, attraversa un'area densamente abitata e in più punti fabbricati e abitazioni sono posti a quote e distanze insufficienti rispetto al rischio di piena; risultano particolarmente critiche le zone di Ponte S. Pietro e l'area nord-ovest di Brembate di Sopra; le opere di difesa spondale risultano complessivamente in un discreto stato di conservazione e solo sporadicamente dissestate.

Da Ponte S. Pietro alla confluenza in Adda, non si rilevano particolari condizioni di rischio di allagamento per gli abitati che sono in genere localizzati a quote e distanze sufficientemente sicure. Lo stato di conservazione delle rare opere presenti in alveo è discreto. In corrispondenza della confluenza nell'Adda, l'alveo del Brembo è piuttosto instabile per processi di sovralluvionamento che hanno innescato un'intensa erosione di sponda in destra.

Il fiume Serio, nella parte alta dalle sorgenti ad Alzano Lombardo, è influenzato da dissesti che in generale interessano conoidi instabili, che comportano un elevato apporto solido con effetti di ostruzione dell'alveo.

Da Alzano Lombardo all'attraversamento autostradale A4, attraversa zone densamente urbanizzate, parte delle quali a rischio di esondazione per carenza di opere di protezione adeguate o per effetto di anomalie di deflusso provocate da opere di attraversamento, o ancora per insediamenti ubicati in ambiti golenali; tali aree sono individuabili in prossimità di Villa di Serio, Gorle, Scanzorosciate e Seriate. Le opere di difesa in alveo risultano in uno stato di conservazione discreto.

Dall'attraversamento autostradale A4 a Mozzanica, il grado di protezione risulta complessivamente adeguato, con abitati in quota di sicurezza o protetti da argini a carattere discontinuo; l'unica area a rischio di inondazione è in prossimità dell'abitato di Ghisalba. Le opere di difesa in alveo versano in un discreto stato di conservazione.

Da Mozzanica alla confluenza in Adda il corso d'acqua si sviluppa all'interno di aree densamente urbanizzate, alcune delle quali non sufficientemente protette;

ile zone maggiormente critiche sono in prossimità di Mozzanica, Sergnano, Casale Cremasco e Crema. Le opere di difesa presenti in alveo, a carattere più diffuso rispetto ai settori di monte del corso d'acqua, sono in un discreto stato di conservazione.

6.2.2 Quadro dei dissesti sui versanti e sulla rete idrografica minore

Come indicatori di dissesto vengono presi in considerazione i fenomeni gravitativi che interessano i versanti e i processi fluvio-torrentizi.

La Tab. 6.4 evidenzia in estrema sintesi i valori assoluti denunciati dai diversi fenomeni di dissesto. I fenomeni di dissesto maggiormente presenti, che interessano diffusamente parte del bacino sono i fenomeni di conoide, le frane e le esondazioni. I fenomeni franosi maggiormente rappresentati sono i crolli, con elevata incidenza nell'area del M. Albenza.

Alla testata del bacino a sud di Olginate si hanno diversi episodi di trasporto di massa in conoide (Valgreghentino).

Le esondazioni si concentrano nel tratto tra la confluenza del Brembo ed il Po.

Tab. 6.4. Superfici in dissesto relative a conoidi, esondazioni, frane, corsi d'acqua soggetti ad erosione e/o sovralluvionamento, numero dei corridoi di valanga (valori riferiti al settore montano)

Sottobacino	Superficie	Superficie settore montano	Conoide	Esondazione	Erosione Sovralluvion. aste	Franosità osservata	Franosità potenziale	Valanghe
	km ²	km ²	km ²	km ²	km	km ²	km ²	Numero
Adda sublac.	1.105	47	1	0	0	1	2	1
Brembo	946	813	3	3	23	9	17	426
Serio	1.030	567	6	4	25	5	13	91
<i>Totale</i>	<i>3.081</i>	<i>1.427</i>	<i>10</i>	<i>7</i>	<i>48</i>	<i>15</i>	<i>32</i>	<i>518</i>

6.2.3 Stima della pericolosità a livello comunale

La valutazione delle diverse pericolosità rispecchia bene la situazione che deriva dal censimento e dall'analisi dei dissesti: i Comuni lungo l'asta principale nel tratto medio-inferiore di pianura presentano un alto indice di pericolosità per esondazione.

La Tab. 6.5. riporta, per il bacino dell'Adda sottolacuale nel suo insieme, il numero dei Comuni soggetti alle diverse classi di pericolosità.

Tab. 6.5. Numero e percentuale di Comuni per classe di pericolosità

Classe di pericolosità	No Comuni	Moderata		Media		Elevata		Molto elevata	
		No	%	No	%	No	%	No	%
Sottobacino									
Adda sottolacuale – Brembo – Serio	274	58	21,2	101	36,8	57	20,8	58	21,2

6.3 Livello di protezione esistente

L'Adda sublacuale, da Brivio alla confluenza del Brembo, ha un grado di artificializzazione pressoché nullo, in quanto scorre incassato profondamente tra alti terrazzi, con rischio di inondazione nullo per gli abitati che sono posti a quota di sicurezza. Le opere in alveo sono costituite da numerose traverse in prevalenza a scopo idroelettrico; le opere idrauliche longitudinali sono quasi del tutto assenti con l'eccezione di qualche breve tratto sistemato con difese di sponda.

