

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

*DIPARTIMENTO
DICAM – COSTRUZIONI IDRAULICHE*

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA

in
PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO

**INDAGINE GEOMORFOLOGICA E MODELLAZIONE
NUMERICO - IDRAULICA DEL TORRENTE GHIAIA IN
PROSSIMITA' DELL'ABITATO DI MONTEVEGLIO**

CANDIDATO
Carmen Iarriccio

RELATORE:
Prof. Ing. Armando Brath

CORRELATORI
Prof. Ing. Attilio Castellarin
Dott. Ing. Alessio Domeneghetti
Ing. Riccardo Rossi

Anno Accademico 2014/2015

Sessione III

Sommario

Introduzione	3
1. APPROCCIO GEOMORFOLOGICO PER L'INDAGINE E LA GESTIONE FLUVIALE	5
1.1 Concetti di morfologia fluviale	5
1.2 Principali parametri morfologici	8
1.3 Scale temporali e definizione di instabilità	10
1.4 Cause di instabilità	11
1.5 Metodi di identificazione ed analisi delle variazioni morfologiche dell'alveo fluviale	12
2. ANALISI DELLE DINAMICHE EVOLUTIVE DEL TORRENTE GHIAIA IN PROSSIMITA' DELL'ABITATO DI MONTEVEGLIO	15
2.1 Normativa di riferimento	15
2.2 Collocazione geografica	15
2.3 Gli ambiti territoriali fluviali – la Pianificazione di Bacino	18
2.4 Caratterizzazione geologica	21
2.5 Uso del suolo	22
2.6 Indagine geomorfologica fluviale	25
2.6.1 Confronto di materiale topografico	31
2.6.2 Confronto di sezioni trasversali	35
2.6.3 Confronto di profili longitudinali	40
2.7 Risultati dell'indagine geomorfologica fluviale	44
3. VALUTAZIONE NUMERICA DELLE DINAMICHE EVOLUTIVE	47
3.1 Principi di funzionamento del software HEC-RAS	47
3.2 Definizione della geometria del modello	48
3.2.1 Fonte dati per la modellazione geometrica del tratto	48
3.2.2 Modellazione della geometria in HEC-RAS	50
3.3 Analisi in moto permanente	54

4. IPOTESI DI PROGETTO	65
4.1 Possibili interventi di risezionamento fluviale	65
4.2 Studio di possibili interventi di manutenzione della vegetazione	70
4.2.1 Descrizione dello stato vegetativo del tratto in studio	71
Conclusioni	74
Bibliografia	76

Introduzione

L'analisi morfologia e delle dinamiche evolutive di un alveo fluviale rappresenta una componente fondamentale per la gestione e riqualificazione dei corsi d'acqua naturali, garantendo una visione di lunga durata delle caratteristiche del corso d'acqua valutate nella loro integrità.

Questa visione risulta ancora più giustificata se si pensa che ad oggi non esistono modelli numerici in grado di identificare completamente le tendenze evolutive a scala di sistema fluviale e di prevedere le possibili risposte del fiume ad un qualunque tipo di intervento, stabilizzazione, artificializzazione o riqualificazione. A questa difficoltà si aggiungono una inevitabile incertezza associata alle previsioni, una frequente sottovalutazione dell'importanza della forma dei processi e delle tendenze evolutive, una risoluzione locale e provvisoria del problema che non punta a rimuoverne le cause reali.

Attualmente gli obiettivi sulla qualità ambientale dei corpi idrici sono sempre più stringenti. La normativa vigente, legge quadro sulle acque D. lgs. 152/99 e direttiva europea 60/2000, prevede che ogni intervento idraulico sia pensato in modo da limitare il più possibile il suo impatto sul corpo idrico, al fine di non peggiorare la qualità chimica e biologica del corso d'acqua e favorire nel tempo un miglioramento di tali caratteristiche.

Il presente elaborato tratta i principali aspetti dell'analisi geomorfologica fluviale e della modellazione numerico-idraulica per ciò che riguarda la gestione fluviale e la difesa del suolo, seguendo una linea concettuale conforme alle norme regionali, territoriali e alle indicazioni presenti nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dalla Autorità di Bacino del Reno.

L'elaborato si articola in due parti fondamentali. La prima introduce a livello teorico i concetti principali che sono alla base dello studio della geomorfologia fluviale; la seconda parte, invece, introduce il caso studio, affrontando le analisi necessarie per l'indagine geomorfologica ed idraulica.

Il presente lavoro di tesi nasce grazie alla collaborazione con i progettisti del settore montagna del Consorzio della Bonifica Renana ed è stato svolto prendendo in esame un tratto del torrente Ghiaia di Serravalle in prossimità dell'abitato di Monteveglio, un comune italiano sito in provincia di Bologna, nella regione Emilia Romagna.

Nel primo capitolo si introducono gli aspetti teorici alla base dello studio della geomorfologia fluviale. In particolare, si descrivono le diverse forme fluviali, i parametri morfologici e i metodi di indagine utili alla caratterizzazione delle dinamiche evolutive del corso d'acqua.

Nel secondo capitolo si introduce il caso studio, descrivendo le caratteristiche del bacino montano e l'approccio adottato nell'indagine. Sono stati evidenziati i principali risultati ottenuti in seguito al confronto dei dati disponibili, ovvero rilievi topografici di sezioni trasversali, planimetria dell'alveo e profilo longitudinale, e materiale telerilevato, mettendo in evidenza le dinamiche del corso d'acqua, subite nell'arco temporale di circa 30 anni.

Nel terzo capitolo si analizza il modello numerico, realizzato con l'ausilio del software HEC-RAS. L'analisi è stata condotta in moto permanente e considerando intervalli di portata associati a differenti tempi di ritorno, al fine di individuare le sezioni critiche, ovvero le zone di potenziale allagamento.

Infine, nel quarto capitolo, vengono descritti i principali interventi ipotizzati in fase di progetto. Nella descrizione dello stato di progetto, si evidenziano gli aspetti principali legati alla manutenzione dell'alveo fluviale, ponendo particolare attenzione allo stato della vegetazione e alla protezione del territorio naturale e antropizzato.

1. APPROCCIO GEOMORFOLOGICO PER L'INDAGINE E LA GESTIONE FLUVIALE

1.1 Concetti di morfologia fluviale

Con il termine morfologia fluviale si intende l'associazione delle varie forme assunte dai principali elementi che compongono un fiume.

Le dimensioni di queste forme, pur variando per unità di paesaggio diverse, mantengono rapporti relativamente costanti nel tempo e contribuiscono a realizzare una configurazione d'alveo con caratteristiche proprie. Non esistono limiti netti tra le varie tipologie morfologiche, ma un passaggio continuo da una forma all'altra.

A partire dalla descrizione della generica sezione fluviale, riportata nella Figura 1, si prevede la distinzione delle seguenti forme e superfici morfologiche:

- letto o canale di magra o “channel” in letteratura anglosassone, inteso come la zona interessata dalla corrente durante tutto l'arco dell'anno, la quale può presentarsi asciutta in condizioni di magra. Il termine “thalweg” sta ad indicare il punto più depresso del canale;
- barra o “bar” in letteratura anglosassone, intesa come superficie deposizionale costituita da sedimenti analoghi a quelli presenti sul fondo del canale. Si tratta di una porzione dell'alveo che risulta generalmente emersa in quanto interessata da flussi idrici solo durante gli eventi di piena;
- “channel shelf”, definita come quella fascia a lieve pendenza che affianca il canale di magra e che si estende fino al piede della sponda. Insieme al canale di magra e alle barre, questa zona costituisce il cosiddetto alveo attivo. A causa della sua grande variabilità, la delimitazione dell'alveo attivo deve essere considerata con riferimento allo specifico momento del rilievo;
- piana inondabile o “ active flood plain” in letteratura anglosassone, identificabile con quella superficie distinta e sollevata dall'alveo attivo per mezzo delle prime sponde naturali che si possono distinguere allontanandosi dall'asta fluviale (“bank”). Questa fascia viene invasa dall'acqua in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno dell'ordine di 1-3 anni, ovvero per portate maggiori della cosiddetta portata di alveo pieno, o di “bankfull”;
- terrazzo o “terrace” in letteratura anglosassone, definito come il piano decisamente rialzato rispetto all'alveo, separato dalla piana inondabile da un altro sistema spondale, invaso da eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 3 anni. Per loro origine i terrazzi sono

considerati prova certa di azione erosiva dominante su scala temporale medio-lunga, ovvero dell'ordine delle centinaia di anni.

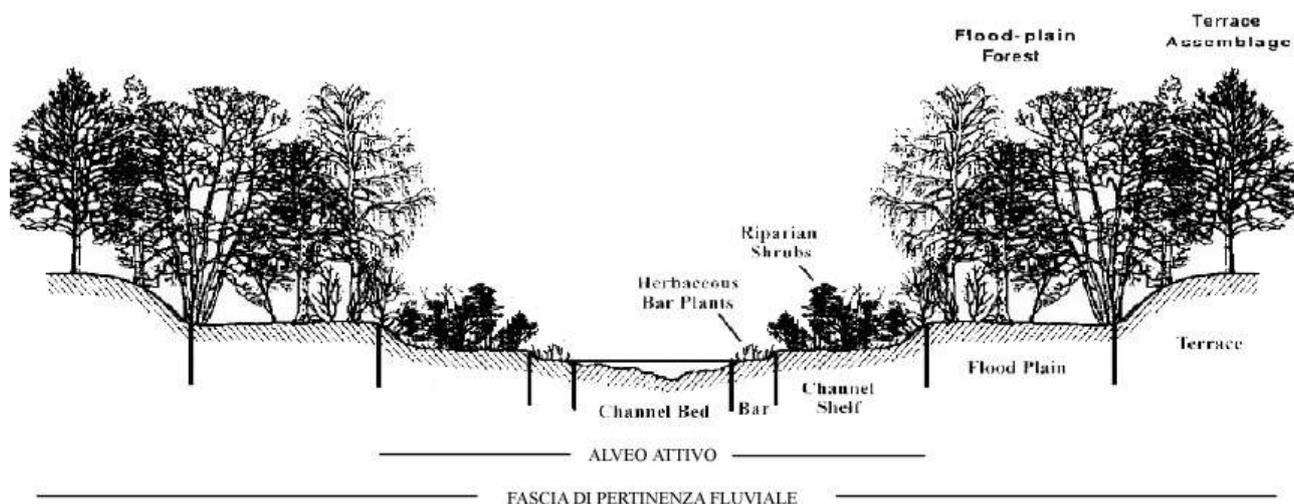


Figura 1 Principali superfici geomorfologiche fluviali

Secondo la terminologia largamente accettata in letteratura, le principali configurazioni planimetriche presenti in alvei alluvionali a fondo mobile sono le seguenti (Linee Guida SURIAN *et al.*, 2009):

- rettilineo, in genere è identificativo di situazioni artificiali;
- sinuoso, presenta una certa sinuosità ma non una successione di meandri;
- rettilineo o sinuoso a barre alternate, caratterizzato dalla presenza continua di barre alternate;
- meandriforme, caratterizzato da una successione regolare di meandri;
- canali intrecciati, o “braided”, caratterizzato da più canali che separano isole e barre;
- anastomizzato, caratterizzato da più canali con elevata sinuosità, separati da isole vegetate;
- wandering, forma transizionale tra meandriforme, canali intrecciati e/o anastomizzato, con alveo largo, barre laterali e intrecciamento e/o anastomizzazione localizzate e diffuse.

Nelle Figure 2 e 3, che seguono è possibile notare le diverse tipologie di corso d'acqua:

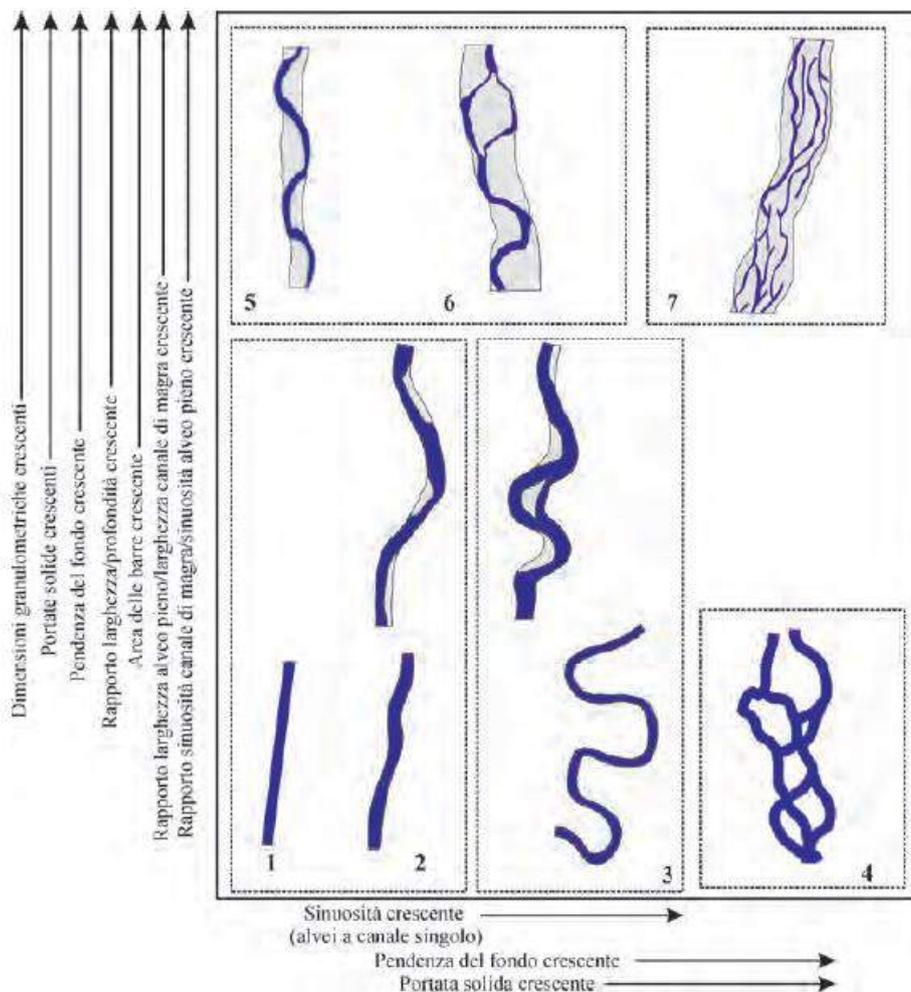


Figura 2 Morfologie fluviali. 1: alveo rettilineo; 2: sinuoso; 3: meandriforme; 4: anastomizzato; 5: sinuoso a barre alternate; 6: wandering; 7: a canali intrecciati (Rinaldi, 2003)

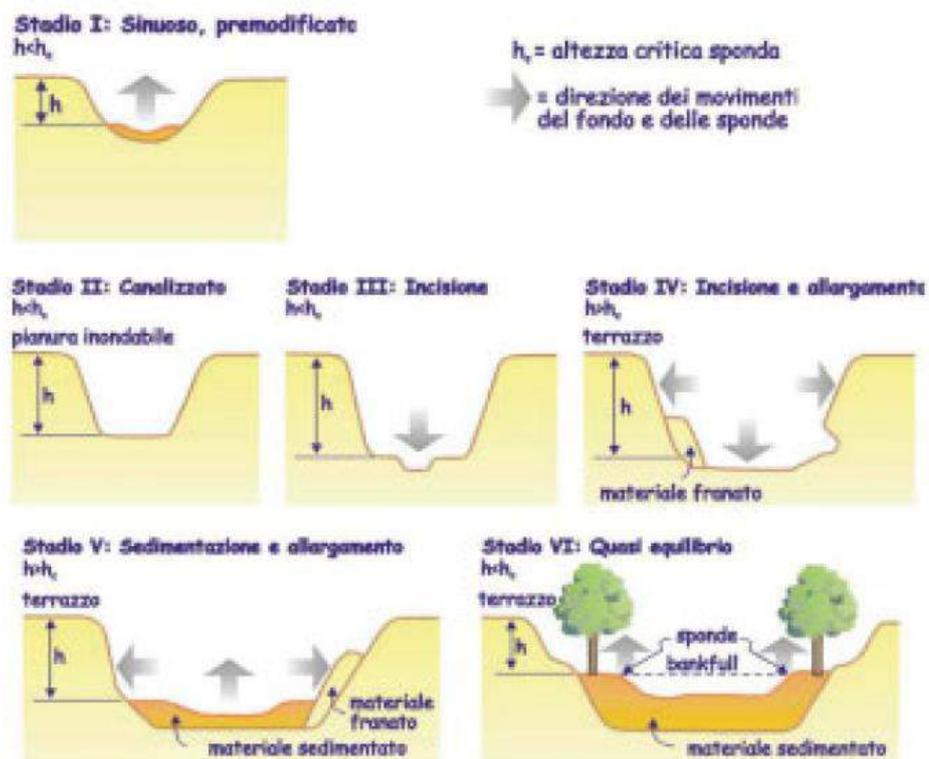


Figura 3 Modello concettuale di evoluzione di alvei fluviali (CEM: Channel Evolution Model) (SIMON, 1989 e RINALDI e SURIAN, 2005)

1.2 Principali parametri morfologici

Per descrivere la morfologia di un alveo fluviale in planimetria o in una sezione trasversale, esistono numerosi parametri. I più utilizzati per l'analisi planimetrica sono: lunghezza, larghezza, indice di intrecciamento, indice di sinuosità, raggio di curvatura del meandro, lunghezza del meandro, ampiezza del meandro. Quelli invece comunemente ottenuti da una sezione trasversale sono: larghezza, profondità, quota del fondo, ovvero thalweg o quota media, area della sezione, perimetro bagnato, raggio idraulico, rapporto di forma, altezza e inclinazione delle sponde.

Si descrivono di seguito i parametri maggiormente indicativi e utilizzati nello studio delle tendenze evolutive degli alvei:

- larghezza (L): si intende la larghezza dell'alveo "a piene rive" ("bankfull"). Nel caso sia presente la piana inondabile, si fa riferimento al punto di separazione individuato tra alveo e piana inondabile. Nel caso di alveo inciso, di qualche metro, privo di piana inondabile, si fa riferimento alla superficie pianeggiante di quota inferiore che per prima è soggetta ad inondazione.

- indice di intrecciamento o di braiding (I_b): si tratta di un indice che esprime il grado di intrecciamento in un alveo costituito da più canali; esso permette quindi di distinguere gli alvei fluviali ad un singolo canale (unicursali) da quelli a più canali (pluricursali). È importante tenere presente che si tratta di un indice che dipende dallo stato idrometrico del corso d'acqua; esso infatti assume valori massimi per portate intermedie e diminuisce sia per portate via via più basse che per portate elevate, essendo pari ad uno quando l'intero alveo risulta inondato.
- indice di sinuosità (I_s): questo parametro viene utilizzato per distinguere gli alvei rettilinei, sinuosi e meandriiformi. La sinuosità di un certo tratto si ricava dal rapporto fra la distanza misurata lungo l'asse dell'alveo e la distanza misurata lungo l'asse della valle.
- quota del fondo (Q_f): si intende il punto più depresso ("thalweg") oppure la quota media del fondo dell'alveo.
- profondità dell'alveo (P): si fa riferimento alla differenza di quota tra livello ad alveo pieno e quota del fondo.
- granulometria del materiale d'alveo;
- entità del trasporto solido totale (fondamentali le componenti al fondo e in sospensione).

Un'operazione preliminare alla misura dei parametri morfologici dell'alveo è la suddivisione del corso d'acqua di studio in tratti con caratteristiche morfologiche omogenee (Linee Guida SURIAN *et al.*, 2009), tenendo conto di alcuni aspetti, quali morfologia della valle, ovvero ampiezza e grado di confinamento del corso d'acqua, direzione della valle o del corso d'acqua nei tratti di pianura, morfologia planimetrica, ovvero configurazione dell'alveo, presenza di discontinuità idrologiche naturali o artificiali, quali affluenti e dighe.

Dovendo analizzare le variazioni dell'alveo, quindi misurare con accuratezza i parametri morfologici, è necessario avere a disposizione sia una cartografia sia rilievi topografici e una serie di immagini telerilevate, per un determinato anno. Queste ultime sono senz'altro da preferirsi, in quanto permettono un'interpretazione diretta dalla morfologia, funzionale agli scopi dello studio che si sta svolgendo.

Questo aspetto va tenuto in conto per tutti i parametri analizzati, in quanto può essere rilevante ed avere maggiore effetto sull'accuratezza delle misure. Infatti, dovendo valutare se un determinato parametro ha subito delle variazioni significative nel corso del tempo, è fondamentale sapere qual è il grado di accuratezza delle misure che sono state eseguite.

1.3 Scale temporali e definizione di instabilità

La scelta della scala temporale cui far riferimento per lo studio dei fenomeni di instabilità ed il concetto stesso di instabilità hanno da sempre rappresentato un argomento di controversie nel mondo scientifico.

Negli ultimi decenni, la scala temporale di riferimento abitualmente utilizzata nel campo della moderna geomorfologia fluviale per definire se un alveo sia stabile o instabile è la scala temporale dell'ordine delle decine o al massimo del centinaio di anni ("graded time"), ovvero confrontabile con la scala della vita umana, (SHIELD *et al.*, 2003).

Stabilita la scala temporale, un fiume si può definire stabile, o in equilibrio dinamico, se il suo alveo mantiene mediamente invariata la sua forma e le sue dimensioni caratteristiche, ovvero larghezza e profondità della sezione, pendenza, dimensione dei sedimenti, pur modificando eventualmente il proprio tracciato in maniera graduale.

Un fiume si può definire instabile quando, in riferimento alla stessa scala temporale, varia significativamente le sue dimensioni o la sua forma.

La configurazione assunta da un corso d'acqua risulta quindi essere il risultato finale e la combinazione di numerosi fattori: geologici, climatici, idrologici, idraulici, sedimentologici, vegetazionali e biologici, che esplicano le loro azioni sia a livello di bacino sia di collettore.