Dalla confluenza del Brembo a Lodi si ha un completo mutamento della morfologia del corso d'acqua con rapido allargamento successiva scomparsa delle scarpate. Relativamente diffuse sono le difese di sponda, soprattutto in prossimità degli attraversamenti; le opere di contenimento dei livelli sono limitate a brevi tratti arginati, per lo più a difesa di singoli insediamenti. Tra le opere trasversali molto frequenti sono le traverse fluviali, oltre ad alcune briglie a protezione degli attraversamenti viari. Complessivamente il grado di artificializzazione dell'alveo è modesto, in quanto i vari tipi di opere, pur complessivamente numerose, non hanno carattere di continuità.

Da Lodi alla confluenza in Po l'assetto idraulico è caratterizzato da diffuse difese di sponda, che tendono a contenere la naturale evoluzione dei meandri (anche se spesso in maniera inefficace) e da argini a carattere discontinuo fino a Pizzighettone e a carattere continuo a valle, fino al collegamento con quelli del Po. Le opere trasversali sono quasi assenti; unica briglia presente infatti è quella in prossimità di Pizzighettone.

Sul fiume Brembo, da Villa d'Almé a Ponte S. Pietro, le opere di difesa in alveo hanno carattere puntuale e sporadico e le opere di contenimento dei livelli sono costituite da brevi tratti arginati. Il tratto è interessato da quattro traverse che alimentano derivazioni irrigue o industriali. Complessivamente il grado di protezione dalle piene risulta insufficiente e il grado di artificializzazione modesto.

Da Ponte S. Pietro alla confluenza in Adda non vi sono arginature o difese di sponda significative; sono presenti due traverse in prossimità di Brembate di

Sotto, in stato di dissesto. La protezione dalle piene è da considerarsi sufficiente, malgrado il grado di artificializzazione dell'alveo sia pressoché nullo.

Il fiume Serio, da Alzano Lombardo al ponte dell'autostrada A4, scorre a tratti incassato tra alte scarpate, soprattutto a monte di Seriate, non protetto da argini, mentre sono piuttosto frequenti le difese di sponda, i pennelli e le traverse fluviali. Il grado di artificializzazione dell'alveo risulta modesto e il grado di protezione dalle piene insufficiente.

Dall'autostrada A4 a Mozzanica la morfologia si modifica radicalmente, con l'alveo che si allarga, assume carattere ramificato e presenta aree golenali; le opere idrauliche sono decisamente meno diffuse, concentrate in prossimità degli attraversamenti e costituite da brevi tratti arginati o da difese di sponda; le opere trasversali sono costituite da soglie o briglie a protezione delle fondazioni dei ponti; non sono presenti traverse di derivazione. Il grado di protezione dalle piene è, nel complesso, sufficiente e il grado di artificializzazione dell'alveo modesto.

Da Mozzanica alla confluenza in Adda, sia le difese di sponda che le arginature sono a carattere diffuso; sono inoltre presenti numerose traverse fluviali, soglie e briglie. Il grado di sistemazione del corso d'acqua è modesto e il livello di protezione dalle piene complessivamente scarso.

6.4 Individuazione degli squilibri

6.4.1 *Gli squilibri sui corsi d'acqua principali e nei territori di fondovalle*

Le principali condizioni di squilibrio per le aste principali considerate sono riconducibili ai seguenti punti principali.

- *Asta dell'Adda*

L'Adda sublacuale è interessato dalle seguenti condizioni di criticità:

- a) dalla confluenza del Brembo a Lodi, nonostante l'effetto di laminazione del lago di Como ancora sensibile e la presenza di brevi tratti arginati, per lo più a difesa di singoli insediamenti, sono presenti rischi di inondazione che interessano gli abitati di Fara Gera d'Adda, Rivolta d'Adda e Lodi;
- b) da Lodi alla confluenza in Po il corso d'acqua presenta problemi gravosi da porre in relazione a:
 - fenomeni di instabilità morfologica dell'alveo (rischio di taglio di meandro) con coinvolgimento possibile di abitati (Gombito) e di infrastrutture;

- grado di protezione dalle piene non adeguato, con rischio per aree insediate in prossimità di Bertonico, Montodine, Gombito e Pizzighettone.

- *Asta del Brembo*

Sul fiume Brembo gli squilibri principali si localizzano nella parte alta, per presenza di fenomeni erosivi molto marcati, con opere di difesa trasversali e longitudinali in parziale dissesto.