In particolare, i corsi d'acqua subiscono continue modifiche a causa del regime delle portate, ovvero di magra, medie e di piena, delle condizioni climatiche e dell'idrologia del bacino. In quest'ottica, la forma dell'alveo può essere spiegata facendo una distinzione tra variabili che guidano il sistema fluviale, ovvero le variabili guida, variabili che caratterizzano le condizioni fisiche nelle quali il fiume scorre, ovvero le condizioni al contorno, e variabili che derivano dall'interazione tra variabili guida e condizioni al contorno, le quali permettono di definire la geometria tridimensionale dell'alveo, ovvero la sua forma.

In particolare, le variabili guida sono identificabili con il regime delle portate liquide e delle portate solide; le condizioni al contorno sono riconducibili principalmente alla pendenza e alla topografia del fondovalle, il materiale costituente il fondo e le sponde e la vegetazione riparia; la forma dell'alveo che ne risulta è caratterizzata dalla geometria della sezione, quindi larghezza e profondità, dal profilo longitudinale, ovvero pendenza media del fondo e dalla forma planimetrica.

Sulla base di tale distinzione delle variabili in gioco, si può immaginare che il corso d'acqua si assuma forma in “equilibrio dinamico”, che risulta appunto dall'interazione tra variabili guida e condizioni al contorno. Un'alterazione di una delle variabili in gioco può determinare una perturbazione delle condizioni di equilibrio, in seguita alla quale il corso d'acqua si muove verso una nuova condizione di equilibrio. In tale intervallo, esso si troverà in condizioni di instabilità, sarà cioè soggetto a variazioni significative della sua forma, che possono avvenire sia nell'arco temporale di giorni e limitate estensioni spaziali, sia in decine o migliaia di anni e ampie estensioni spaziali, ovvero un intero sistema fluviale, in funzione dell'intensità, estensione e tipo di disturbo.

1.4 Cause di instabilità

I fattori che possono intervenire e modificare le condizioni di equilibrio dinamico di un sistema fluviale sono numerosi, (Manuale Monitoraggio Morfologico, RINALDI *et al.*, 2010). Tra di essi è possibile fare una prima distinzione tra fattori naturali ed antropici.

I fattori naturali possono essere riconducibili principalmente alle seguenti categorie:

- variazioni climatiche ed idrologiche;
- movimenti tettonici;
- fenomeni vulcanici;
- eustatismo;
- variazioni della copertura vegetale, a scala di bacino.

La maggior parte di tali fattori può avere effetti sulle variabili guida, quindi portate liquide e solide, oppure intervenire direttamente sulla forma dell'alveo, ad esempio una variazione del livello del mare induce una modifica della pendenza del fiume nel suo tratto finale.

Tra i fattori antropici, invece, si possono distinguere due gruppi:

- interventi a scala di bacino, ovvero rimboschimenti, disboscamenti, sistemazioni idraulico forestali, urbanizzazione;
- interventi diretti in alveo, ovvero tagli di meandro, canalizzazioni, dighe, escavazione di inerti.

Gli interventi a scala di bacino agiscono principalmente sulle variabili guida, andando potenzialmente a perturbare il regime delle portate liquide o, più frequentemente, di quelle solide. Gli interventi diretti in alveo possono invece modificare direttamente la forma dell'alveo, ovvero creano una geometria imposta, la quale non è il risultato dell'interazione dinamica tra variabili

guida e condizioni al contorno, ma con molta probabilità sarà una forma instabile. In altri casi, tali interventi possono perturbare il regime delle portate liquide e solide, come accade ad esempio nel caso di una diga per il tratto immediatamente a valle dell'intervento stesso.

Un'importante differenza tra fattori naturali e fattori antropici è la scala temporale su cui tali fattori manifestano i loro effetti. I fattori naturali agiscono generalmente in maniera lenta, causando variazioni pressoché impercettibili alla scala della vita umana. Viceversa, i fattori antropici agiscono generalmente su una scala temporale più breve, causando modifiche dirette o inducendo variazioni ben percettibili alla scala della vita umana.

Esistono però delle eccezioni. Un evento catastrofico naturale può ad esempio causare improvvisi e drastici riaggiustamenti nel sistema fluviale, come ad esempio il caso di un'eruzione vulcanica che può apportare improvvisamente un'enorme quantità di materiale solido ad un sistema fluviale o addirittura seppellire il reticolo idrografico preesistente.

Le variazioni morfologiche degli alvei fluviali dovute ad instabilità, spesso indotta da vari tipi di disturbi antropici, possono diventare inaccettabili per l'attività umana. L'abbassamento del fondo e le variazioni morfologiche della geometria dell'alveo possono avere una serie di effetti ambientali e socio-economici.

Si possono individuare danni a manufatti in alveo, come ponti o briglie, ad opere di difesa, come argini o danni a strutture ed infrastrutture poste nelle immediate vicinanze delle sponde, effetti sul rapporto fiume-falda e possibili conseguenze sulla vegetazione ripariale e sul regime delle colture nella pianura adiacente. Si possono inoltre verificare perdita di biodiversità e danni agli habitat ed ecosistemi acquatici e ripariali, nonché alimentazione di sedimenti nei tratti a valle del sistema fluviale con conseguente pericolo di esondazione.

Una migliore comprensione delle condizioni di instabilità passate ed attuali di un corso d'acqua è dunque essenziale per prevenire tali possibili conseguenze e per poter prevedere le possibili tendenze evolutive future.

1.5 Metodi di identificazione ed analisi delle variazioni morfologiche dell'alveo fluviale

Per identificare ed analizzare le variazioni morfologiche che si verificano lungo un corso d'acqua e valutarne le tendenze evolutive future, l'indagine geomorfologica fluviale prevede una serie di metodi.

Nel seguito si evidenziano i metodi più diffusi:

- ricerca storica di carte storiche, dipinti e foto d'epoca. Attraverso tale indagine è possibile riconoscere alcuni aspetti caratteristici del corso d'acqua, quali caratteristiche planimetriche in condizioni più naturali di quelle attuali, attraverso le carte storiche, e eventuali variazioni altimetriche del fondo, attraverso dipinti, incisioni o foto d'epoca;
- confronto di cartografie, fotografie aeree e immagini satellitari. Attraverso il confronto di cartografie, ovvero carte del XIX secolo e cartografia IGM, o di foto aeree relative ad anni diversi appartenenti all'intervallo temporale degli ultimi 50 anni circa, è possibile individuare tratti in cui l'alveo ha cambiato il suo tracciato e presenta una maggiore instabilità planimetrica, conoscere il tipo e gli stili d'aggiustamento planimetrico e l'eventuale variazione della morfologia d'alveo, misurare le variazioni di larghezza e di altri parametri planimetrici, come indici di sinuosità e d'intrecciamento;
- confronto di profili longitudinali. Tale indagine è estremamente importante per individuare i tratti interessati da fenomeni d'erosione o sedimentazione distribuita, per misurare l'entità delle variazioni di quota del fondo e di pendenza del profilo;
- confronto di sezioni trasversali. Oltre alle informazioni ricavabili dai profili del fondo, tale confronto permette di misurare le variazioni di forma e dimensioni della sezione e di effettuare stime delle differenze volumetriche di sedimenti in alveo;
- "specific gage analysis". Tale analisi consiste nel diagrammare, in funzione del tempo, il livello idrometrico corrispondente ad una specifica portata liquida in una stazione idrometrica, consentendo di ricostruire eventuali variazioni del fondo o della sezione in funzione del tempo;
- analisi dell'andamento temporale della quota del fondo;
- osservazione d'evidenze di campagna tramite rilievo geomorfologico. Talora i dati necessari per applicare i metodi precedenti possono risultare piuttosto limitati o addirittura assenti, quindi in tali casi assume fondamentale importanza una fase di rilevamento geomorfologico di campagna, durante la quale si possono trarre informazioni sul tipo d'instabilità presente, incisione o sedimentazione, allargamento o restringimento, e ottenere una stima dell'entità della variazione del fondo, principalmente in base ad evidenze di tipo geomorfologico, botanico e sedimentologico.

Nel caso della cartografia storica e delle immagini telerilevate, che vengono analizzate tramite sistemi GIS (Geographic Information System), l'accuratezza è determinata da vari fattori quali la qualità del documento originale, la risoluzione geometrica del documento, il processo di georeferenziazione del documento, il processo di digitalizzazione dell'alveo fluviale.

Nei rilievi topografici è opportuno prendere in considerazione la qualità e accuratezza del rilievo originale e la fase di confronto di rilievi realizzati in periodi differenti. Nel caso di rilievi già

disponibili è utile conoscere le modalità di realizzazione del rilievo, ad esempio se eseguito con strumentazione tradizionale, stazione totale o GPS differenziale, oppure con sistemi più recenti, come quelli LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging). Per entrambi i tipi di strumentazione è però importante acquisire informazioni sull'accuratezza del rilievo per poter valutare l'errore associato ai dati.

Avendo a disposizione vari tipi di dato, relativi a periodi differenti, è necessario procedere ad un loro confronto, per evidenziare le tendenze evolutive dell'alveo.

Questa operazione però può presentare due tipi di problemi. Il primo si può presentare nel caso delle sezioni trasversali, quando le sezioni non coincidono esattamente da un punto di vista planimetrico; in questo caso occorre valutare se lo sfasamento planimetrico sia accettabile o meno, ovvero se sia al massimo dell'ordine di alcune decine di metri. In questa valutazione un fattore rilevante è la pendenza del corso d'acqua. Il secondo problema è determinato dai sistemi di riferimento scelti per effettuare i rilievi topografici; infatti, i rilievi più recenti acquisiti con GPS e LiDAR sono generalmente disponibili in sistemi ellissoidici, a differenza di quelli acquisiti in passato nei quali le quote sono geoidiche, (Linee Guida SURIAN *et al.*, 2009).

2. ANALISI DELLE DINAMICHE EVOLUTIVE DEL TORRENTE GHIAIA IN PROSSIMITA' DELL'ABITATO DI MONTEVEGLIO

Nel seguente capitolo verranno illustrate le diverse fasi dello studio geomorfologico fluviale relativo ad un tratto di torrente, facendo riferimento alle normative vigenti in ambito idraulico per la regione Emilia Romagna.

2.1 Normativa di riferimento

- Piano Stralcio per il bacino del torrente Samoggia, aggiornamento 2007, *Norme*, Testo coordinato a seguito di modifiche e integrazioni ex art 24 comma 6 delle norme relative all'art.20 sul controllo degli apporti d'acqua, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino Reno n. 1/1 del 5 marzo 2014, approvato con deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 857 del 17/06/2014 entrato in vigore con la pubblicazione nel BUR del 2 luglio 2014;
- AZIONE A7 Linee guida per la gestione della vegetazione lungo i corsi d'acqua in Provincia di Trento, LIFE11/NAT/IT000187 T.E.N.;
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (WFD);
- Manuale Tecnico-Operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua, Versione 0 Marzo 2010, ISPRA, Istituto Tecnico per la Protezione e la Ricerca Ambientale;
- Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive, Surian et al., 2009, pubblicazione realizzata nell'ambito del progetto PRIN 2005 "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative".

2.2 Collocazione geografica

Il tratto in studio appartiene al torrente Ghiaia di Serravalle e si estende per una lunghezza di circa 2 km, dal ponte della Strada Provinciale SP28 fino alla confluenza nel torrente Samoggia. La scelta del caso di studio appare giustificata dal fatto che in tale tratto il torrente Ghiaia attraversa l'abitato di Monteveglio, in provincia di Bologna, rendendo l'indagine necessaria a garanzia della protezione dei centro abitato da possibili eventi pericolosi.

Per tale ragione lo studio idraulico del torrente Ghiaia è stato già in precedenza affrontato dall'Autorità di Bacino del Reno (AdBRe) in fase di redazione del Piano Stralcio per l'Assetto

Idrogeologico, PSAI – art. 1 c. 1 L. 3/08/98 n. 267 e s.m.i., testo al quale si fa riferimento nel presente studio.

Partendo dalle analisi e considerazioni riportate nel PAI (AdBRe, 1998) nel presente studio si provvederà ad un'ulteriore e più approfondita analisi delle problematiche morfologiche ed idrauliche del torrente in esame, proponendo ipotesi progettuali ed interventi di manutenzione finalizzati ad una ottimale gestione e difesa dell'area interessata.

Nella Figura 4 che segue si riporta un'inquadratura dell'area di studio:

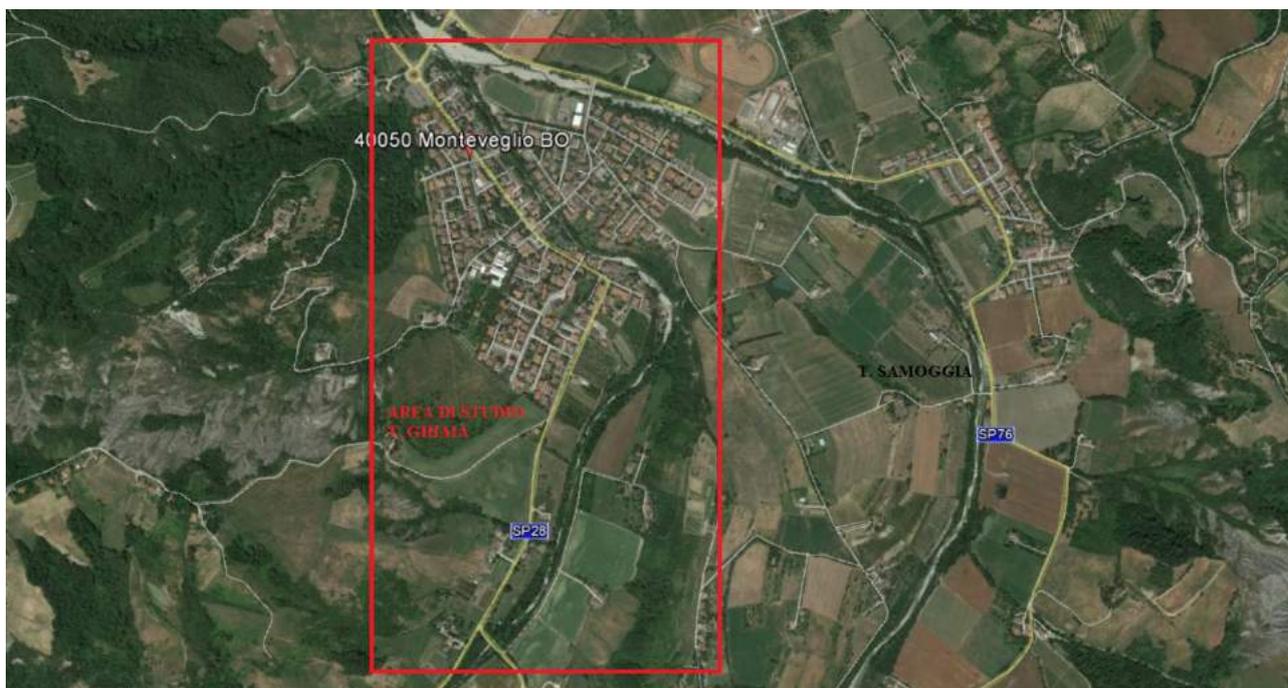


Figura 4 Inquadratura dell'area di studio – Google Earth

Il bacino del torrente Ghiaia è un sottobacino montano del torrente Samoggia, torrente che rappresenta l'ultimo affluente di sinistra del fiume Reno.

Il bacino del torrente Samoggia si estende per un'area totale di circa 369,3 km², nella porzione più occidentale del bacino del fiume Reno al confine con il bacino del fiume Po ed in particolare con il sottobacino del suo ultimo affluente di destra il fiume Panaro.

Il reticolo idrografico del Samoggia a scolo naturale conta tre corsi d'acqua maggiori: il torrente Samoggia stesso, il torrente Ghiaia di Serravalle, affluente di sinistra che si unisce al Samoggia a Monteveglio ed il torrente Lavino che confluisce in destra Samoggia, in pianura all'altezza di Sala Bolognese, in località Forcelli.

Il bacino montano del torrente Samoggia si sviluppa a sud dell'abitato di Bazzano e i suoi maggiori affluenti, da valle verso monte sono: il rio Marzatore, il più grande dei bacini minori, che sfocia in Samoggia in sinistra poco a valle dell'abitato di Monteveglio, il torrente Ghiaia di Serravalle in sinistra in località Monteveglio con il suo tributario di destra torrente Ghiaia di Montombraro.

Il torrente Ghiaia è il principale tributario del tratto montano: esso si presenta con un alveo angusto e con caratteristiche simili alla parte più alta del Samoggia del quale, più che un affluente, può considerarsi una diramazione vera e propria che si articola in altri due rami, torrente Ghiaia di Ciano e torrente Ghiaia di Montombraro.

Nel seguito, in Figura 5, si riporta la definizione dei sottobacini nel territorio montano, estratta dall'*Allegato Tecnico B* presente nel Piano stralcio per il bacino del torrente Samoggia:

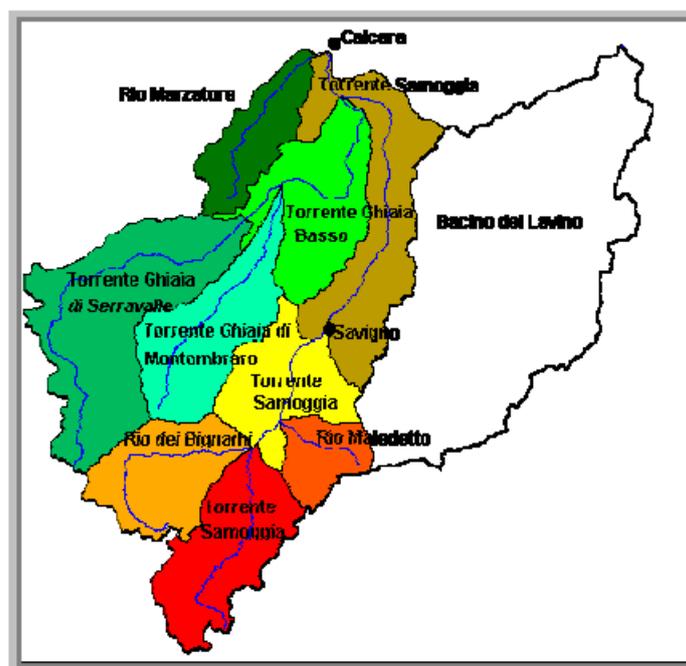


Figura 5 Definizione dei sottobacini nel territorio montano - Allegato Tecnico B del Piano di Bacino

Nel seguito si riportano in forma tabellare le principali caratteristiche del torrente Ghiaia di Serravalle:

Tabella 1 Caratteristiche del torrente Ghiaia di Serravalle - Piano di Bacino

Area bacino idrografico montano	71,32 km ²
Lunghezza asta	24,5 km
Quota massima s.l.m. dello spartiacque bacino	748 m s.l.m. (cima di Monte Roppio)
Quota massima s.l.m. del bacino	748 m s.l.m. (cima di Monte Roppio)
Quota s.l.m. dell'incile del bacino montano (fondo sezione di chiusura)	104 m s.l.m.
Quota s.l.m. del fondo sezione di sbocco Ghiaia in Samoggia	104 m s.l.m.

2.3 Gli ambiti territoriali fluviali – la Pianificazione di Bacino

All'interno del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI – art. 1 c. 1 L. 3/08/98 n. 267 e s.m.i.) adottato dall'Autorità di Bacino del Reno, sono stati definiti e perimetrati gli ambiti territoriali fluviali, ovvero quelle fasce collocate in prossimità del fiume Reno e dei suoi affluenti che, per caratteristiche idrografiche, geomorfologiche e idrauliche sono state sottoposte a particolari norme d'uso, al fine di migliorare e tutelare l'assetto fluviale e ridurre il rischio idraulico, quindi garantire la salvaguardia del corso d'acqua, della rete idrografica e un assetto fluviale che consenta un libero deflusso delle acque.

Gli ambiti individuati, di particolare interesse per il seguente lavoro, sono:

- alveo attivo e reticolo idrografico, come insieme di alvei attivi;
- Aree ad Alta Probabilità di Inondazione;
- Aree di Realizzazione di Interventi Strutturali;
- Fasce di Pertinenza Fluviale Montana (PF.M.).

L'individuazione degli alvei attivi e delle fasce di pertinenza fluviale riveste una grande importanza per l'attuazione di politiche volte a garantire la sicurezza idraulica del territorio, il mantenimento e il miglioramento di tutte le funzioni connesse al corso d'acqua.

L'alveo attivo costituisce l'ambito territoriale di maggiore tutela, è normato dall'articolo 15 delle Norme di Piano ed è definito come l'insieme degli spazi normalmente occupati dalle acque con tempi di ritorno di 5-10 anni, del volume di terreno che circonda tali spazi e che interagisce con le masse d'acqua e di ogni elemento che partecipa alla determinazione del regime idraulico, come definito nell'art.4 delle Norme di Piano (AdBRe, 2007).

Diversamente dall'alveo attivo, normalmente occupato dall'acqua, la Fascia di Pertinenza Fluviale, latitante, può essere occupata solo in caso di piena, ma è in ogni caso soggetta a scambi idrici sub superficiali o sotterranei con il corso d'acqua.

L'individuazione della pertinenza fluviale assume un'importante valenza pianificatoria, diventando l'area da dedicare alle azioni di recupero dei sistemi fluviali nella loro funzione idraulica ed ecologica.

Con lo scopo di valorizzare il più possibile il sistema fluviale e tutelare la sicurezza idraulica, la pertinenza fluviale è stata tracciata sulla base di tre criteri:

- inclusione delle aree esposte ad inondazioni per piene con tempo di ritorno di 100-200 anni;
- inclusione delle aree destinate a verde prospicienti il fiume, appartenenti al sistema fluviale o di suo potenziale arricchimento;
- inclusione delle aree costituenti una fascia minima di rispetto dell'alveo (almeno 30 metri).

Le Aree ad Alta Probabilità di Inondazione sono state individuate per giungere all'individuazione delle situazioni a rischio idraulico elevato e molto elevato e, relativamente a tempi di ritorno di 25-30 anni, definire la dimensione fluviale e le aree soggette a inondazione con effetti rilevanti.

La definizione di tali aree si basa sulla determinazione delle condizioni idrauliche di portata, livelli idrici, velocità, con le quali avviene il moto nel corso d'acqua, imponendo una sollecitazione, ovvero un'onda di piena con probabilità di accadimento imposta.

Nel seguito, nella Figura 6, si riporta un dettaglio che interessa il tratto di torrente in studio, ricavato dalla tavola di Piano, *Tavola 2.0 Quadro d'unione tavole*, mettendo in evidenza l'alveo attivo, le fasce di pertinenza fluviale montana e le aree ad alta probabilità di inondazione:

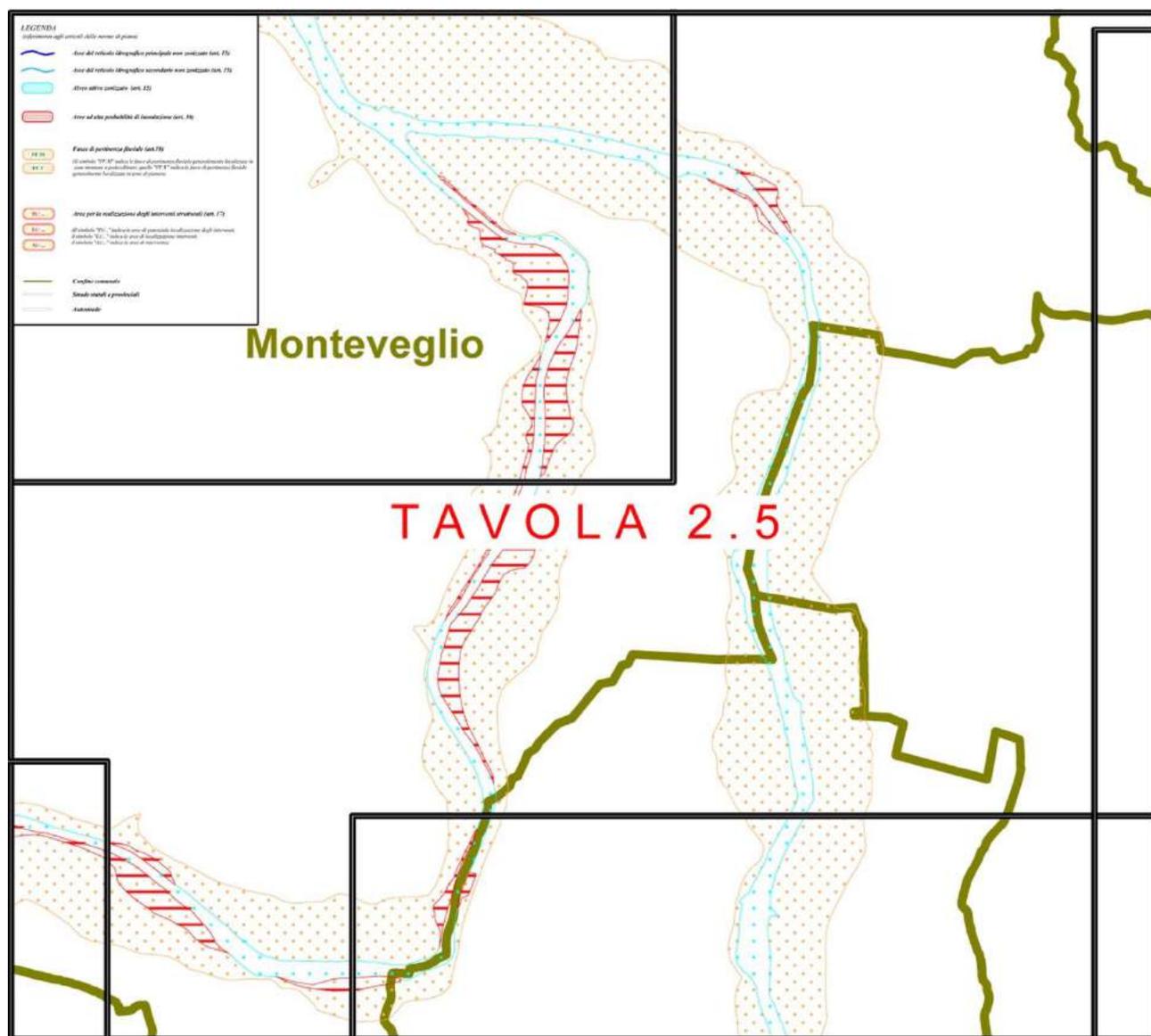


Figura 6 Dettaglio sul torrente Ghiaia della Tavola 2.0 del Piano di Bacino

Si riporta inoltre il dettaglio ricavato dalla tavola di Piano, *Tavola "A" Localizzazione delle situazioni a rischio elevato e molto elevato*, mettendo in evidenza il quadro di interesse, come mostrato in Figura 7:

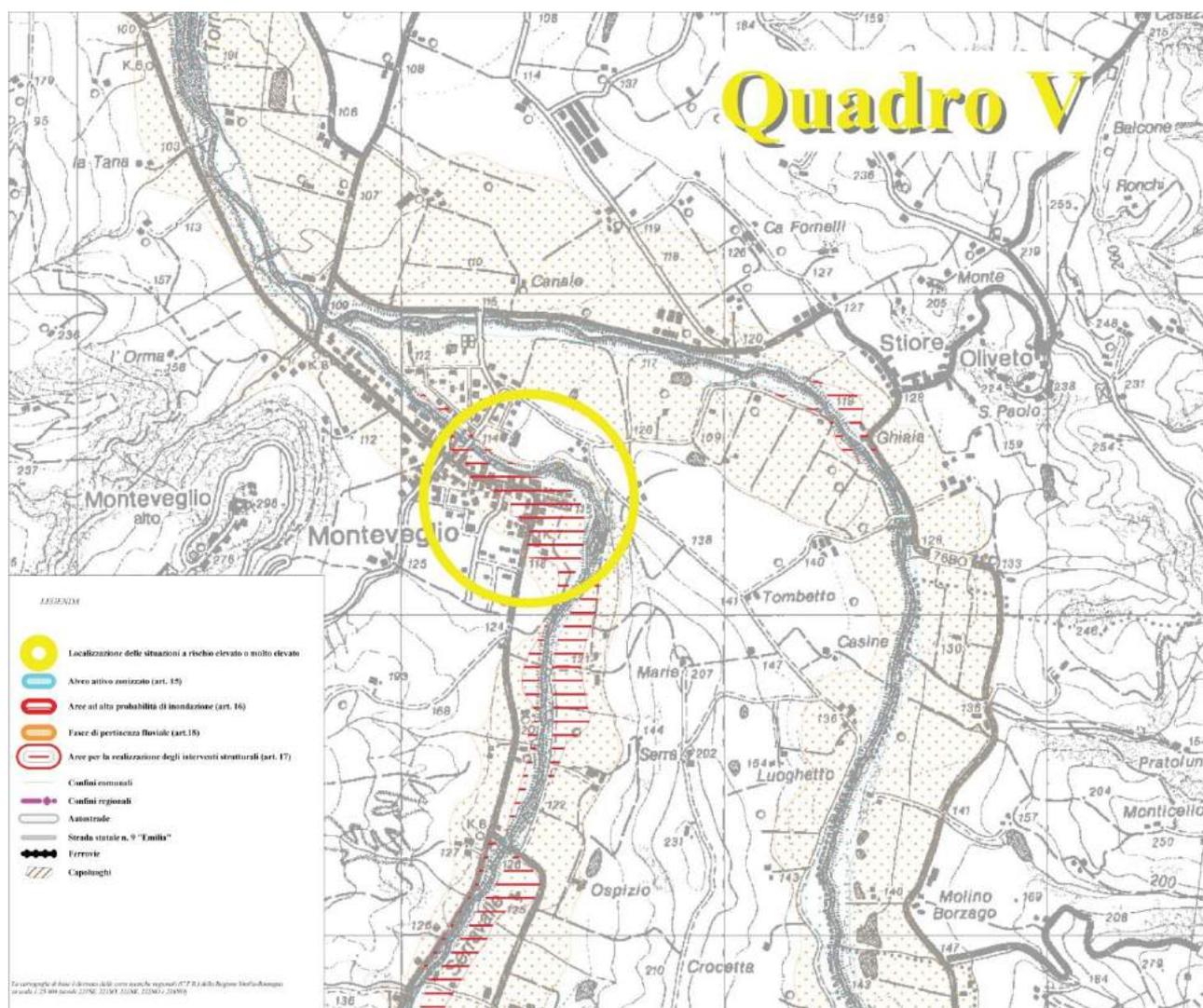


Figura 7 Dettaglio sul torrente Ghiaia dalla Tavola "A" del Piano di Bacino

2.4 Caratterizzazione geologica

Sotto il profilo geolitologico, le caratteristiche del bacino sono ben individuabili: in ampie zone del bacino, potenti fenomeni erosivi ed in minor grado orogenetici hanno messo allo scoperto l'iniziale bastione di marne mioceniche, i sottostanti strati di imbasamenti di arenarie eoceniche e soprattutto di argille scagliose. Nelle ultime porzioni del bacino compaiono le formazioni plioceniche passanti da assise di arenarie giallastre-ciottolose ad assise marnoso-sabbiose. Le estreme propaggini collinari fronteggianti la pianura sono, infine, costituite da formazioni alluvionali pleistoceniche sabbioso-terrose e ghiaioso-ciottolose. Il bacino può considerarsi praticamente impermeabile, nonostante il modico potere assorbente che caratterizza talune formazioni plioceniche del tipo molassico. Gli ampi fenomeni di degrado per calanchi e scoscendimenti di varia natura che presenta

il bacino tanto nei piani cretacei di argille scagliose quanto in quelli pliocenici argillo-marnosi sono accentuati dall'assenza di boschi estesi intatti e di tenaci cotichi erbosi prativi e dall'ampia presenza di colture eminentemente arative. Questo complesso di condizioni precarie, sia sotto il profilo litologico che sotto il profilo del protettivo manto vegetale, è all'origine del vasto processo di ablazione con conseguente elevato trasporto solido, al fondo e in sospensione.

2.5 Uso del suolo

Facendo riferimento all'*Allegato Tecnico B* presente nel Piano stralcio per il bacino del torrente Samoggia, è possibile avere una descrizione dettagliata sui tipi di uso presenti nel territorio oggetto dello studio e la loro distribuzione spaziale. Tale informazione, insieme con i dati geologici e geomorfologici risulta di fondamentale importanza per l'individuazione delle criticità del sistema fisico e per conoscerne le potenzialità.

Nel seguito, in Figura 8, si riporta la Carta dell'Uso del Suolo come definita dal Piano:

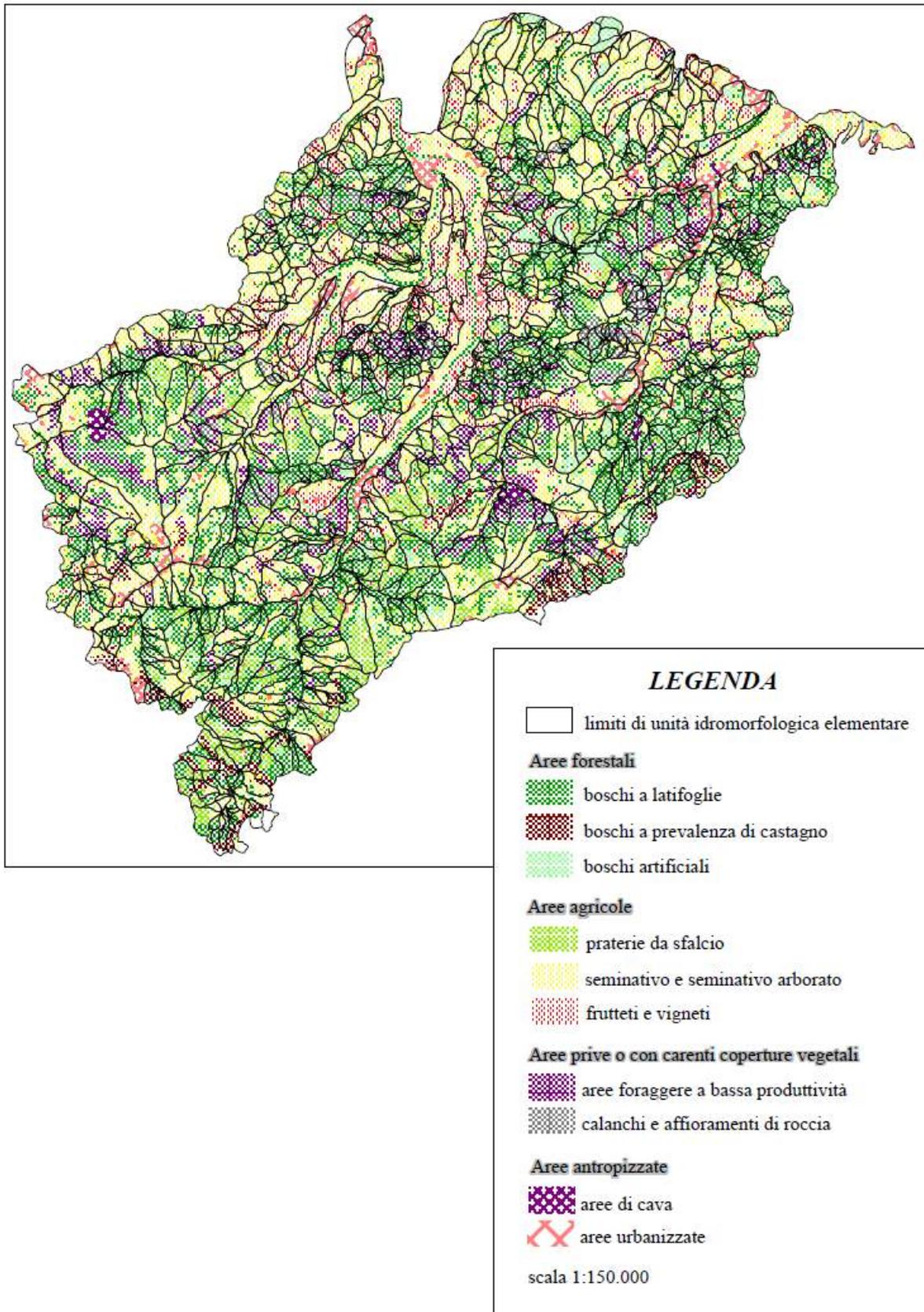


Figura 8 Carta dell'uso del suolo nel territorio montano del bacino del torrente Samoggia - Allegato Tecnico B del PSAI

Le categorie di vegetazione individuate sono state ricondotte a quattro tipologie di uso principale che hanno permesso di riconoscere per le singole U.I.E. gli usi prevalenti: aree agricole, aree forestali, aree prive o con carente copertura vegetale.

Sono comprese nelle aree agricole le colture agricole estensive, praterie da sfalcio, prati colturali con lavorazioni pluriennali anche in rotazione con colture annuali, le colture erbacee a semina annuale e i seminativi alternati a colture arboree e le colture arboree specializzate comprendenti frutteti e vigneti.

Nelle aree forestali sono compresi tutti i tipi di colture arboree e arbustive naturali e antropiche; sono stati distinti, all'interno delle aree forestali i boschi a prevalenza di castagno governati a ceduo o a castagneto da frutto, i boschi artificiali di conifere, e sono state riuniti in un'unica categoria i boschi di latifoglie naturali e antropici senza distinzione di specie o densità di copertura. Nelle aree prive o con scarsa copertura vegetale sono inclusi gli affioramenti di roccia, per lo più calanchi, mentre nelle aree a scarsa copertura vegetale sono stati compresi ex coltivi in via di rinaturalizzazione e aree in dissesto.

Le aree a copertura forestale costituiscono circa 39% della superficie del bacino e sono localizzate su formazioni geologiche competenti, in corrispondenza dei versanti più acclivi e delle incisioni fluviali, mentre nei terreni caotici e sulle formazioni flyschoidi rivestono ampi tratti di versanti ai margini dei territori più dissestati. Gli usi agricoli, diffusi su tutto il territorio del bacino, trovano la massima concentrazione nei primi rilievi del margine appenninico e lungo la media e bassa valle del torrente Samoggia tra gli abitati di Monteveglio e di Castello di Serravalle, dove tra l'altro si rileva la maggior concentrazione di colture arboree specializzate (9%).

A sud della linea Castello di Serravalle - Monte Pastore, gli usi diventano più estensivi con particolare sviluppo delle praterie da sfalcio e di seminativi avvicendati a colture foraggere (39%).

Le aree prive o con scarsa copertura vegetale, nonostante l'elevato grado di dissesto che contraddistingue il bacino, costituiscono il 8% del territorio e sono localizzate in prossimità delle incisioni torrentizie sui versanti con forte erosione ed elevato dissesto e sono costituite per lo più da calanchi e aree pseudocalanchive.

2.6 Indagine geomorfologica fluviale

Al fine di procedere con l'indagine geomorfologica fluviale e di effettuare una indagine dettagliata sulle dinamiche evolutive del corso d'acqua d'interesse, sono stati scelti solo alcuni dei metodi di identificazione e analisi. In particolare, si è scelto:

- rilievo geomorfologico di campagna;
- confronto di materiale cartografico, fotogrammi aerei e immagini satellitari per l'analisi dell'evoluzione planimetrica;
- confronto di profili longitudinali;
- confronto di sezioni trasversali.

L'indagine è stata condotta sulla base dei seguenti dati a disposizione:

- rilievi topografici di 12 sezioni trasversali collocate lungo il tratto di interesse, effettuati in periodi differenti, ovvero relativi agli anni 1997, 2002 e 2015:

SEZIONE	PERIODO
11	Rilievo topografico in data 24/10/1997 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
12	Rilievo topografico in data 27/10/1997 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
13	Rilievo topografico in data 27/10/1997 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
14	Rilievo topografico in data 27/10/1997 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
15	Rilievo topografico in data 27/10/1997 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
H	Rilievo topografico in data 3/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana

SEZIONE	PERIODO
G	Rilievo topografico in data 3/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
F	Rilievo topografico in data 3/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
E	Rilievo topografico in data 3/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
D	Rilievo topografico in data 3/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
C	Rilievo topografico in data 3/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana
A	Rilievo topografico in data 2/10/2002 per il richiedente Autorità di Bacino del Reno; rilievo in data 10/06/2015 per il Consorzio della Bonifica Renana

Nel seguito si riporta la Figura 9, rappresentativa della planimetria con le sezioni rilevate:

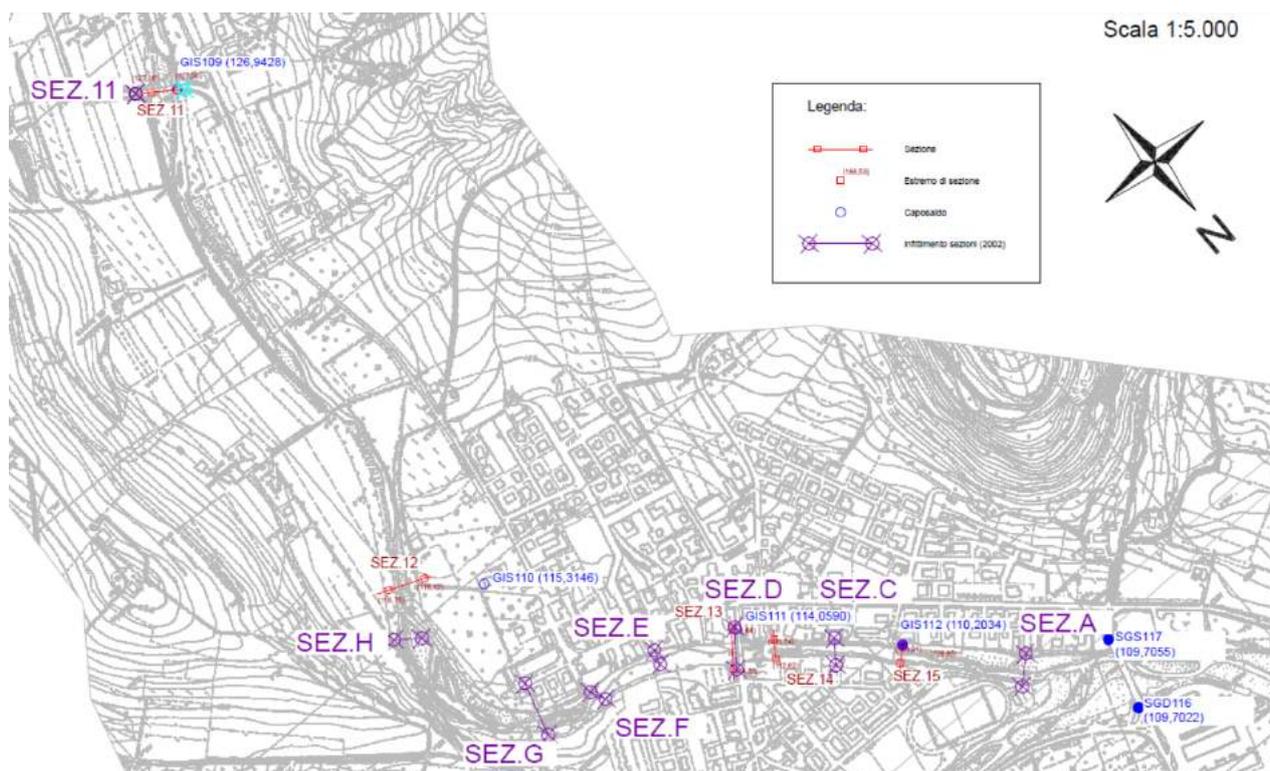


Figura 9 Planimetria con le sezioni ottenute dai rilievi topografici

- planimetria dell'asta fluviale rilevata in periodi differenti, ovvero 1997, 2002 e 2015;
- profili longitudinali relativi agli anni 1997, 2002 e 2015, per il tratto in studio;
- materiale topografico, ovvero fotogrammi aerei ed immagini satellitari:

TIPO DI MATERIALE
Carta tecnica regionale dell'Emilia Romagna n° 220100, formato raster, sistema UTM ED 50, DBTR2013
Ortofoto AGEA ER 2011, formato raster, acquisita il 26-28-29/05/2001, fonte wms: http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/ortofoto_colore_12.map
Ortofoto Geoportale Nazionale, formato raster, acquisita il 10/05/2007, fonte wms: http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/ortofoto_colore_06.map
Ortofoto Geoportale Nazionale, formato raster, acquisita il 22/06/1999, fonte wms: http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/ortofoto_colore_00.map

TIPO DI MATERIALE
Ortofoto Geoportale Nazionale, formato raster, acquisita il 09/1996, fonte wms: http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/ortofoto_bn_94.map
Ortofoto Geoportale Nazionale, formato raster, acquisita il 15/06/1988, fonte wms: http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/raster/ortofoto_bn_88.map

Nelle Figure 10, 11, 12, 13, 14 che seguono si riportano le ortofoto reperite in formato digitale dal sito internet Geoportale Nazionale Emilia Romagna, <http://www.pcn.minambiente.it>:



Figura 10 Ortofoto geoportale 2012



Figura 11 Ortofoto geoportale 2006



Figura 12 Ortofoto geoportale 2000



Figura 13 Ortofoto geoportale 1994



Figura 14 Ortofoto geoportale 1988

2.6.1 Confronto di materiale topografico

Questa fase dell'indagine geomorfologica è stata condotta al fine di individuare eventuali e significative variazioni planimetriche del torrente Ghiaia nel tratto esaminato, variazioni avvenute nel passato con scala temporale dell'ordine di alcune decine di anni.