In particolare nel tratto da Villa d'Almé a Ponte S. Pietro si manifestano rischi di inondazione consistenti per le aree densamente insediate lungo il corso d'acqua, che hanno fabbricati e abitazioni a quote e distanze insufficienti rispetto ai livelli di piena; risultano particolarmente critiche le zone di Ponte S. Pietro e l'area nord-ovest di Brembate di Sopra.

- *Asta del Serio*

Il fiume Serio è interessato dalle seguenti condizioni di criticità:

- a) nella parte alta, dalle sorgenti ad Alzano Lombardo, l'elevato apporto solido laterale costituisce un fattore critico per le condizioni di deflusso con possibili fenomeni di ostruzione dell'alveo e di conseguente esondazione e sovralluvionamento;
- b) da Alzano Lombardo all'attraversamento autostradale A4, vi è un rischio di esondazione che interessa zone densamente urbanizzate (in prossimità di Villa di Serio, Gorle, Scanzorosciate e Seriate) in relazione alla carenza di opere di protezione, ad anomalie di deflusso provocate da opere di attraversamento inadeguate e a insediamenti ubicati in ambiti golenali;
- c) dall'autostrada A4 alla confluenza in Adda vi è rischio di inondazione per l'abitato di Ghisalba, a monte di Mozzanica, e, più a valle per numerose aree densamente urbanizzate, alcune delle quali non sufficientemente protette, tra cui le zone maggiormente critiche sono in prossimità di Mozzanica, Sergnano, Casale Cremasco e Crema.

6.4.2 *Gli squilibri nei territori collinari e montani*

Le principali condizioni di squilibrio connesse ai fenomeni di dissesto che interessano il reticolo idrografico minore nella parte montana del bacino (sottobacini del Brembo e del Sertio) sono rappresentate dai seguenti punti dai fenomeni di instabilità morfologica degli alvei e di erosione al piede sui versanti, con effetti di instabilizzazione.

I corsi d'acqua maggiormente interessati nel sottobacino del Brembo sono i torrenti che scorrono dal Pizzo di Rocco a valle dell'abitato di Valtorta, dal Pizzo di Cusio, i torrenti Stabina, Enna e Brembilla, i torrenti affluenti del Brembo di Carona. Nel sottobacino del Chiese sono i torrenti Fiumenero e Acqualina.

Per i versanti, nel sottobacino del Brembo gli squilibri principali sono costituiti da frane di crollo e fenomeni di conoide che interessano centri abitati e infrastrutture. I comuni maggiormente coinvolti sono Santa Brigida, Brembilla, Valtorta, Taleggio, Vedeseta, Fuiipiano, Serina. Vi sono inoltre fenomeni di valanga che interessano i comuni di Branzi, Valtorta, Isola di Fronda, Roncobello.

Nel sottobacino del Serio le principali criticità si trovano in comune di Nembro.

Nel settore montano del bacino si contano circa 90 situazioni puntuali di dissesto che interessano poco meno del 20% dei Comuni dell'intero bacino; circa 80 sono i centri abitati interessati da tali dissesti i quali danno anche luogo ad una ventina di interferenze con infrastrutture di viabilità. Tale situazione è in particolar modo riscontrabile nei sottobacini del Brembo e del Serio.

6.4.3 *Stima del rischio totale a livello comunale*

La Tab. 6.6 riporta il numero dei Comuni soggetti a rischio per gradi di rischio moderato, medio, elevato e molto elevato. Si osserva che il 47% circa dei Comuni del bacino risulta a rischio da elevato a molto elevato.

Tab. 6.6. Numero e percentuale di Comuni per classe di rischio

Classe di rischio	No Comuni	Moderato		Medio		Elevato		Molto elevato	
		No	%	No	%	No	%	No	%
Sottobacino									
Adda sottolacuale – Brembo – Serio	274	48	17,5	98	35,8	86	31,4	42	15,3