Tale indagine risulta utile per individuare i tratti in cui l'alveo ha cambiato il suo tracciato e presenta tutt'ora una maggiore instabilità planimetrica, per conoscere il tipo e gli stili di aggiustamento planimetrico e l'eventuale variazione della morfologia dell'alveo, per misurare le variazioni di larghezza e di altri parametri planimetrici come larghezza (L), quota del fondo (Q_f) e profondità dell'alveo (P).

Il materiale utilizzato è di tipo digitale, come descritto nel precedente paragrafo, §2.6, ovvero CTR n° 220100 dell'Emilia Romagna e ortofoto digitali relative agli anni 2012, 2006, 2000, 1994, 1988, riportate nelle Figure 10, 11, 12, 13, 14.

Avvalendosi del software GIS di cartografia numerica QGIS 2.4.0, si è proceduto alla realizzazione di una rappresentazione sovrapposta delle configurazioni planimetriche assunte nel tempo dall'alveo attivo. L'indagine è stata condotta riferendosi alle immagini digitali di tipo raster, ottenute in formato WMS dal sito internet Geoportale Nazionale (UTM WGS84 32N).

Avendo così a disposizione tutte le rappresentazioni, si è proseguito per ciascuna di esse a vettorializzare l'alveo attivo. Si è quindi delineato il limite dell'alveo attivo seguendo il margine della vegetazione ripariale arborea collocata sul piano d'inondazione, scelta effettuata ricordando la definizione di alveo attivo espressa in ambito geomorfologico, nel § 2.3.

L'identificazione dei margini della vegetazione è stata facilitata dalla colorazione della fascia arborea, nettamente più scura rispetto alle barre laterali, e quindi di colore molto chiaro per la predominanza della componente ghiaiosa, e alle "channel shelf", ricoperte da vegetazione arbustiva meno fitta e matura e quindi di colore più tenue.

Tutti i layer rappresentativi dell'alveo in formato vettoriale sono stati quindi sovrapposti a costituire le rappresentazioni illustrate in: Tavola 1 – "Evoluzione planimetrica dell'alveo del torrente Ghiaia nel tratto compreso tra il ponte della SP28 a monte e la confluenza in Samoggia a valle", Tavola 2 – "Evoluzione planimetrica dell'alveo – QUADRO 1" e Tavola 3 – "Evoluzione planimetrica dell'alveo – QUADRO 2", riportate nelle Figure 15, 16, 17 che seguono:

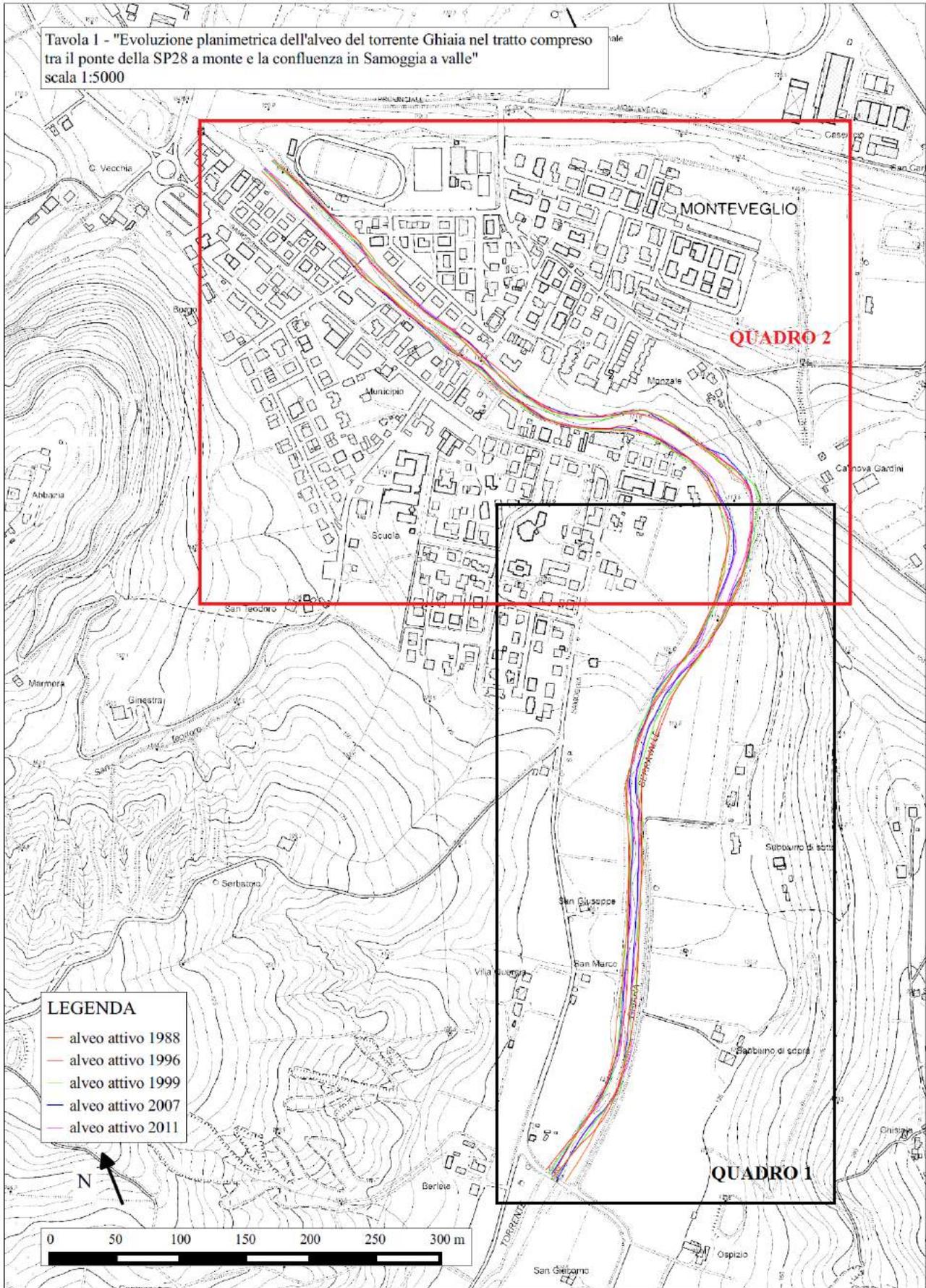


Figura 15 Raffronto planimetrico - Tavola 1

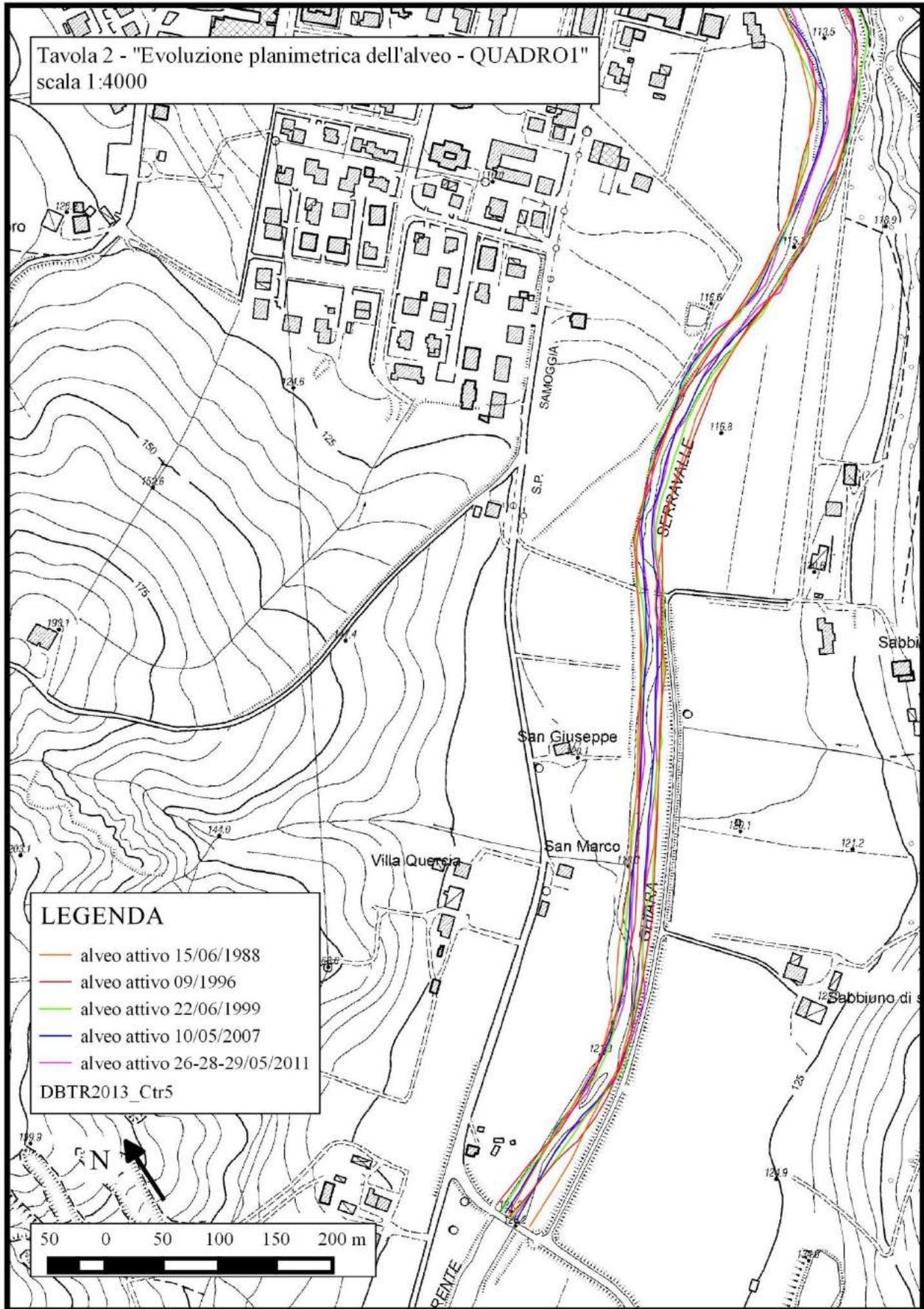


Figura 16 Raffronto planimetrico - Tavola 2

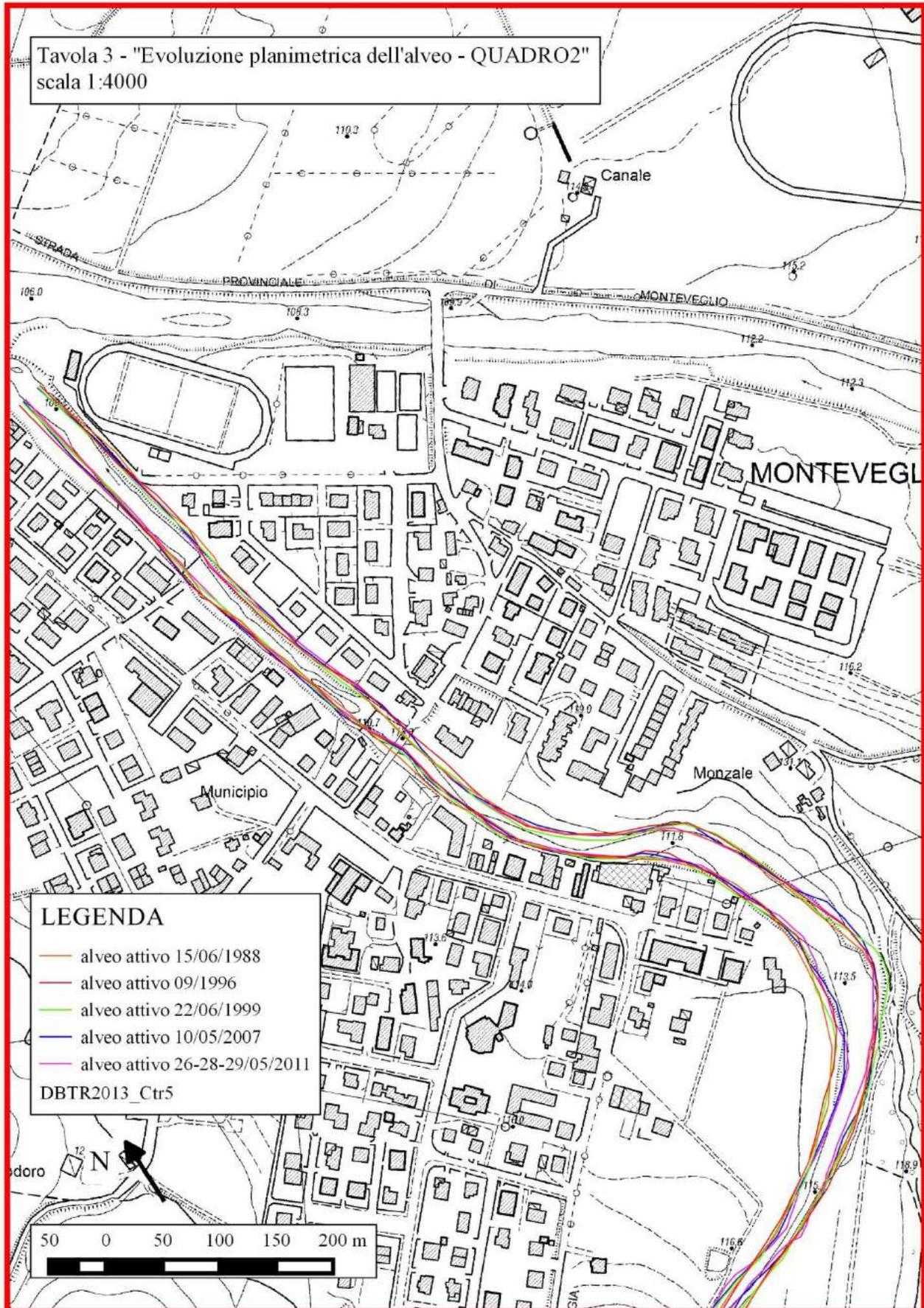


Figura 17 Raffronto planimetrico - Tavola 3

2.6.2 Confronto di sezioni trasversali

Questa fase dell'indagine geomorfologica si propone di individuare e misurare eventuali e significative variazioni di forma e dimensioni della sezione e di effettuare stime delle differenze volumetriche di sedimenti in alveo.

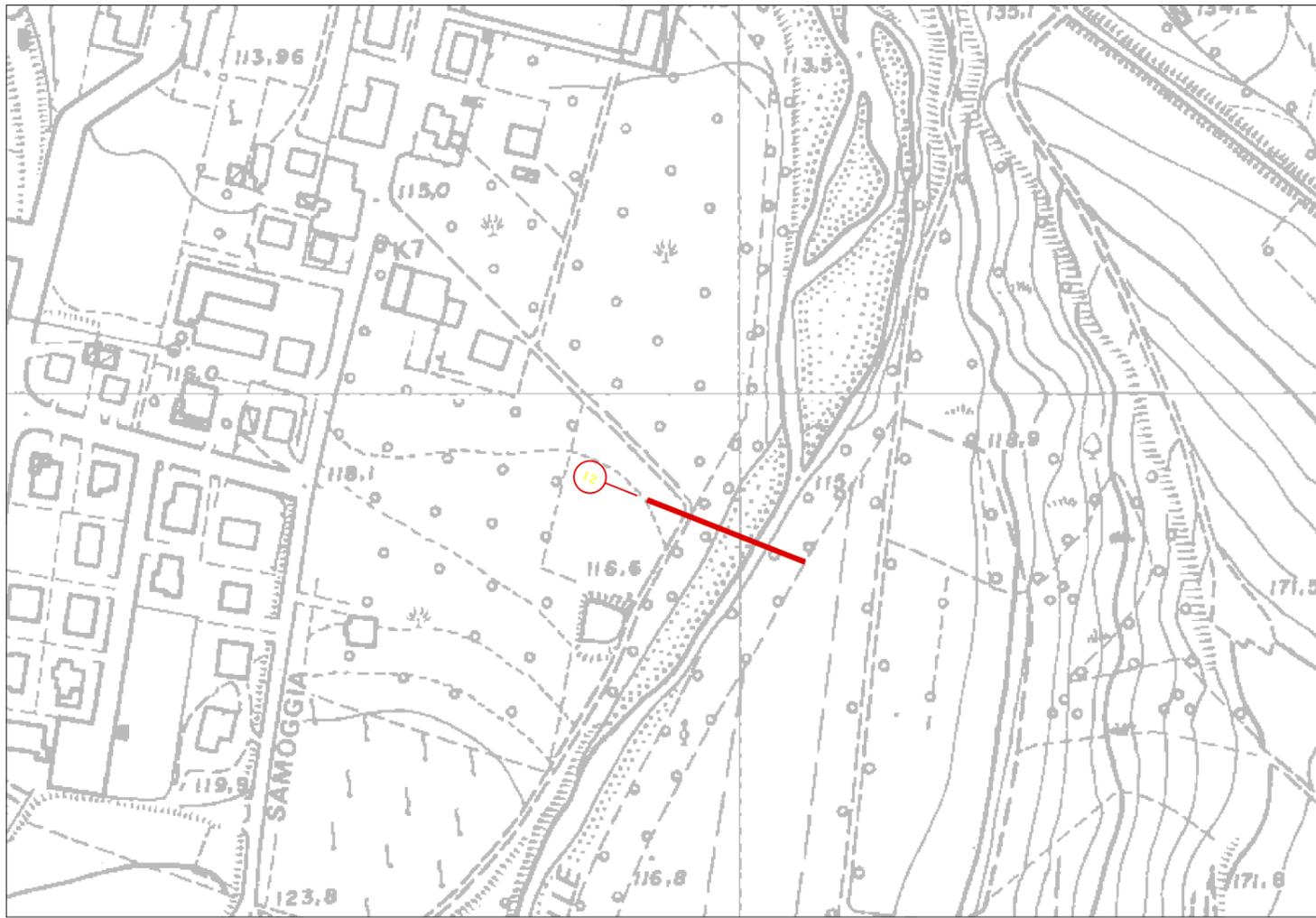
Sono state sottoposte a questo tipo di indagine tutte le sezioni rilevate lungo il tratto di studio del torrente, facendo riferimento ai rilievi effettuati nei diversi anni, 1997, 2002 e 2015, come riportato nel § 2.6 e nella Figura 9, e avvalendosi dell'utilizzo del software AutoCAD.

Le sezioni rilevate sono state quindi sovrapposte utilizzando la medesima scala di rappresentazione, scala 1:200, e con l'attenzione di individuare dei punti in comune tra le diverse rappresentazioni.

I risultati ottenuti da questo tipo di indagine sono illustrati nelle planimetrie seguenti, in cui si riportano alcune sezioni rappresentative, ed in particolare le sezioni 12, H, G, 13:

PLANIMETRIA C.T.R. 1:2000

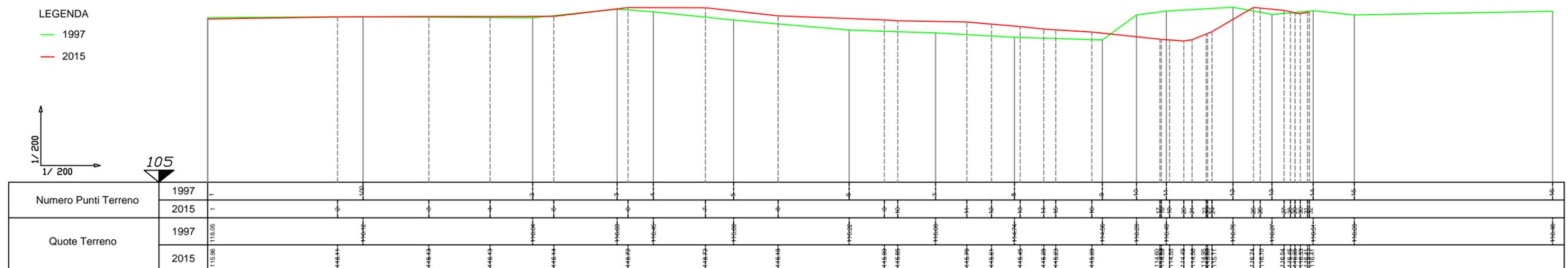
Torrente GHIAIA
 Loc. Monteveglio VALSAMOGGIA (BO)
 sezione di riferimento: 12



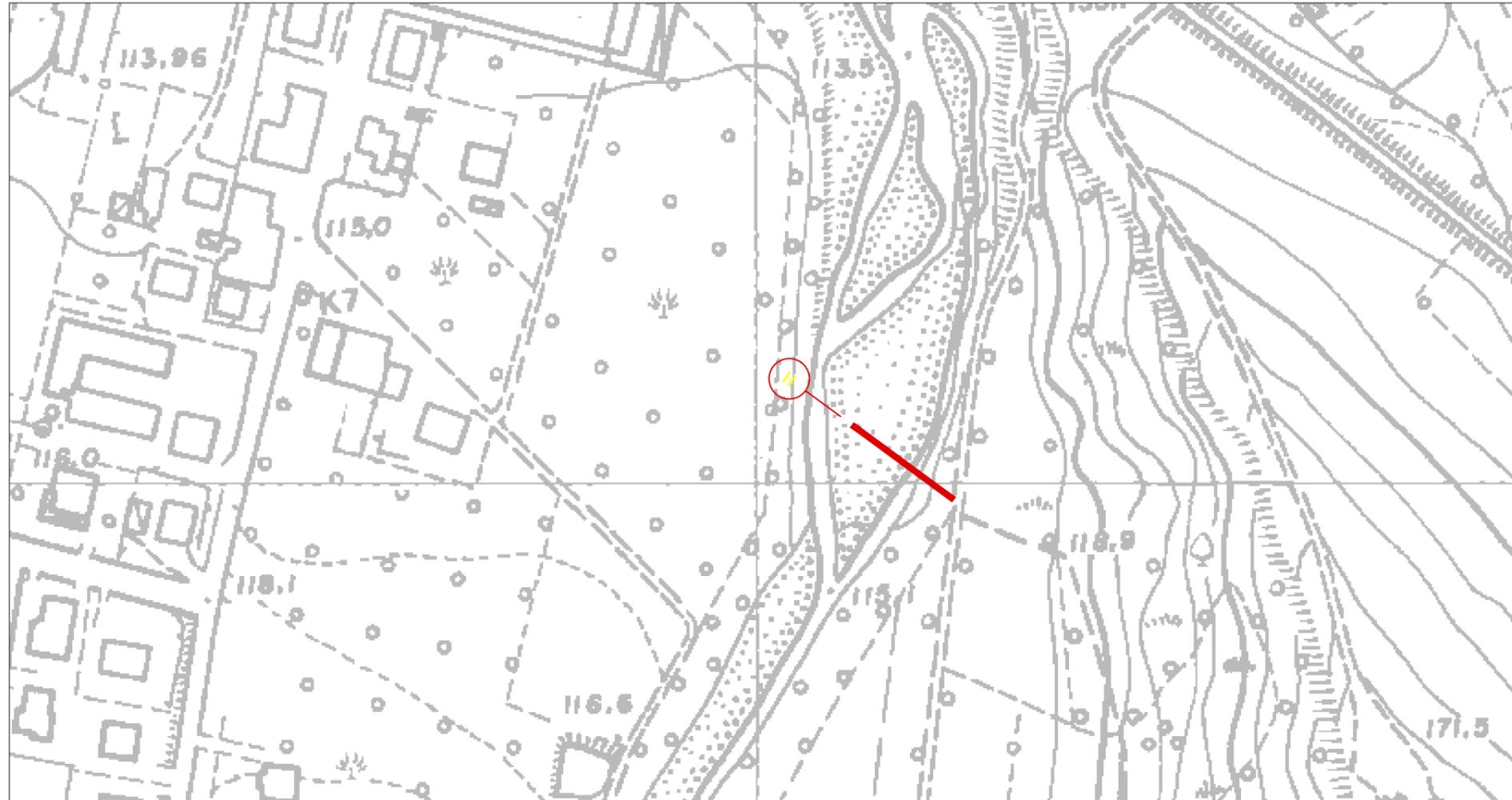
Nord



CONFRONTO SEZIONE 12



PLANIMETRIA C.T.R. 1:2000

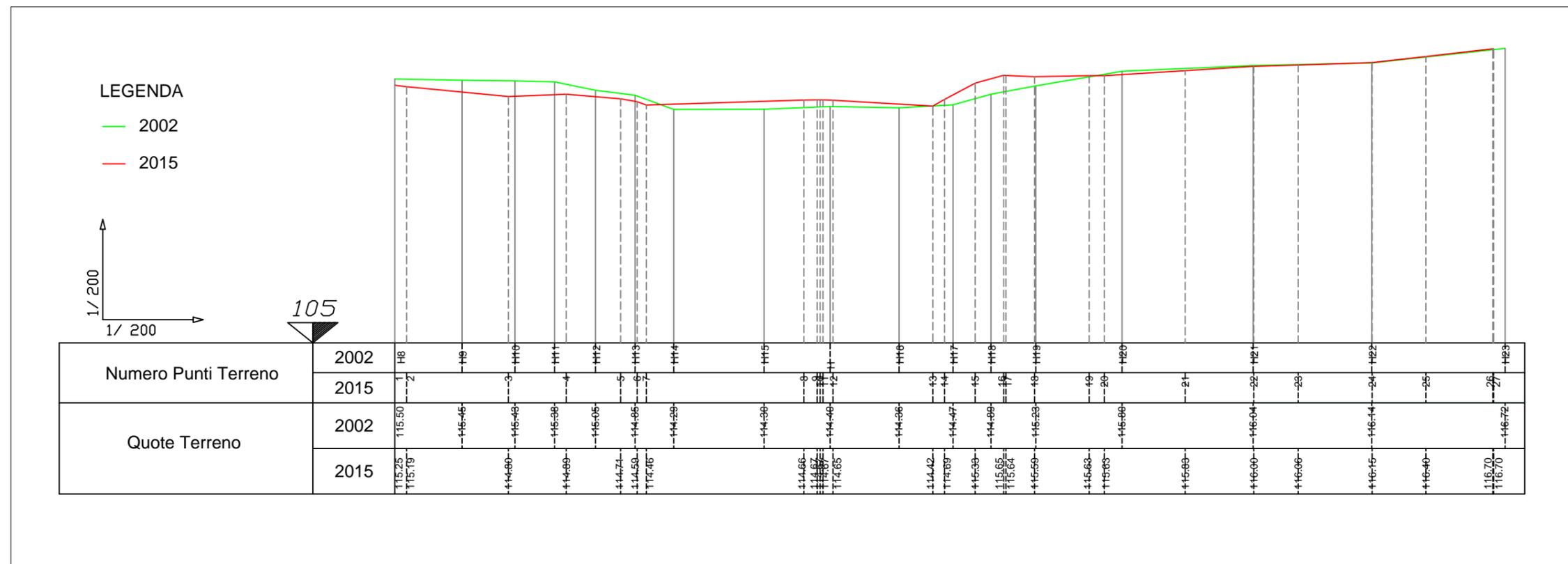


Torrente GHIAIA
 Loc. Monteveglio VALSAMOGGIA (BO)
 sezione di riferimento: H

Nord

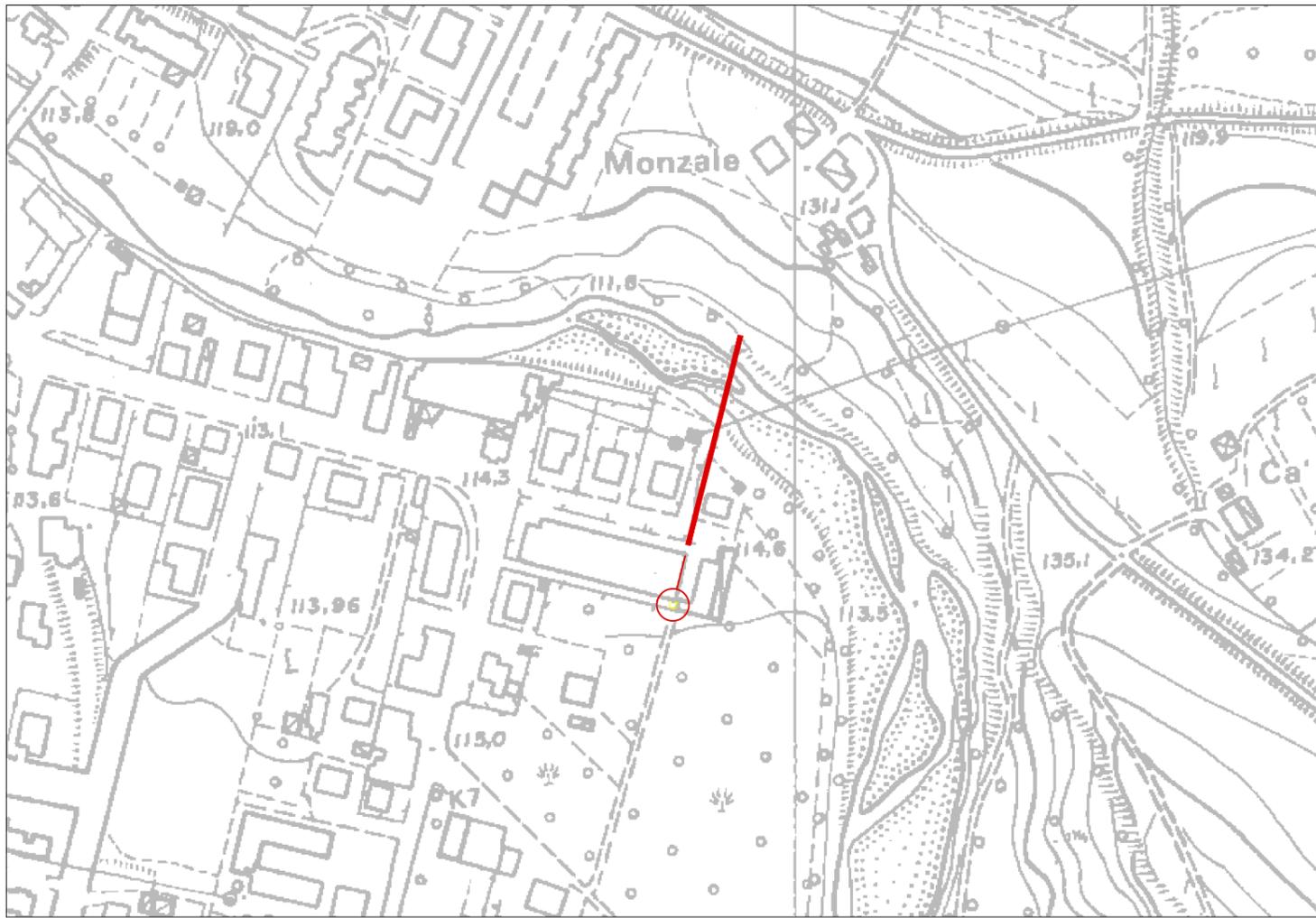


CONFRONTO SEZIONE H



PLANIMETRIA C.T.R. 1:2000

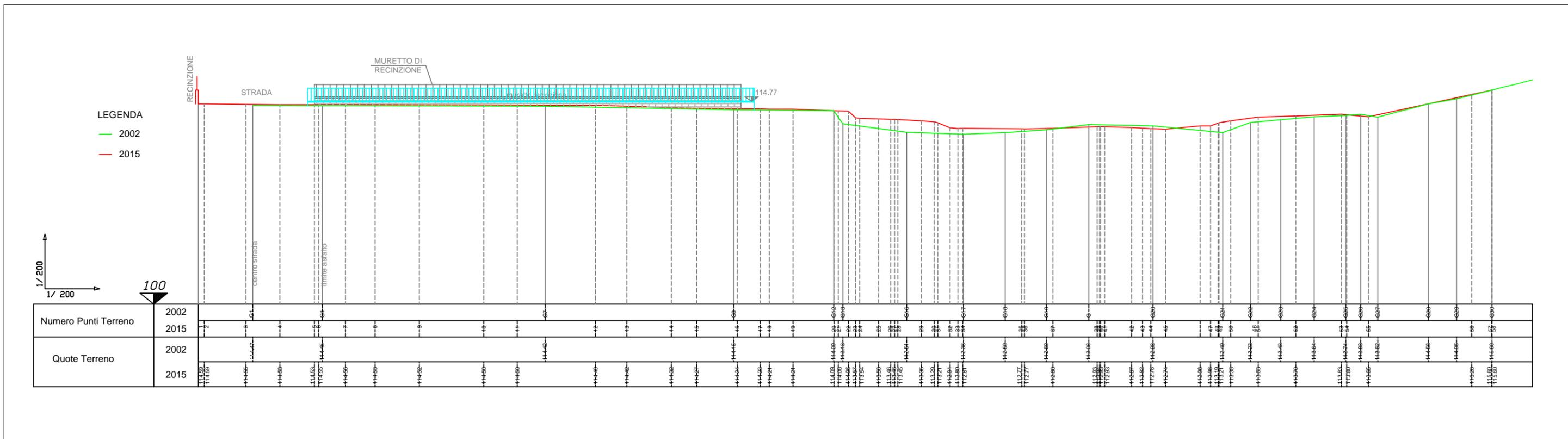
Torrente GHIAIA
 Loc. Monteveglio VALSAMOGGIA (BO)
 sezione di riferimento: G



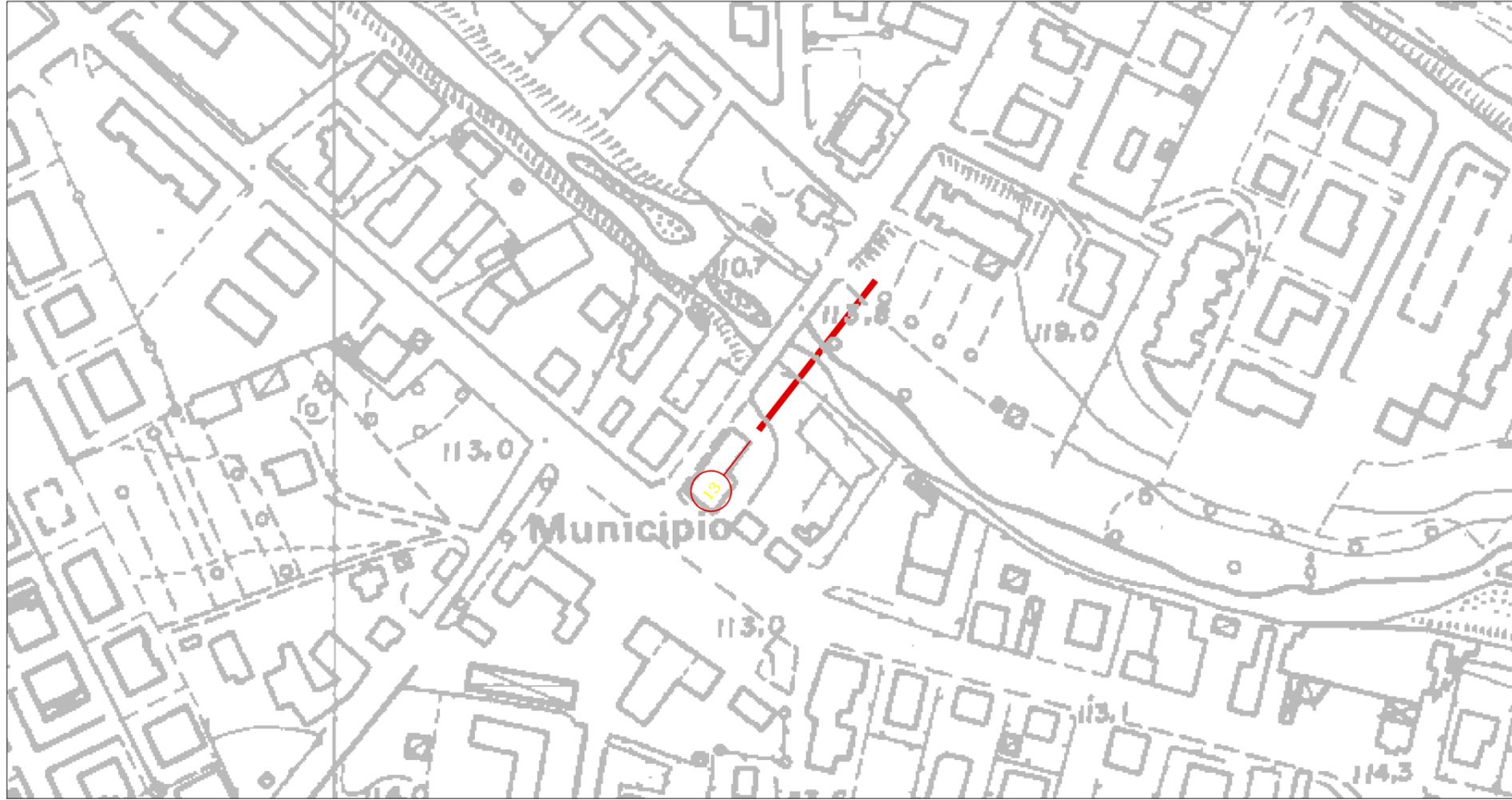
Nord



CONFRONTO SEZIONE G



PLANIMETRIA C.T.R. 1:2000

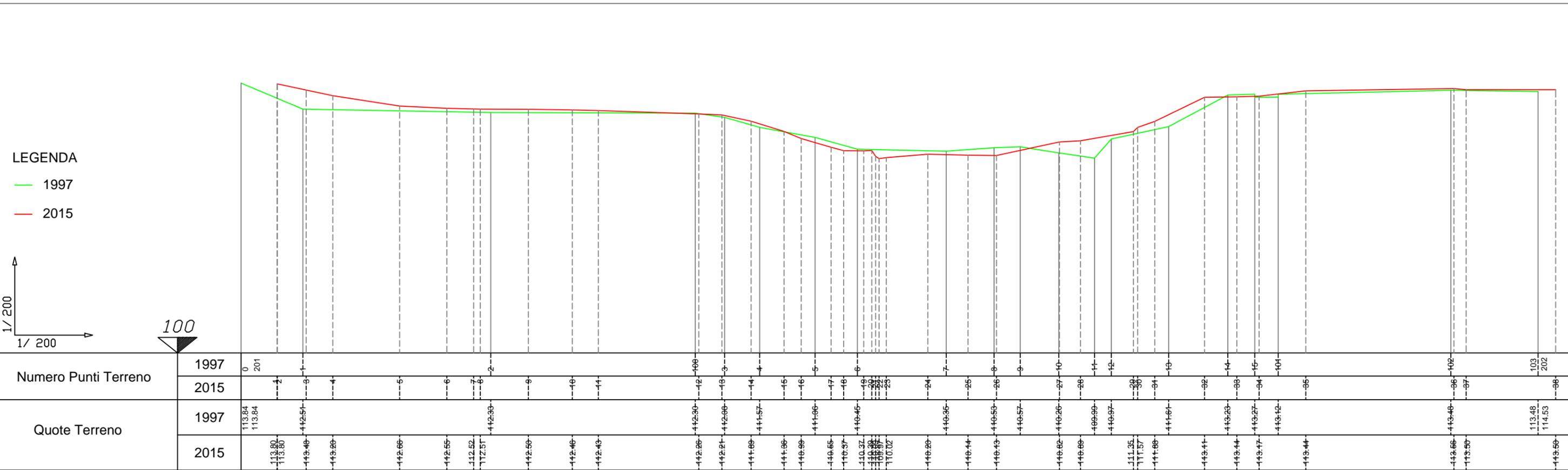


Torrente GHIAIA
 Loc. Monteveglio VALSAMOGGIA (BO)
 sezione di riferimento: 13

Nord



CONFRONTO SEZIONE 13



2.6.3 Confronto di profili longitudinali

Questa fase dell'indagine geomorfologica si propone di individuare i tratti interessati da fenomeni di erosione o sedimentazione distribuita, al fine di misurare l'entità delle variazioni di quota del fondo e di pendenza dell'alveo.

Pur avendo a disposizione i profili rilevati per gli anni 1997, 2002, 2015, sono stati sottoposti a questo tipo di indagine solo i profili relativi agli anni 2002 e 2015, perché ritenuti maggiormente significativi per lo scopo dell'indagine.

Avvalendosi del software AutoCAD, i due profili sono stati sovrapposti con l'attenzione di far corrispondere in maniera corretta le quote del fondo e trovare, dove possibile, punti comuni ai due profili.