6.5 Linee di intervento sulle aste

6.5.1 *Linee di intervento strutturali sull'asta dell'Adda sottolacuale*

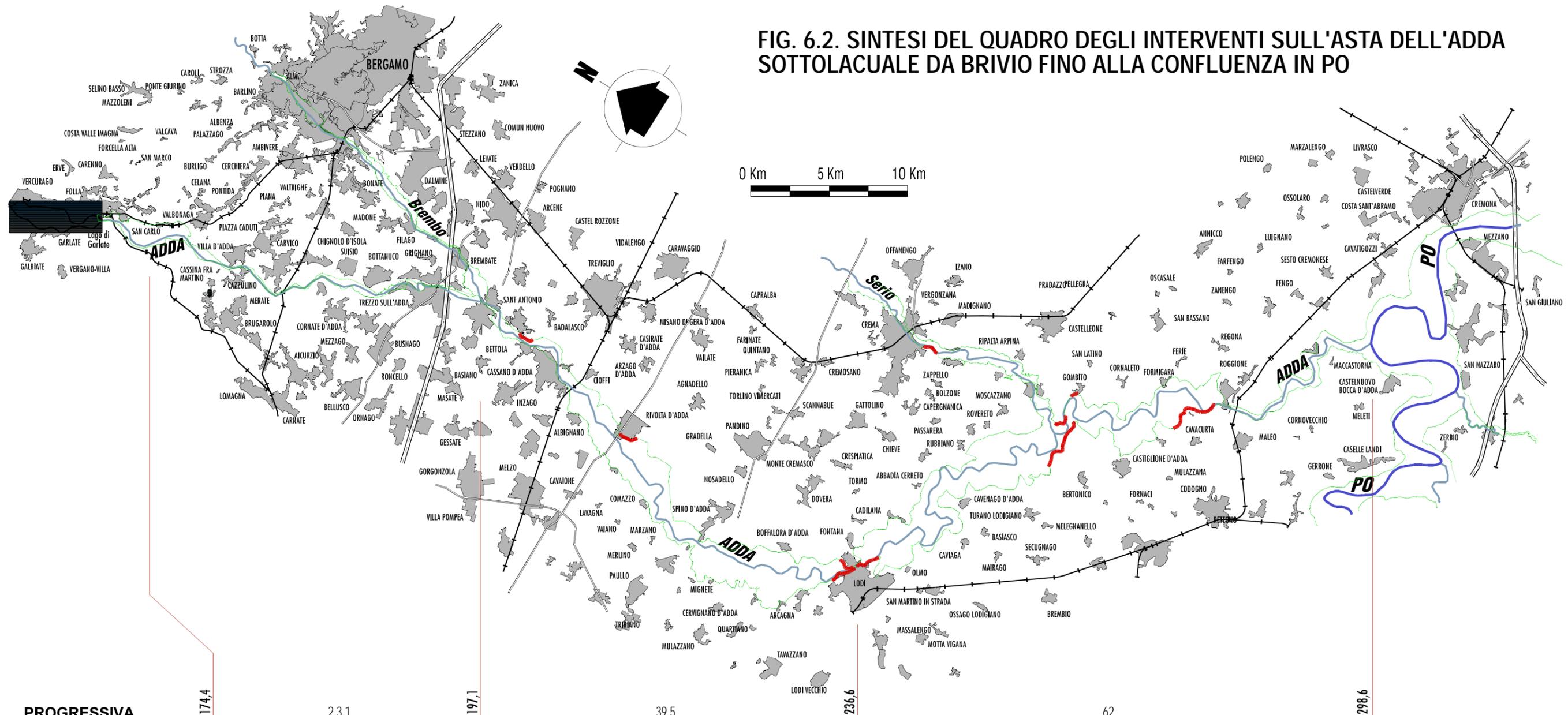
6.5.1.1 *Tratto da Brivio alla confluenza del Brembo*

Le linee di intervento di seguito indicate rappresentano l'applicazione alla situazione del bacino idrografico dell'Adda sottolacuale, quale emerge dalle analisi conoscitive e dalle elaborazioni condotte, dei criteri generali definiti a scala di intero bacino idrografico del Po, espressi nella Relazione generale.

Gli interventi strutturali sulle aste sono coerenti con l'assetto di progetto definito nell'ambito della delimitazione delle fasce fluviali e con la relativa regolamentazione dell'uso del suolo nella regione fluviale, che rappresenta il più importante intervento a carattere non strutturale per i corsi d'acqua principali.

Nel primo tratto *da Brivio alla confluenza del Brembo* la fascia fluviale di esondazione (fascia B) è individuata dai limiti morfologici naturali dalla piena di riferimento. Questo tratto non necessita di interventi di rilievo.

FIG. 6.2. SINTESI DEL QUADRO DEGLI INTERVENTI SULL'ASTA DELL'ADDA SOTTOLACUALE DA BRIVIO FINO ALLA CONFLUENZA IN PO



**PROGRESSIVA
KILOMETRICA**

174,4

23,1

197,1

39,5

236,6

62

298,6

**LAMINAZIONE
NATURALE IN RETE**
(Superficie e volumi fascia fluviale B*)

4,87 km² / 13,41 · 10⁶ m³

50,24 km² / 102,38 · 10⁶ m³

67,22 km² / 147,66 · 10⁶ m³

ARGINATURE

A carattere locale, anche tramite adeguamento
in quota delle opere esistenti

A carattere locale, anche tramite adeguamento in quota delle opere esistenti

**DIFESE
SPONDALE**

A carattere locale, anche tramite consolidamento e ripristino delle opere esistenti

**ALTRI
INTERVENTI**

Manutenzione straordinaria delle opere di derivazione

* Valori stimati

6.5.1.2 *Tratto dalla confluenza del Brembo a Lodi.*

La fascia di esondazione (fascia B) è individuata dai limiti morfologici naturali di contenimento della piena di riferimento, ad eccezione di situazioni puntuali in prossimità di abitati in corrispondenza dei quali si attesta su opere di contenimento dei livelli. Gli interventi strutturali individuati sono costituiti dai seguenti punti:

- a) contenimento dei livelli di piena per tempo di ritorno 200 anni mediante realizzazione e adeguamento in quota di arginature locali a difesa degli abitati di Fara Gera d'Adda, Rivolta d'Adda e Lodi;
- b) consolidamento e ripristino delle opere di difesa spondale esistenti con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo;
- c) manutenzione straordinaria delle opere di difesa trasversali presenti.

6.5.1.3 *Tratto da Lodi alla confluenza in Po*

La fascia di esondazione (fascia B) è individuata dai limiti morfologici naturali e dalle opere di contenimento dei livelli esistenti o di progetto, a carattere discontinuo a monte di Pizzighettone e continuo a valle. Gli interventi strutturali individuati sono costituiti dai seguenti punti:

- a) contenimento dei livelli di piena a tempo di ritorno 200 anni mediante l'adeguamento in quota e nuova realizzazione di argini a difesa degli abitati di Bertonico, Montodine, Gombito e Pizzighettone.
- b) integrazione e completamento di opere di difesa spondale esistenti e realizzazione di nuove opere con funzione di contenimento a livello locale dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo in prossimità degli abitati.

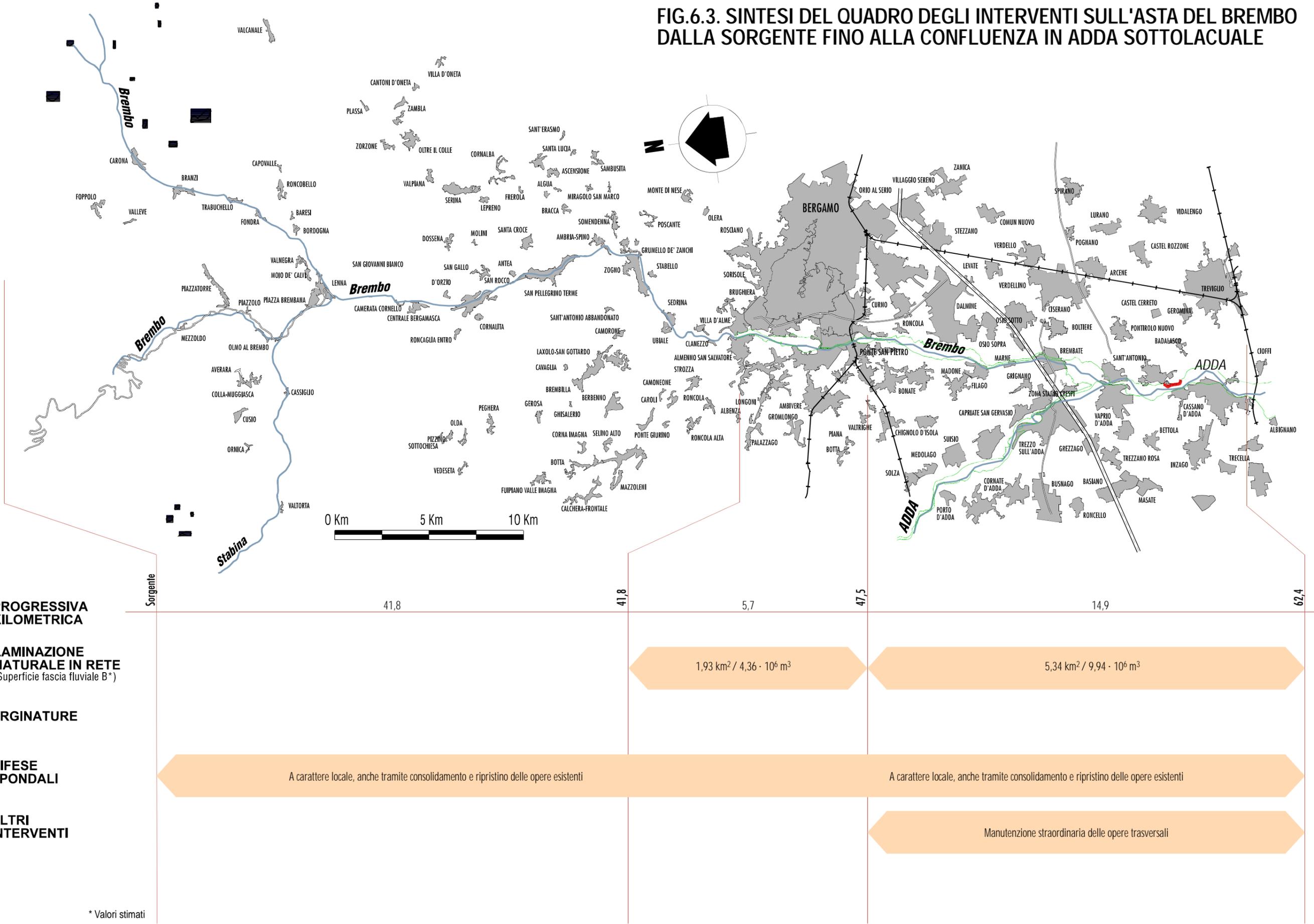
6.5.2 *Linee di intervento strutturali sull'asta del Brembo*

6.5.2.1 *Tratto alto dalle sorgenti a Villa d'Almé*

La fascia di esondazione (fascia B) rimane contenuta all'interno dei limiti morfologici naturali. Si conferma l'attuale assetto del corso d'acqua. Gli interventi previsti sono pertanto limitati al ripristino di locali riduzioni di officiosità idraulica, alla protezione di alcuni versanti dall'erosione al piede provocata dalla corrente e alla sistemazione di nodi di confluenza.