I risultati ottenuti da questo tipo di indagine sono illustrati nella Figura 18 e nelle Tavole seguenti:

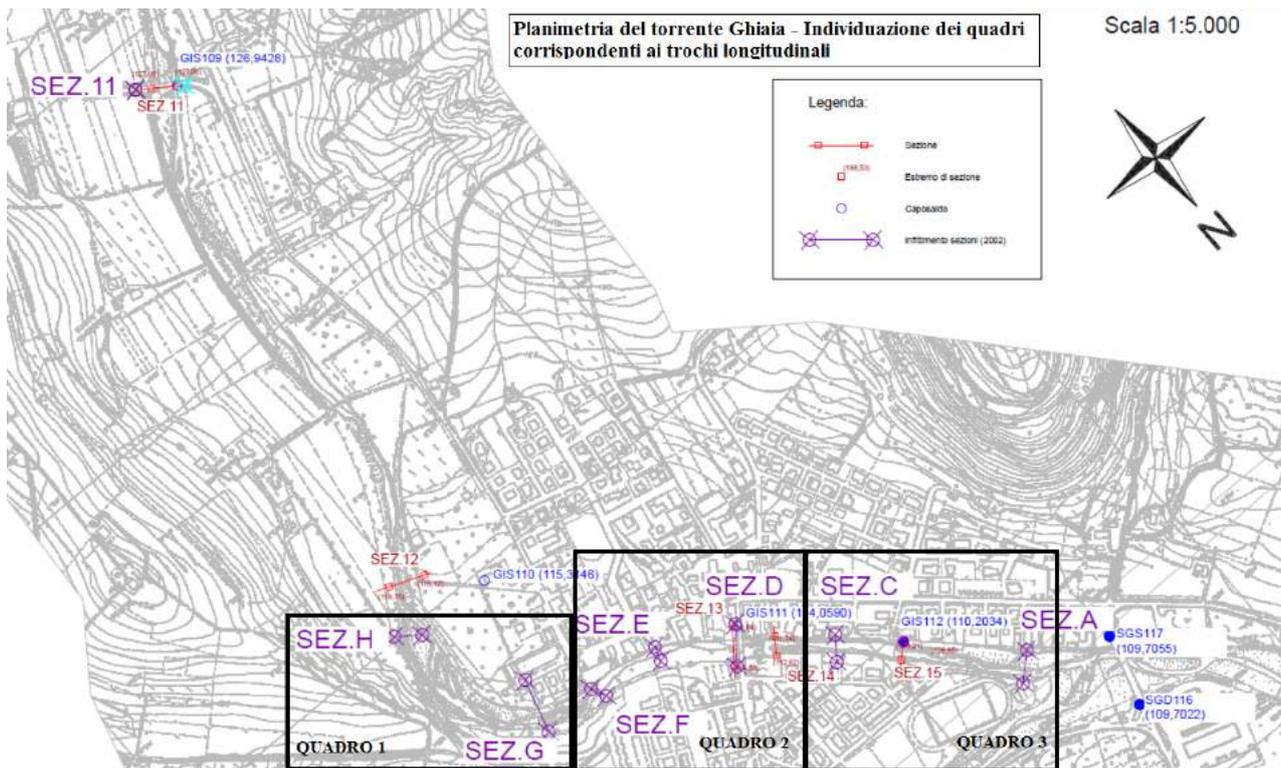


Figura 18 Individuazione dei tratti corrispondenti ai tracci longitudinali

TAVOLA 4 - Confronto profilo longitudinale del torrente Ghiaia - QUADRO 1
 scala 1:200/1000

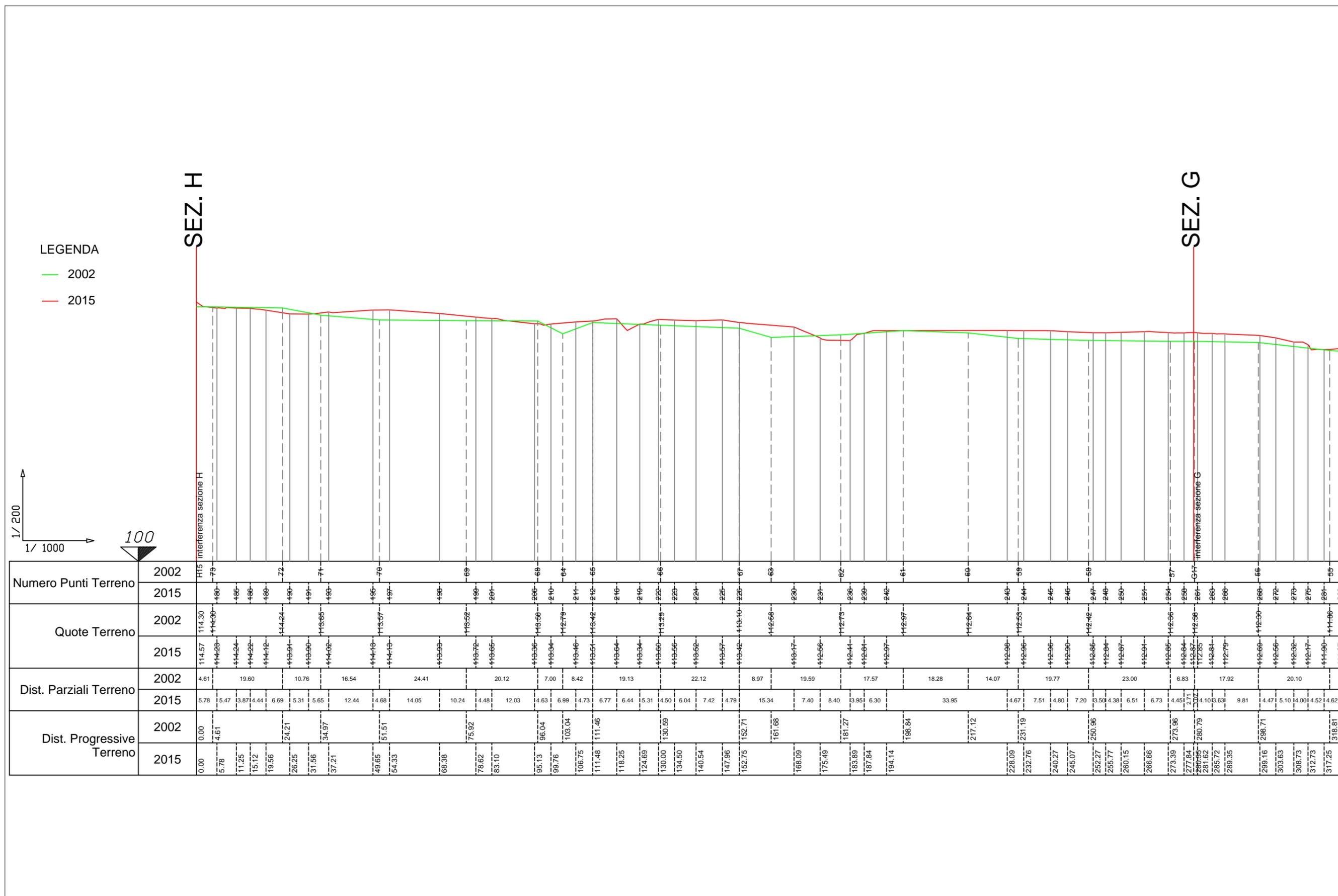
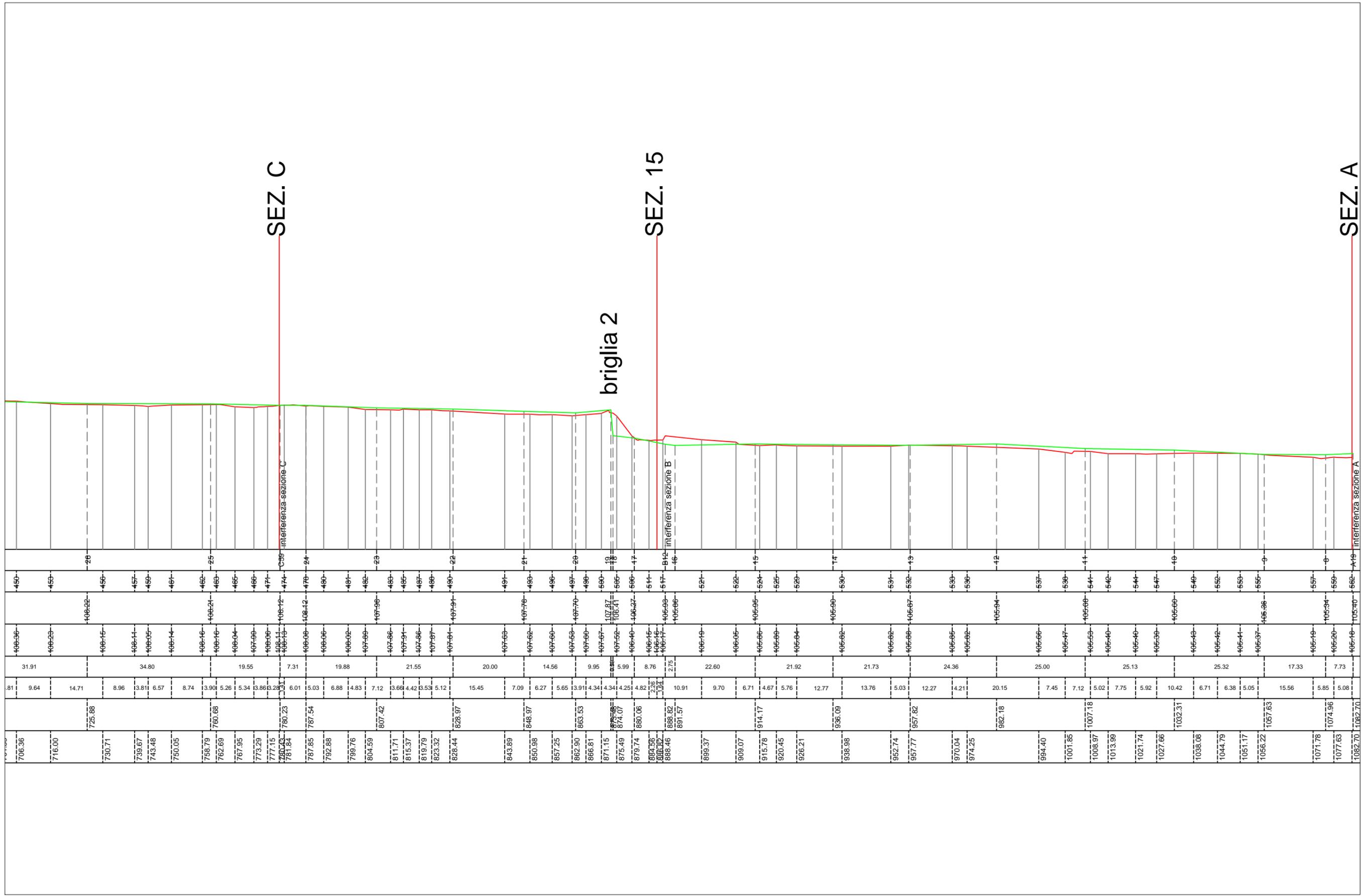


TAVOLA 6 - Confronto profilo longitudinale del torrente Ghiaia - QUADRO 3
 scala 1:200/1000



2.7 Risultati dell'indagine geomorfologica fluviale

L'analisi geomorfologica del tratto in esame così eseguita non ha evidenziato condizioni di instabilità o evidenti tendenze evolutive dell'alveo, per cui si può definire il tratto in studio in equilibrio morfologico.

Lo studio delle sezioni trasversali, dei profili di fondo e dell'andamento planimetrico del tratto d'interesse ha permesso di focalizzare l'attenzione su un sottotratto del torrente che potrebbe presentare maggiori criticità rispetto all'intero sviluppo dell'asta fluviale in esame. Il tratto in questione riguarda l'ansa del corso d'acqua, ovvero la zona compresa tra la sezione 12 a monte e la sezione E a valle, nonché zona che presenta maggiori problematiche legate all'esondazione, come si evidenzia nella Tavola "A" del Piano, riportata in Figura 4.

Lo studio evolutivo dell'alveo effettuato confrontando il materiale topografico ha evidenziato che la planimetria del tratto è rimasta con buona approssimazione invariata, in particolare in destra idraulica. La larghezza dell'alveo attivo sembra essere di poco aumentata e questo risultato porterebbe a pensare a fenomeni di deposito lungo il tratto con conseguente abbassamento di pendenza. In particolare, confrontando gli anni più recenti, ovvero i rilievi del 2006 e del 2012, si nota un modesto deposito di materiale che porta il confine dell'alveo attivo in sinistra idraulica ad allargarsi. Tali risultati trovano riscontro nel confronto delle sezioni e dei profili longitudinali.

Al fine di quantificare i risultati ottenuti dall'indagine, sono stati calcolati alcuni parametri geomorfologici ritenuti maggiormente significativi, ovvero la larghezza L, la quota del fondo Q_f , la profondità P.

Nelle tabelle 2, 3, 4 seguenti si riportano i risultati ottenuti:

Tabella 2 Calcolo larghezza media L e variazione % del parametro

Alveo Attivo	Aa (ha)	l (m)	L (m)	variazione %
1988	4.481	2082.40	21.52	
1994	4.633		22.25	3.39
2000	4.363		20.95	2.63
2006	3.880		18.63	13.41
2012	3.520		16.90	21.45

Tabella 3 Calcolo quota del fondo e variazione % del parametro

Alveo Attivo	Q_f	variazione %
2002	0.0345	
2015	0.0361	5

Tabella 4 Calcolo della profondità massima del fondo e variazione % del parametro

SEZIONE RILEVATA	ANNO	bankfull (m)	thalweg (m)	P (m)	variazione %
11	1997	126.85	120.23	6.62	7
	2015	126.64	120.49	6.15	
12	1997	116.63	114.56	2.07	9
	2015	116.74	114.49	2.25	
13	1997	113.23	109.99	3.24	3
	2015	113.11	109.97	3.14	
14	1997	112.62	108.42	4.2	26
	2015	111.66	108.56	3.1	
15	1997	109.85	106.03	3.82	3
	2015	109.87	106.16	3.71	
A	2002	108.92	105.30	3.62	9
	2015	108.95	105.01	3.94	
C	2002	110.38	107.99	2.39	1
	2015	110.40	108.04	2.36	
D	2002	112.93	110.13	2.8	69
	2015	113.79	109.06	4.73	
E	2002	113.71	110.64	3.07	65
	2015	111.71	110.65	1.06	
F	2002	114.37	111.12	3.25	26
	2015	113.94	111.52	2.42	
G	2002	114.09	112.38	1.71	23
	2015	114.06	112.74	1.32	
H	2002	115.80	114.29	1.51	19
	2015	115.65	114.42	1.23	

In particolare, L è stata calcolata come larghezza media del tratto, data dal rapporto tra l'area dell'alveo Aa e la lunghezza dell'alveo l. Il calcolo è stato eseguito sulla base delle immagini satellitari disponibili negli anni di interesse. Dal confronto si nota che le maggiori variazioni di L si sono verificate negli anni più recenti (1996-2012), risultato che trova riscontro anche nel confronto dei profili longitudinali, dove si nota una lieve tendenza al deposito.

Q_f è stata valutata facendo riferimento ai profili longitudinali degli anni 2002 e 2015. Si è valutata la variazione percentuale di pendenza media del fondo alveo.

P è stata calcolata come profondità massima, ovvero come differenza tra la quota del livello di bankfull e la quota del thalweg. Il calcolo è stato eseguito sulla base dei rilievi topografici a disposizione per ogni sezione fluviale.

Le variazioni di profondità dell'alveo sono in genere una diretta conseguenza della variazione di quota del fondo.

3. VALUTAZIONE NUMERICA DELLE DINAMICHE EVOLUTIVE

Nel seguente capitolo vengono illustrate le principali attività eseguite per la modellazione numerica del tratto di studio del torrente Ghiaia mediante l'utilizzo del software di calcolo Hec-RAS 4.1.0 (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System).

L'analisi svolta ha reso possibile individuare le sezioni critiche, ovvero le zone ad elevato rischio idraulico, per diversi livelli di portata, con tempi di ritorno compresi tra 3 anni e 200 anni.

3.1 Principi di funzionamento del software HEC-RAS

HEC-RAS è un programma di modellazione idraulica per fiumi naturali o canali artificiali. È l'acronimo di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System, un programma sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center al fine di gestire gli interventi idraulici in fiumi, porti e altre opere pubbliche e che ha trovato ampio utilizzo anche da parte di molti altri utenti a partire dalla sua uscita pubblica nel 1995 (Manuale d'Uso, v. 3.1.2.).

Il software permette di effettuare studi monodimensionali su corsi d'acqua in condizioni di moto permanente e moto vario, associandovi la risoluzione di problemi relativi allo studio del trasporto solido.

La schematizzazione della geometria del corso d'acqua viene effettuata facendo uso di sole sezioni trasversali; tale semplificazione si basa sull'ipotesi di poter approssimare il deflusso idrico come moto unidimensionale in tutti i tratti del corso d'acqua ortogonale alle sezioni trasversali.

Nel caso di analisi in moto permanente, HEC-RAS avvia una procedura basata sulla soluzione di un'equazione energetica monodimensionale, ovvero un'equazione di bilancio applicata ad un troco definito da due sezioni adiacenti. Le ipotesi fondamentali alla base del calcolo sono: corrente monodimensionale in cui le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella di flusso sono trascurabili, corrente gradualmente variata, ovvero carico piezometrico costante per ogni sezione e distribuzione idrostatica delle pressioni, indipendenza dal fattore tempo, pendenza del fondo <10% per poter confondere le sezioni trasversali della corrente con sezioni verticali.

Le perdite di energia sono valutate in base a fenomeni di attrito, brusche variazioni di sezione e di direzione, singolarità geometriche o bruschi cambiamenti di pendenza del fondo, attraverso specifici coefficienti di contrazione/espansione associati alle variazioni di velocità e con il coefficiente di Manning. Nel caso di variazioni rapide del profilo di acque superficiali, come salti idraulici, presenza di ponti, confluenze, stramazzi, decisi restringimenti, pur essendo il moto

costante, il modello applica il principio della quantità di moto ed è in grado di identificare e localizzare eventuali risalti idraulici.

Nel caso di analisi in moto vario, HEC-RAS avvia una procedura basata sulla soluzione dell'equazione completa di Saint Venant con un metodo alle differenze finite.

Il sistema di equazioni è il seguente:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial s} = i - j$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + V \frac{\partial h}{\partial s} + h \frac{\partial V}{\partial s} = 0$$

Per risolvere il sistema occorre quindi valutare i tiranti idrici, h , e le velocità, V , al variare della ascissa, s , e del tempo, avendo assegnato le condizioni iniziali, ovvero $h = h(s,0)$ e $V = V(s,0)$.

La condizione iniziale richiesta per la simulazione in moto permanente è la portata transitante; le condizioni al contorno invece possono essere di vario tipo: scala di deflusso, , altezza di moto uniforme, relazione portata-tirante (scala di deflusso), idrogramma in termini di livelli o di portate.

3.2 Definizione della geometria del modello

3.2.1 Fonte dati per la modellazione geometrica del tratto

L'inserimento dei dati che definiscono la geometria dell'alveo è fondamentale per la costituzione di una base numerica comune a tutte le simulazioni.

Al fine di modellare nella maniera più completa possibile il tratto in studio, si è utilizzato inoltre un modello digitale del terreno, un DTM con risoluzione a terra di 1m, ricavato dal LiDAR relativo alla CTR n°.220100. Il modello digitale è stato utilizzato come un file raster attraverso il software QGIS 2.4.0.

La modellazione geometrica del torrente è stata effettuata avvalendosi del modello digitale del terreno da volo LiDAR con risoluzione a terra di 1m, reso disponibile dall'Autorità di Bacino del Reno e riferito alla CTR n°.220100.

Il modello DTM è stato analizzato con l'ausilio del software QGIS 2.4.0, nel quale è stato caricato come file raster e georeferito nel sistema UTM WGS84 32N.

Nella Figura 19 che segue, si riporta il DTM utilizzato:

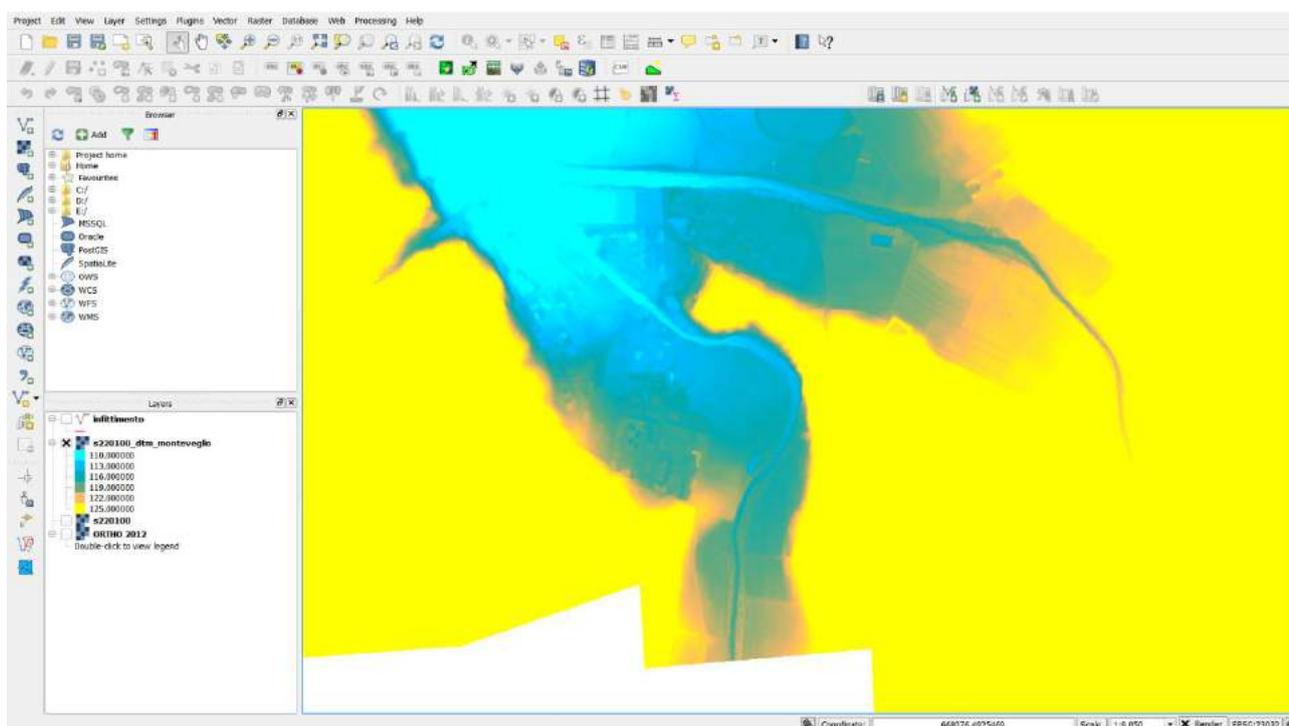


Figura 19 Modello Digitale del Terreno - CTR n°.220100

Al fine di individuare le sezioni fluviali di interesse, si è sovrapposto al DTM un layer vettoriale rappresentativo dell'andamento planimetrico dell'asta fluviale, anch'esso georeferito nel sistema UTM WGS84 32N. Attraverso l'utilizzo del Tool *Profile Plot*, presente nella libreria di QGIS, è stato possibile tracciare le sezioni fluviali, ottenendo per ciascuna sia le distanze progressive sia le quote rispetto al livello del mare.

La scelta di creare sezioni fluviali utilizzando il modello LiDAR del terreno è nata dall'esigenza di avere un riferimento comune a tutte le sezioni, una maggiore quantità di sezioni disponibili, quindi infittire il tratto in studio per aumentare il dettaglio e la qualità dell'analisi numerica.

Le sezioni così generate, pur essendo differenti da quelle già disponibili dai rilievi topografici effettuati negli anni precedenti dall'Autorità di Bacino del Reno e dal Consorzio della Bonifica Renana, risultano ben confrontabili con esse, in termini di quote dei punti rilevati, e presentano un maggiore dettaglio in termini di estensione della sezione stessa. In questo modo è possibile indagare su zone più estese e di potenziale allagamento, ottenendo informazioni importanti per la valutazione del rischio idraulico.

Le sezioni generate attraverso tale procedimento sono quelle che definiscono la geometria del modello numerico, generato con HEC-RAS.

3.2.2 Modellazione della geometria in HEC-RAS

La schematizzazione grafica dell'asta fluviale, ovvero del *main channel*, ha carattere puramente rappresentativo, ma al fine di mantenere una rappresentazione vicina alla realtà si è preferito nel caso in esame seguire l'andamento sinuoso del tratto fluviale, come si riporta nella Figura 20 seguente:

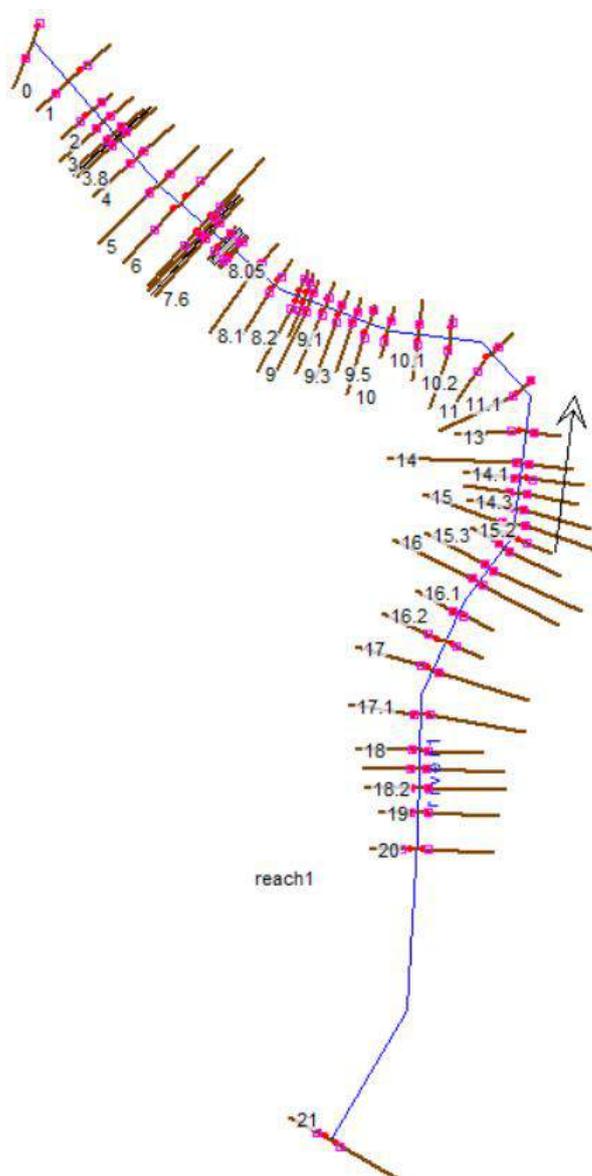


Figura 20 Rappresentazione della planimetria in HEC-RAS

La fase successiva consiste nell'inserimento dei dati geometrici delle sezioni fluviali, ovvero nel definire le coordinate dei punti caratteristici, inserite procedendo da sinistra verso destra: l'ascissa in metri, *Station*, e la quota in metri sul livello del mare, *Elevation*.

Proseguendo, per ciascuna sezione, si inseriscono le distanze dalla sezione immediatamente a valle, i valori del coefficiente di resistenza di Manning, *n*, i piani di inondazione laterali, ovvero la golena sinistra LOB (Left Over Bank) e la golena destra ROB (Right Over Bank).

Nel seguito, in Figura 21, si riporta una sezione rappresentativa:

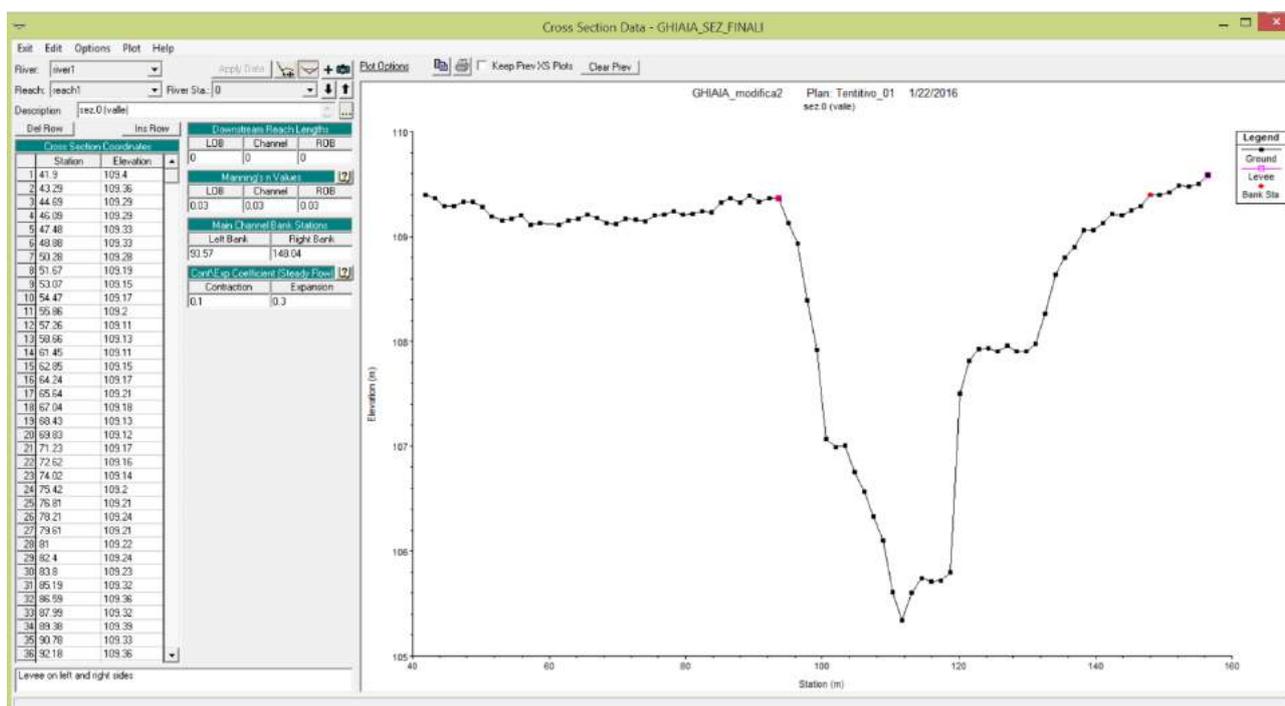


Figura 21 Descrizione delle sezioni in HEC – RAS

In particolare, nel tratto in esame, si è scelto di utilizzare un valore del coefficiente di Manning costante per tutte le sezioni e pari a $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$, rappresentativo del materiale presente in alveo, ovvero ghiaia, come proposto dal manuale del programma e riportato in Figura 22 seguente:

Table 3-1 Manning's 'n' Values

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. Natural Streams			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools			
b. Same as above, but more stones and weeds	0.025	0.030	0.033
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.030	0.035	0.040
d. Same as above, but some weeds and stones	0.033	0.040	0.045
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.035	0.045	0.050
f. Same as "d" but more stones	0.040	0.048	0.055
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.045	0.050	0.060
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.050	0.070	0.080
	0.070	0.100	0.150

Figura 22 Valore del coefficiente di Manning, Table 3-1 da *Hydraulic Reference Manual* (US Army Corps of Engineers, Version 2010)

Inserite tutte le sezioni trasversali, si è ritenuto opportuno definire un sistema di argini sia in destra che in sinistra idrauliche, al fine di valutare con maggiore accuratezza le zone di potenziale allagamento.

Se vengono definiti gli argini, il software assume che l'acqua sia presente e defluisca soltanto nella parte di sezione a sinistra dell'argine destro e a destra dell'argine sinistro, fino a che una delle sommità arginali non venga superata dalla superficie del pelo libero.

Nella Figura 23 seguente si riporta una sezione rappresentativa:

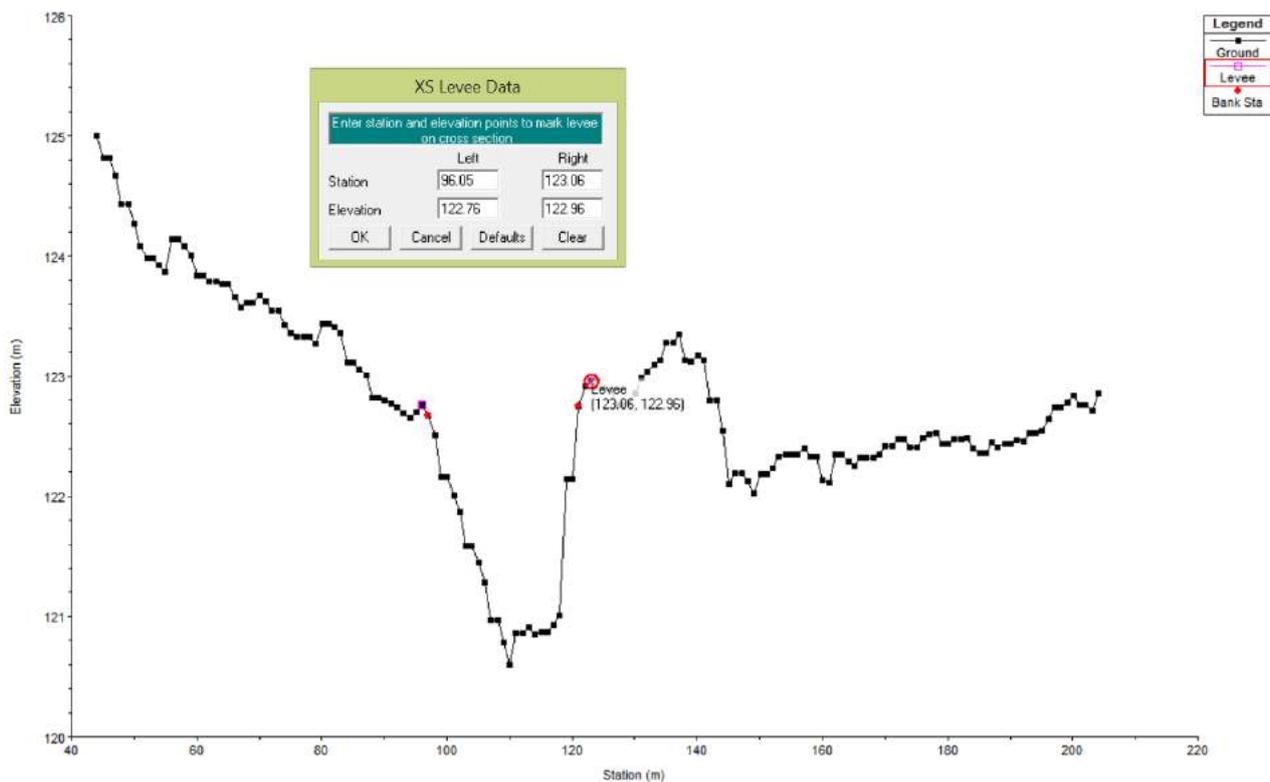


Figura 23 Caratteristiche dei Levees inseriti nel modello

Per rappresentare adeguatamente il tratto in studio, sono state inserite alcune opere, ovvero due briglie presenti lungo lo sviluppo del corso d'acqua, identificate con le sezioni 7.5 e 3.8 del modello in Hec-RAS, e il ponte presente in corrispondenza di Via dei Ponti.

Nella Figura 24 seguente, si riporta un inquadramento dei manufatti inseriti:

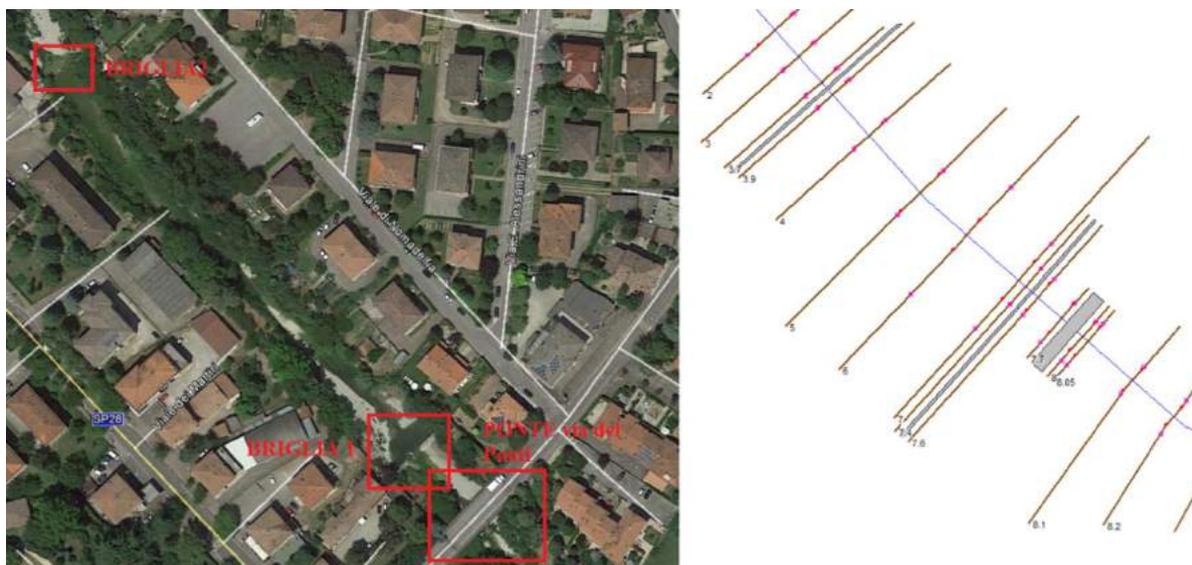


Figura 24 Manufatti inseriti nella geometria del tratto fluviale

3.3 Analisi in moto permanente

Al fine di pianificare una simulazione in moto permanente è necessario fornire al programma le condizioni di moto iniziali e le condizioni al contorno.

Nel caso di simulazioni in moto permanente le condizioni iniziali ed al contorno sono rappresentate dalle portate in transito lungo il tratto di interesse. Per quanto riguarda la condizione di valle invece si è adottato l'ipotesi di moto uniforme facendo riferimento alla pendenza media del tratto di studio. Nel caso in studio, in prima analisi, sono stati inseriti i seguenti dati di portata, ovvero i valori di portata ad associato tempo di ritorno stimati nell'ambito Piano Stralcio per il bacino del torrente Samoggia . La Figura 25 ne riporta un estratto relativo al torrente Ghiaia nei pressi di Monteveglio:

Tabella 7- 3: Livelli e Portate ottenuti dall'involuppo dei massimi per eventi di Tempo di Ritorno 30 e 200 anni, in ogni sezione trasversale utilizzata nel modello idraulico, relativamente al Torrente Ghiaia di Serravalle. (al termine del codice sezione m=monte, v=valle)

CODICE	Distanza Progressiva [m]	SEZIONI		PORTATE E LIVELLI				FONDO Quota del fondo [m s.l.m.]
		Localizzazione	Descrizione	Lmax30 [m s.l.m.]	Qmax30 [m³/s]	Lmax200 [m s.l.m.]	Qmax200 [m³/s]	
1	0	Mercatelio	ponte SP 70 "Di Serravalle" - monte	183,5	67	183,9	110	181,7
1v	10		valle	183,1	67	183,4	110	181,7
1b	14		briglia - monte	183,0	67	183,4	110	182,3
1bv	20		valle	182,7	67	183,1	110	181,6
1b1	24		Briglia - monte	182,6	67	183,0	110	181,8
1bv	27		valle	182,4	67	182,9	110	180,7
A	188			181,4	67	181,8	110	179,6
B	370			178,8	67	179,4	110	176,7
C	479	Apollinare		177,7	67	178,2	110	175,5
D	619			176,3	67	176,8	110	174,3
E	718			175,2	67	175,7	110	173,4
F	820	Castelletto		174,4	67	174,9	110	172,2
G	1048	Castelletto		172,9	67	173,3	110	170,5
2m	1121	Castelletto	ponte di castelletto - monte	172,4	79	172,8	110	169,6
2	1131	Castelletto	valle	172,0	79	172,4	110	169,6
H	1239	Castelletto		171,0	79	171,3	110	168,6
I	1334	Castelletto		170,1	79	170,4	110	168,3
3	1488	Castelletto		168,2	79	168,5	110	166,5
3b	1509	Castelletto	briglia	167,5	79	167,6	110	166,8
3b1	1511	Castelletto	controbriglia	166,3	79	166,6	110	164,8
4	1526	Castelletto		165,4	79	165,7	110	163,6
5	1624	Castelletto		164,5	79	164,8	110	163,0
6	2145	Osteriola	confuenza T. Ghiaietta di Monte Ombraro	159,6	127	160,0	202	157,6
7	3121		passerella - monte	151,5	127	152,0	202	148,3
7v	3131		valle	150,9	139	151,4	202	148,3
8	4110	Bersagliera		141,4	139	141,8	202	139,5
9	4943	Arzano di Sopra	passerella - monte	135,4	139	135,8	219	131,9
9v	4953		valle	134,7	139	135,2	219	131,9
10	6055	Cà del Vento		126,4	150	127,1	219	123,4
11m	6535		ponte SP 27 "Valle del Samoggia" - monte	123,6	161	124,4	236	120,2
11	6553		valle	123,0	161	123,6	236	120,2
12	7443	Monteveglio		117,2	161	117,7	253	114,6
H 102	7494	Monteveglio		116,7	161	117,3	253	114,3
G 102	7779	Monteveglio		115,0	161	115,8	253	112,4
F 102	7878	Monteveglio		114,6	161	115,4	253	111,1
E 102	8003	Monteveglio		113,9	161	114,6	253	110,6
D 102	8130	Monteveglio		113,6	161	114,3	253	110,0
13	8131	Monteveglio	ponte via dei Ponti - monte	113,6	161	114,2	253	109,9
13v	8157	Monteveglio	valle	112,1	161	112,6	253	109,9
14m	8167	Monteveglio	briglia - monte	111,7	161	112,3	253	110,2
14	8197	Monteveglio	valle	111,2	161	111,8	253	108,4
C 100	8289	Monteveglio		110,6	161	111,2	253	108,0
15m	8378	Monteveglio	briglia - monte	109,4	161	110,0	253	107,9
15	8397	Monteveglio	valle	109,0	161	109,7	253	106,0
A 100	8591	Monteveglio / campo sportivo		107,7	161	108,2	253	105,3
A 100v	8719		confuenza Samoggia	107,3	161	107,8	253	104,4

Figura 25 Dati di portata desunti dal PSAI (Relazione, AdBRE, 2008)

Nello specifico le indagini sono state inizialmente condotte facendo riferimento alle portate aventi tempi di ritorno (Tr) pari a 30 e 200 anni:

- $Q_{max30} = 161 \text{ m}^3/\text{s}$;

- $Q_{\max 200} = 253 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per definire le condizioni al contorno, è stato individuato il regime di corrente subcritica, per il quale è necessaria solo la condizione al contorno di valle. In questa prima simulazione è stata assunta come condizione al contorno di valle quella corrispondente ai livelli idrici riportati nelle tabelle del Piano di Bacino (Figuro 25) nelle rispettive condizioni di deflusso, ovvero:

- $L_{\max 30} = 107,3 \text{ m s.l.m}$;
- $L_{\max 200} = 107,8 \text{ m s.l.m}$.