Gli interventi strutturali da realizzare consistono principalmente in opere di difesa spondale a carattere puntuale, con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo inciso, anche tramite sistemazione dei nodi di confluenza.

FIG.6.3. SINTESI DEL QUADRO DEGLI INTERVENTI SULL'ASTA DEL BREMBO DALLA SORGENTE FINO ALLA CONFLUENZA IN ADDA SOTTOLACUALE



* Valori stimati

6.5.2.2 *Tratto da Villa d'Almé a Ponte S. Pietro*

La fascia di esondazione (fascia B) è individuata dai limiti morfologici naturali e dalle opere di contenimento dei livelli esistenti.

Gli interventi strutturali da realizzare sono costituiti dal consolidamento e dal ripristino delle opere di difesa spondale esistenti con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo inciso.

6.5.2.3 *Tratto da Ponte S. Pietro alla confluenza in Adda*

La fascia di esondazione (fascia B) è individuata esclusivamente dai limiti morfologici naturali di contenimento della piena di riferimento. Gli interventi strutturali da realizzare sono costituiti dai punti seguenti:

- a) consolidamento e ripristino delle opere di difesa spondale esistenti con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo inciso;
- b) manutenzione straordinaria di opere trasversali in alveo.

6.5.3 *Linee di intervento strutturali sull'asta del Serio*

6.5.3.1 *Tratto alto dalle sorgenti ad Alzano Lombardo*

La fascia di esondazione (fascia B) rimane contenuta all'interno dei limiti morfologici naturali.

Si conferma l'attuale assetto del corso d'acqua.

Gli interventi previsti sono pertanto limitati al ripristino di locali riduzioni di officiosità idraulica, alla protezione di alcuni versanti dall'erosione al piede provocata dalla corrente.

Gli interventi strutturali da realizzare sono così costituiti:

- a) realizzazione di opere di difesa spondale a carattere puntuale, con funzione di contenimento dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo inciso a difesa degli abitati e con funzione di stabilizzazione al piede dei versanti,
- b) opere locali di ripristino della capacità di deflusso.

6.5.3.2 *Tratto da Alzano Lombardo a Mozzanica*

La fascia di esondazione (fascia B) è individuata dai limiti morfologici naturali e localmente dalle opere di contenimento dei livelli, esistenti o di progetto.

Gli interventi strutturali da realizzare sono costituiti da adeguamento in quota e nuova realizzazione di argini a carattere locale per il contenimento dei livelli di piena con tempo di ritorno 200 anni a difesa degli abitati di Villa del Serio, Scanzorosciate, in loc. Marchesi di Seriate, di Ghisalba.

6.5.3.3 *Tratto da Mozzanica alla confluenza in Adda*

La fascia di esondazione (fascia B) è individuata dai limiti morfologici naturali e dalle opere, esistenti o di progetto, di contenimento dei livelli.

Gli interventi strutturali da realizzare sono costituiti dai seguenti punti:

- a) contenimento dei livelli di piena con tempo di ritorno 200 anni mediante nuova realizzazione di argini a difesa degli abitati di Mozzanica, Trezzolasco, Sergnano, in località Marchessa a Sud di Crema, Montecchio (tra Casale Cremasco e Vidolasco) e Casale Cremasco;
- b) integrazione e completamento di opere di difesa spondale esistenti e realizzazione di nuove opere con funzione di contenimento a livello locale dei fenomeni di divagazione trasversale dell'alveo in prossimità degli abitati.

6.5.4 *Linee di intervento non strutturali sulle aste fluviali*

Il quadro degli interventi strutturali sopra evidenziato va integrato con azioni a carattere non strutturale collegate allo specifico sistema di difesa progettato lungo le aste fluviali. Come detto in precedenza, le modalità di uso del suolo nelle aree costituenti la regione fluviale sono definite dalle relative norme e sono coerenti con l'assetto difensivo individuato.

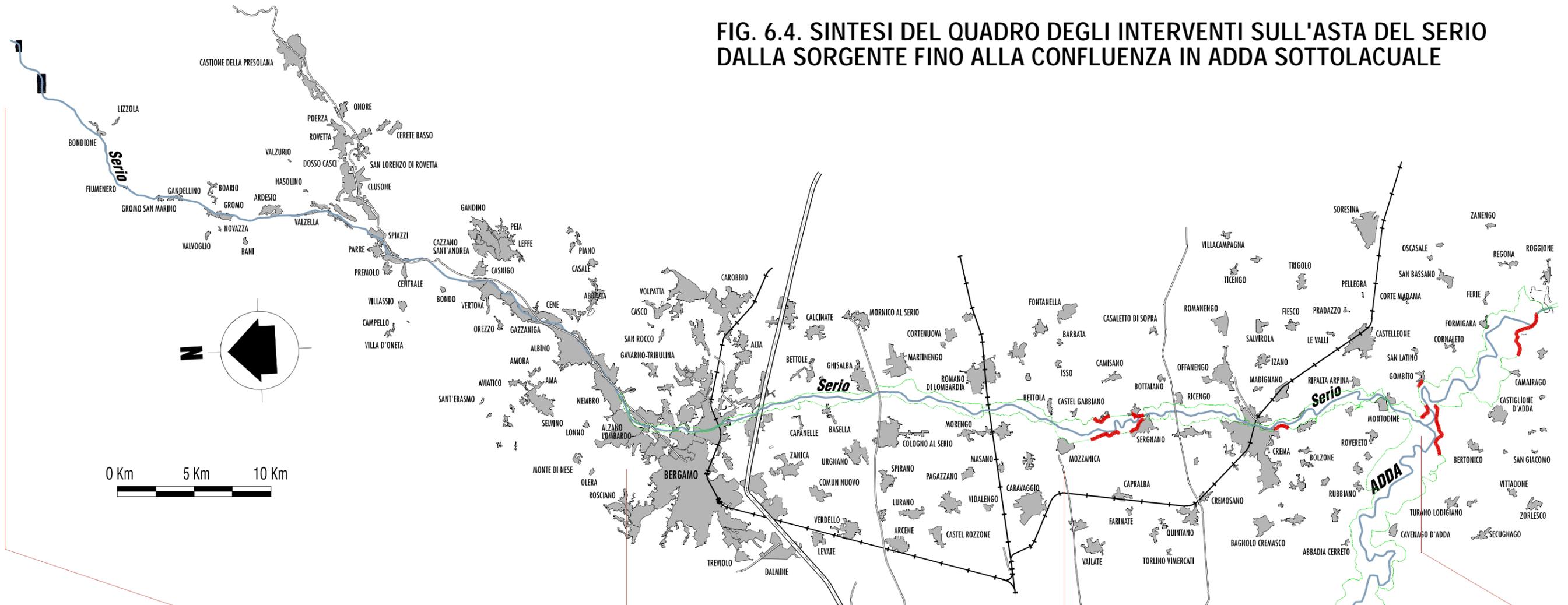
Le fasce fluviali sono state delimitate nei tratti delle principali aste del bacino:

- Adda Sottolacuale: dal lago di Olginate alla confluenza in Po;
- Brembo: da Lenna alla confluenza in Adda;
- Serio: da Alzano Lombardo alla confluenza in Adda.

Ai fini delle esigenze di monitoraggio di previsione in tempo reale degli eventi di piena, le caratteristiche idrologiche del corso d'acqua richiedono di integrare le reti di misura esistenti in modo da poter disporre di:

- previsioni di eventi critici per i tratti alti sulla base di valori di precipitazioni;
- previsioni delle portate al colmo lungo l'Adda, da valle del lago di Como alla confluenza, lungo il Brembo e lungo il Serio, da monte di Bergamo alla confluenza.

FIG. 6.4. SINTESI DEL QUADRO DEGLI INTERVENTI SULL'ASTA DEL SERIO DALLA SORGENTE FINO ALLA CONFLUENZA IN ADDA SOTTOLACUALE



**PROGRESSIVA
KILOMETRICA**

**LAMINAZIONE
NATURALE IN RETE**
(Superficie e volumi fascia fluviale B*)

ARGINATURE

**DIFESE
SPONDALI**

**ALTRI
INTERVENTI**

Sorgente

52,1

52,1

32,6

87,7

32

119,7

17,93 km² / 20,96 · 10⁶ m³

20,22 km² / 28,28 · 10⁶ m³

A carattere locale, anche tramite adeguamento in quota delle opere esistenti

A carattere locale, anche tramite adeguamento in quota delle opere esistenti

A carattere locale

A carattere locale, anche tramite integrazione e completamento delle opere esistenti

Ripristino officiosità idraulica a carattere locale

Protezione dei versanti dall'erosione al piede

* Valori stimati

6.6 Linee di intervento sui versanti e sulla rete idrografica minore del bacino dell'Adda sottolacuale

Nel seguito vengono evidenziate le linee di assetto da conseguire nel bacino montano, in coerenza con le linee generali di intervento sui versanti e sulle rete idrografica minore delineate a scala di intero bacino idrografico. Per i fenomeni di dissesto di versante e sulla rete idrografica minore, oltre agli interventi a carattere strutturale, le Norme di attuazione contengono gli indirizzi circa la regolamentazione dell'uso del suolo, con particolare riferimento agli aspetti urbanistici, individuati in funzione dello stato di rischio riscontrato.

Tab. 6.7. Linee generali di assetto da conseguire nel sottobacino del Brembo

Linee generali di assetto	Versanti			Rete idrografica minore										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Rete idrografica minore Si conferma l'attuale assetto dei corsi d'acqua minori. Gli interventi previsti, a valenza locale, hanno essenzialmente la finalità della stabilizzazione morfologica dell'alveo e del controllo dell'erosione al piede dei versanti in erosione.														
Versanti Per il contenimento dei dissesti e la stabilizzazione dei versanti, la tipologia degli interventi previsti è rappresentata da pratiche di forestazione e regimazione della rete idrografica minuta. Localmente, in corrispondenza delle manifestazioni che minacciano più direttamente centri abitati e infrastrutture, i suddetti interventi potranno essere integrati da opere strutturali di sostegno e da drenaggi del corpo di frana. Per il controllo dei movimenti franosi più a rischio si prevedono inoltre monitoraggi, al fine di individuare tempestivamente eventuali segnali di cedimento.														

Tab. 6.8. Linee generali di assetto da conseguire nel sottobacino del Serio

Linee generali di assetto	Versanti			Rete idrografica minore										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Rete idrografica minore Si conferma l'attuale assetto dei corsi d'acqua minori. Gli interventi previsti, a valenza locale, hanno essenzialmente la finalità della stabilizzazione morfologica dell'alveo e del controllo dell'erosione al piede dei versanti in erosione.														
Versanti Per il contenimento dei dissesti e la stabilizzazione dei versanti, la tipologia degli interventi previsti è rappresentata da pratiche di forestazione e regimazione della rete idrografica minuta.														

6.7 Fattori naturalistici, storico-culturali ed ambientali

Le linee di intervento strutturale del Piano tengono conto delle caratteristiche ambientali dei diversi bacini idrografici, nel rispetto degli ambiti di rilevanza naturalistica e paesaggistica e del patrimonio monumentale esistenti. In particolare, nei bacini in esame le aree di interesse naturalistico sono:

- *Fiume Adda*
 - il Parco nazionale dello Stelvio, che interessa i bacini dei fiumi Adda e Oglio;
 - i parchi regionali Adda Nord, Adda Sud, Grigne, Monte Barro, Orobie Valtellinesi;
 - le riserve regionali Lago di Piano, Marmitte dei Giganti, Paluaccio di Oga, Pian di Spagna-Lago di Mezzola, Pian Gembro, Piramidi di Postalesio, Adda Morta, Lago di Sartirana;
 - i monumenti naturali: Cascate dell'Acqua Fraggia, Pietra Lentina, Pietra Luna, Sass Negher, Sasso di Preguda;
 - i parchi e le riserve in via di istituzione: Bernina, Disgrazia, Val Masino e Val Codera, Livignese, Bosco dei Bordighi;
 - le aree di rilevanza ambientale: Alto lago di Como e Alpi Lepontine, Angeloga-Valchiavenna-Valbregaglia, Isola, Lago di Como, Legnone-Pizzo Tre Signori-Gerola, Monte Bisbino-Sasso Gordona, Monte Galbiga, Mortirolo Aprica, Resegone, San Genesio-Colle Brianza, Valgrosina-Val Viola;
 - i biotopi di rilevanza floristico-vegetazionale: Alte valli dell'Adda e dello Spoll, Bosco dei Bagni e burrone dell'Adda a Bormio, Cambrecia, Cembreta dei Forni, Costa dei Gavia e Costa Sorbetta, Faggeto dei Bagni di Masino, Grosgalli e falda occidentale del Monte Nuvolone, Isola floristica del Rifugio Marinelli-Bombardieri, Palude di S.Caterina Valfurva, Torbiera di Pian Gembro, Zona orobica dalla Val del Livrio alla Valle d'Arigna.
- *Fiumi Brembo e Serio*
 - i parchi regionali Colli di Bergamo, Orobie Bergamasche, parco fluviale del Serio;
 - la riserva regionale Palata Menasciutto;
 - l'area di rilevanza ambientale Corso superiore del fiume Serio.

Nell'area su un totale di 316 beni storico-culturali e paesaggistici considerati circa l'8% appartiene alla categoria dei nuclei storici (27). Gli edifici monumentali interessano prevalentemente tipologie religiose (144) e civili (70) sia ricomprese nei centri storici che esterne. Le strutture militari (38) sono costituite da ponti, castelli, torri, mentre tra gli edifici industriali (34) si rilevano numerosi impianti tessili (filande, cotonifici, setifici, lanifici), alcuni cementifici e diverse centrali idroelettriche. Poche le aree archeologiche (3), mentre sono presenti diverse aree di interesse paesistico-ambientale (sistemazioni agrarie tradizionali, parchi storici ecc.).