Definiti tutti i dati geometrici ed idraulici necessari l'analisi numerica fornisce i profili di moto permanente riportati nella Figura 26 e rappresentativi delle condizioni di officiosità attuale del tratto in studio:

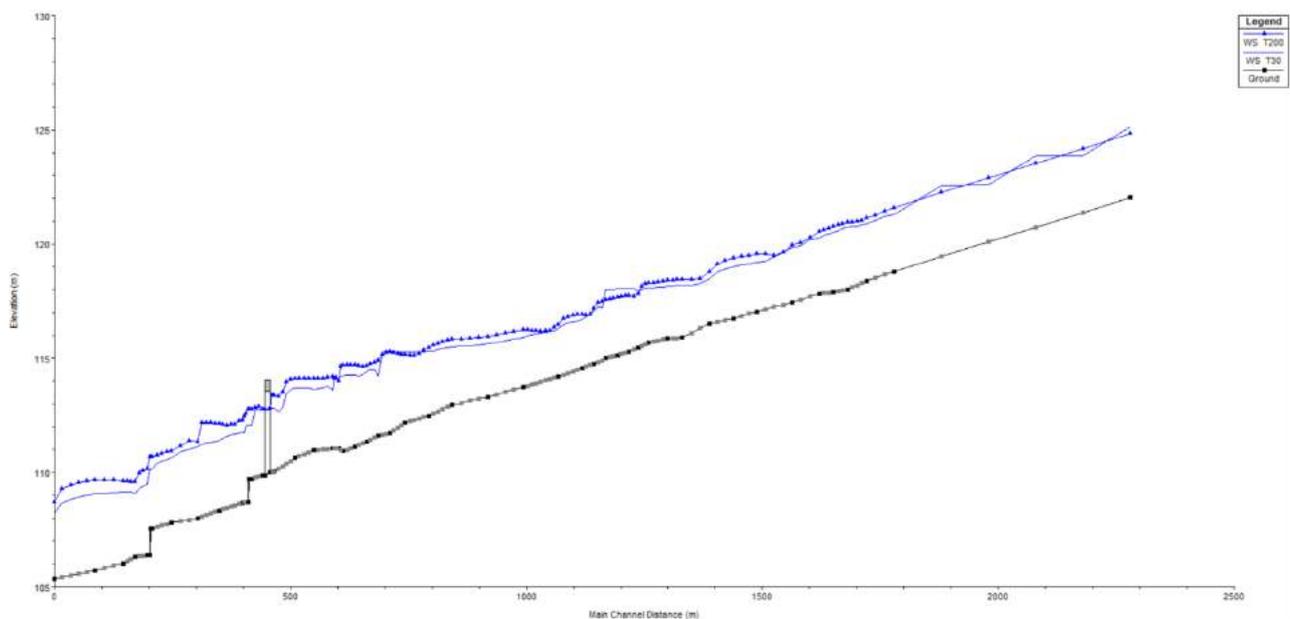


Figura 26 Profili di moto per TR30 (tratto continuo) e TR200 (tratto blu con triangoli)

Nella Figura 27, sono invece riportati gli stessi profili di moto e il sistema di arginature (Levees) presente:

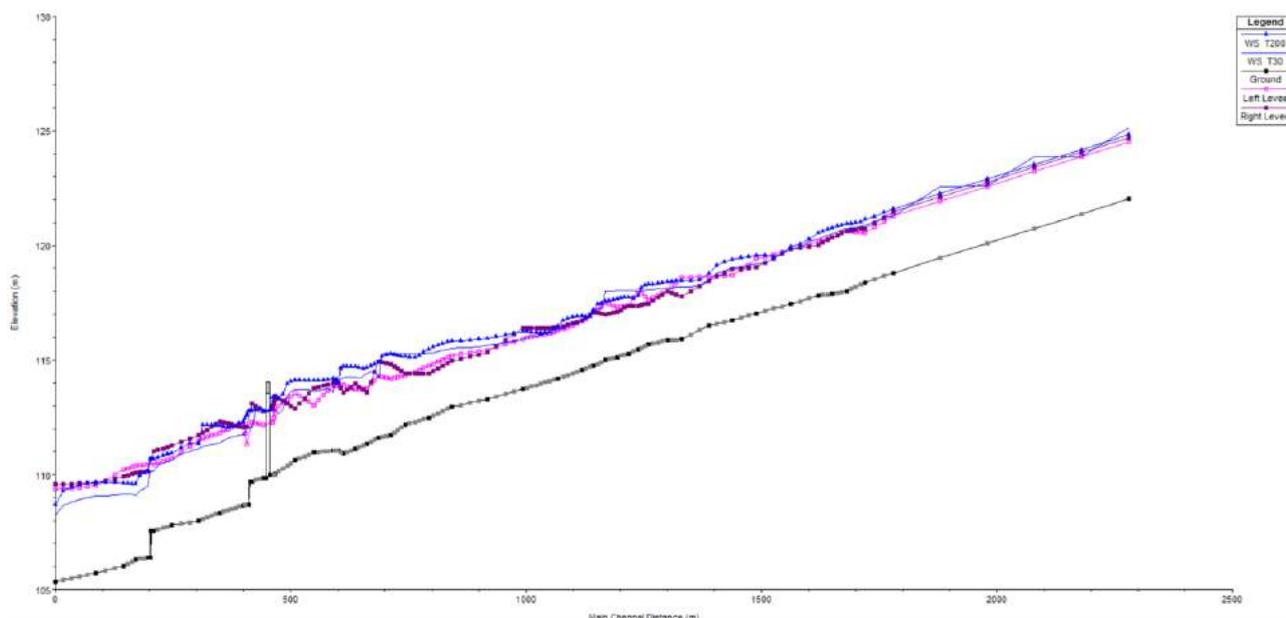


Figura 27 Profili di moto per TR30 (tratto continuo) e TR200 (tratto blu con triangoli) e profilo delle arginature in destra (tratto marrone con quadrati) ed in sinistra (tratto magenta con quadrati)

Osservando i profili di moto ottenuti, si nota come le portate simulate non siano contenute in alveo (Figura 27). In particolare, si notano fenomeni localizzati di criticità e rigurgito, soprattutto in zone in cui il profilo del fondo si abbassa e cambia pendenza.

Viste le criticità emerse si sono svolte ulteriori simulazioni numeriche al fine di valutare l'attuale condizione di officiosità idraulica, ovvero attuare una stima accurata delle portate transitabili nell'attuale configurazione fluviale senza il rischio di fenomeni d'esonazione. In corrispondenza della sezione di monte, sono stati inseriti in ingresso differenti livelli di portata, al fine di valutare il valore critico, ovvero il valore di portata che determina situazioni di potenziale allagamento.

Ad ogni valore di portata inserito è stato associato il corrispondente tempo di ritorno, Tr. Esso è stato stimato ipotizzando una distribuzione probabilistica dei dati di portata disponibili (*Tabella 7 - 3, Relazione, AdBRE, 2008*) e sono stati ricavati i seguenti valori:

Tabella 5 Portate fluviali ad associato tempo di ritorno stimate per il tratto del torrente Ghiaia di interesse

TR [anni]	Qi [m³/s]
3	40
3	50
4	60
5	70
6	80
7	90
9	100
11	110
13	120
16	130
20	140
24	150
29	160
30	161
200	253

I valori riportati in Tabella 5 sono stati pertanto adottati come condizione al contorno di monte, mentre per la condizione al contorno di valle è stata assunta la scala di deflusso stimata in condizioni di moto uniforme. In questo caso si inserisce la pendenza della linea dei carichi totali, che può essere approssimata mediante la pendenza media del tratto di canale a monte. Nel caso in esame è posta pari a 0,0065.

Dall'analisi dei profili di moto permanente stimati con riferimento alle portate sopra elencate emerge come non siano attese situazioni di criticità per valori di portata minori di 60 m³/s. Incrementando la portata da 60 m³/s a 160 m³/s, il sistema arginale viene superato e si verificano situazioni di allagamento che da monte si propagano verso valle interessando anche il centro abitato.

La Tabella 6 riporta alcuni risultati ottenuti dall'analisi numerica evidenziando i livelli idrici attesi (W.S.) in corrispondenza di ciascuna sezione. Per semplificare la visualizzazione dei dati si è

preferito riportare nella Tabella 6 seguente solo i risultati relativi alle portate pari a $60 \text{ m}^3/\text{s}$, $90 \text{ m}^3/\text{s}$ e $140 \text{ m}^3/\text{s}$, perché ritenute maggiormente significative:

Tabella 6 Risultati analisi moto permanente - livelli di portata: $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tr4), $90 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tr7), $140 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tr20)

Sez.	Argine Sx [m s.l.m.]	Argine Dx [m s.l.m.]	$Q_4= 60 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_7= 90 \text{ m}^3/\text{s}$		$Q_{20}= 140 \text{ m}^3/\text{s}$	
			h [m s.l.m.]	vel [m/s]	h [m s.l.m.]	vel [m/s]	h [m s.l.m.]	vel [m/s]
21	124.51	124.70	124.15	2.47	124.42	2.83	124.53	4.07
20	121.28	121.47	120.69	3.12	121.06	3.22	121.97	1.02
19	120.55	120.75	120.44	2.03	120.91	1.39	120.82	2.40
18.2	120.64	120.62	120.09	2.59	120.28	3.38	120.69	2.17
18.1	120.35	120.36	119.95	2.41	120.58	1.38	120.49	2.44
18	120.16	120.02	119.67	2.77	119.82	3.74	120.23	2.68
17.1	119.83	119.83	119.43	2.31	119.44	3.44	119.83	1.48
17	119.41	119.04	118.87	2.78	119.22	0.81	119.13	1.42
16.2	118.70	118.97	118.77	1.85	119.19	0.86	118.97	1.72
16.1	118.64	118.45	118.26	3.22	118.67	1.47	118.45	3.04
16	118.59	117.79	118.24	0.58	118.69	0.56	118.05	1.73
15.3	118.01	117.99	117.50	3.42	117.91	3.75	117.99	1.59
15.2	117.63	117.46	117.52	1.06	117.70	1.21	117.91	1.47
15.1	118.06	117.38	117.46	1.41	117.61	1.73	117.74	2.30
15	117.38	117.38	117.41	0.27	117.66	0.32	117.85	0.43
14.3	117.33	117.09	117.40	0.46	117.65	0.55	117.83	0.74
14.2	117.48	117.01	116.87	3.00	117.64	0.65	117.81	0.85
14.1	117.06	117.11	116.58	3.06	117.10	1.49	117.06	2.42
14	116.69	116.73	116.75	0.38	117.14	0.37	116.69	0.95
13	116.27	116.42	115.87	3.01	116.45	1.21	116.27	2.47
12	115.93	116.40	115.42	2.00	115.69	2.36	116.19	0.97
11.1	115.44	115.35	115.06	1.64	115.35	1.83	115.53	2.07
11	115.22	114.97	114.47	2.05	114.77	2.31	115.31	1.73
10.2	114.74	114.41	113.99	2.12	114.41	2.27	114.96	2.37
10.1	114.35	114.43	113.84	1.60	114.34	1.70	114.93	1.86
10	114.21	114.83	113.82	1.17	114.33	1.29	114.96	1.28
9.5	114.31	114.93	113.46	2.60	113.84	3.08	114.85	1.98
9.4	113.79	113.58	113.32	2.57	113.65	3.12	114.34	2.76
9.3	113.70	113.96	113.34	1.86	113.71	2.19	114.21	1.95
9.2	113.93	113.58	113.30	1.69	113.69	1.91	114.20	1.66
9.1	113.84	114.01	113.15	2.26	113.56	2.41	113.59	3.68
9	113.89	113.99	113.14	2.07	113.57	2.15	113.62	3.23
8.2	113.04	113.77	112.91	2.13	113.40	2.03	113.67	2.28
8.1	113.56	112.87	112.37	3.24	113.01	2.68	113.71	1.33
8.05	112.86	113.43	111.78	2.10	112.21	2.27	112.58	2.79
8	112.30	112.90	111.75	2.09	112.19	2.25	112.57	2.74
7.8	Ponte							

Sez.	Argine Sx [m s.l.m.]	Argine Dx [m s.l.m.]	Q ₄ = 60 m ³ /s		Q ₇ = 90 m ³ /s		Q ₂₀ = 140 m ³ /s	
			h [m s.l.m.]	vel [m/s]	h [m s.l.m.]	vel [m/s]	h [m s.l.m.]	vel [m/s]
7.7	112.17	112.77	111.66	2.03	112.12	2.16	112.48	2.68
7.6	112.30	113.11	111.53	2.15	111.97	2.41	111.89	3.93
7.5	Briglia 1							
7.4	111.30	112.11	110.68	1.94	111.04	2.30	111.81	1.50
7	112.30	112.06	110.70	1.59	111.09	1.81	111.61	2.12
6	111.85	112.34	110.34	2.41	110.73	2.60	111.21	2.94
5	111.51	111.72	110.06	2.35	110.48	2.57	110.94	2.94
4	110.72	111.27	109.74	2.37	110.16	2.57	110.50	3.21
3.9	110.46	111.01	109.57	2.21	109.99	2.42	109.98	3.78
3.8	Briglia 2							
3.7	110.46	110.15	108.46	2.22	108.83	2.55	109.30	2.99
3	110.39	110.08	108.20	2.64	108.55	2.95	108.95	3.51
2	110.23	109.92	108.14	2.08	108.54	2.32	108.99	2.69
1	109.53	109.64	107.95	1.73	108.38	1.83	108.89	1.99
0	109.36	109.58	107.36	2.60	107.72	2.96	108.30	2.93

Al fine di valutare le aree esondate, in funzione della modellazione idraulica effettuata, è stata stimata la portata che supera il sistema arginale in corrispondenza di ciascuna sezione.

Attraverso i dati di output forniti dal programma, si cercano i valori del franco sia per l'argine destro che per l'argine sinistro e si confrontano con i valori delle quote delle arginature per ciascuna sezione. In particolare si evidenziano i valori negativi del franco perché sono quelli che denotano le situazioni critiche cercate. Infatti, essi indicano che il livello dell'acqua è maggiore di quello arginale, ovvero che l'acqua allaga anche le aree esterne alle arginature.

Nel seguito nella Tabella 7 si riportano i risultati ottenuti e per renderne più immediata la lettura si è scelto di indicare i valori ritenuti più significativi, ovvero quelli relativi alle portate di Q=60 m³/s, Q=90 m³/s e Q=160 m³/s:

Tabella 7 Altezze del franco ottenute considerando intervalli di portata

RISULTATI ANALISI PER PASSI DI PORTATA - analisi in moto permanente

ID = Identificativo delle sezioni fluviali ELL = Quota argine sinistro ELR = Quota argine destro

LF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in sinistra

RF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in destra

Legenda	Fr > 0,05 m	-0,05 < Fr < 0,05 m	Fr < -0,05 m

ID	ELL (m)	ELR (m)	Q=60 m3/s		Q=90 m3/s		Q=160 m3/s	
			LF (m)	RF (m)	LF (m)	RF (m)	LF (m)	RF (m)
21	124.51	124.70	0.36	0.55	0.09	0.28	-0.64	-0.45
20	121.28	121.47	0.59	0.78	0.22	0.41	-0.02	0.17
19	120.55	120.75	0.11	0.31	-0.36	-0.16	-0.35	-0.15
18.2	120.64	120.62	0.55	0.53	0.36	0.34	-0.11	-0.13
18.1	120.35	120.36	0.40	0.41	-0.23	-0.22	-0.18	-0.17
18	120.16	120.02	0.49	0.35	0.34	0.20	-0.08	-0.22
17.1	119.83	119.83	0.40	0.40	0.39	0.39	0.00	0.00
17	119.41	119.04	0.54	0.17	0.19	-0.18	0.23	-0.14
16.2	118.70	118.97	-0.07	0.20	-0.49	-0.22	-0.30	-0.03
16.1	118.64	118.45	0.38	0.19	-0.03	-0.22	0.14	-0.05
16	118.59	117.79	0.35	-0.45	-0.10	-0.90	0.39	-0.41
15.3	118.01	117.99	0.51	0.49	0.10	0.08	-0.14	-0.16
15.2	117.63	117.46	0.11	-0.06	-0.07	-0.24	-0.45	-0.62
15.1	118.06	117.38	0.60	-0.08	0.45	-0.23	0.11	-0.57
15	117.38	117.38	-0.03	-0.03	-0.28	-0.28	-0.66	-0.66
14.3	117.33	117.09	-0.07	-0.31	-0.32	-0.56	-0.70	-0.94
14.2	117.48	117.01	0.61	0.14	-0.16	-0.63	-0.53	-1.00
14.1	117.06	117.11	0.48	0.53	-0.04	0.01	0.00	0.05
14	116.69	116.73	-0.06	-0.02	-0.45	-0.41	0.00	0.04
13	116.27	116.42	0.40	0.55	-0.18	-0.03	0.00	0.15
12	115.93	116.40	0.51	0.98	0.24	0.71	0.00	0.47
11.1	115.44	115.35	0.38	0.29	0.09	0.00	-0.19	-0.28
11	115.22	114.97	0.75	0.50	0.45	0.20	-0.29	-0.54
10.2	114.74	114.41	0.75	0.42	0.33	0.00	-0.56	-0.89
10.1	114.35	114.43	0.51	0.59	0.01	0.09	-0.93	-0.85
10	114.21	114.83	0.39	1.01	-0.12	0.50	-1.10	-0.48
9.5	114.31	114.93	0.85	1.47	0.47	1.09	0.07	0.69
9.4	113.79	113.58	0.47	0.26	0.14	-0.07	-0.62	-0.83
9.3	113.70	113.96	0.36	0.62	-0.01	0.25	-0.56	-0.30
9.2	113.93	113.58	0.63	0.28	0.24	-0.11	-0.32	-0.67
9.1	113.84	114.01	0.69	0.86	0.28	0.45	-0.27	-0.10
9	113.89	113.99	0.75	0.85	0.32	0.42	0.29	0.39
8.2	113.04	113.77	0.13	0.86	-0.36	0.37	-0.59	0.14
8.1	113.56	112.87	1.19	0.50	0.55	-0.15	-0.14	-0.83
8.05	112.86	113.43	1.08	1.65	0.66	1.23	0.04	0.61
8	112.30	112.90	0.55	1.15	0.11	0.71	-0.51	0.09
7.8	Ponte							
7.7	112.17	112.77	0.51	1.11	0.05	0.65	-0.56	0.04
7.6	112.30	113.11	0.76	1.58	0.33	1.14	0.23	1.04
7.5	Briglia 1							
7.4	111.30	112.11	0.62	1.43	0.26	1.07	-0.73	0.08
7	112.30	112.06	1.60	1.36	1.21	0.97	0.53	0.29
6	111.85	112.34	1.51	2.00	1.12	1.61	0.47	0.96

RISULTATI ANALISI PER PASSI DI PORTATA - analisi in moto permanente

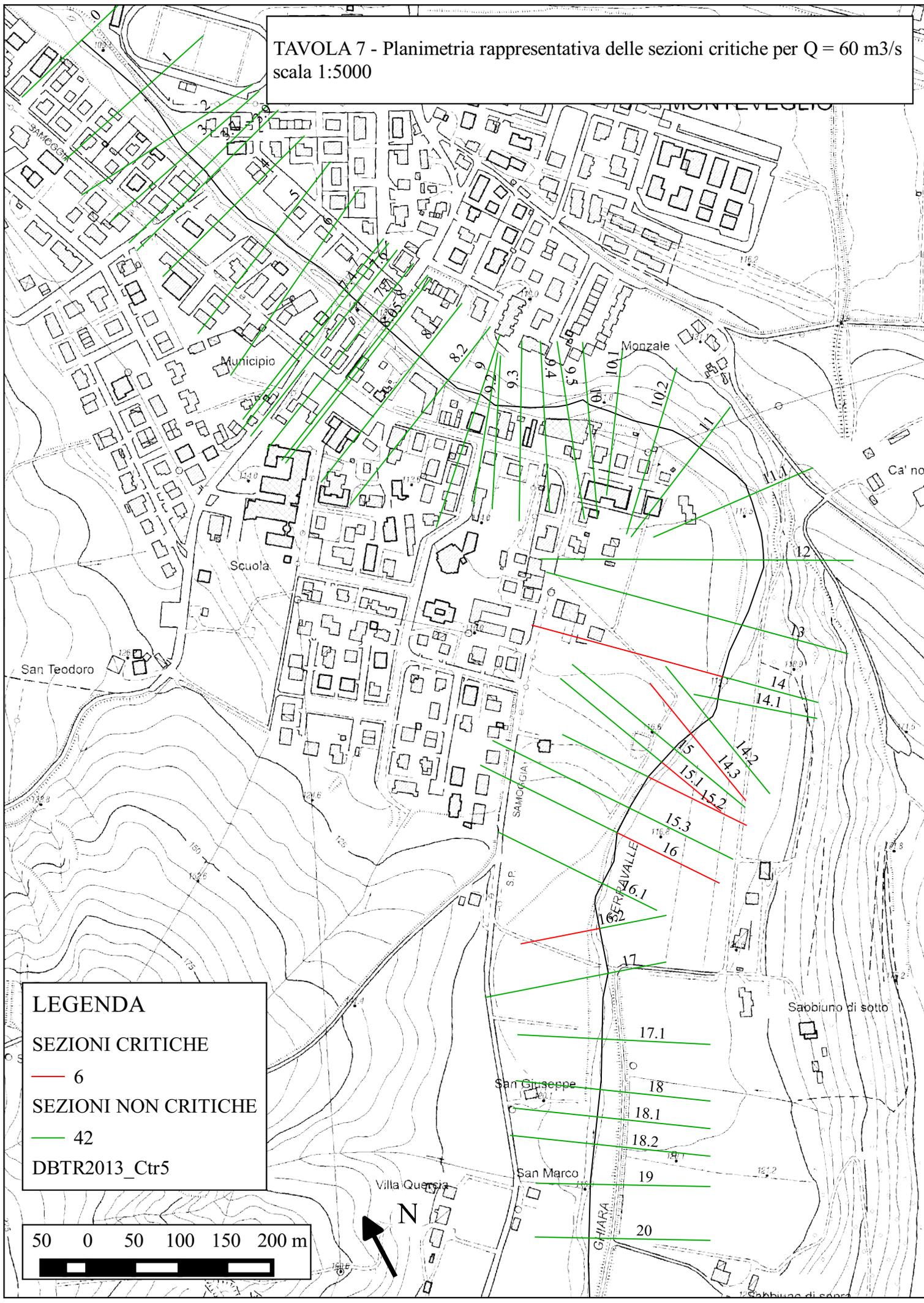
ID = Identificativo delle sezioni fluviali **ELL** = Quota argine sinistro **ELR** = Quota argine destro
LF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in sinistra
RF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in destra

Legenda	Fr > 0,05 m	-0,05 < Fr < 0,05 m	Fr < -0,05 m

ID	ELL (m)	ELR (m)	Q=60 m³/s		Q=90 m³/s		Q=160 m³/s	
			LF (m)	RF (m)	LF (m)	RF (m)	LF (m)	RF (m)
5	111.51	111.72	1.45	1.66	1.03	1.24	0.38	0.59
4	110.72	111.27	0.98	1.53	0.56	1.11	0.07	0.62
3.9	110.46	111.01	0.89	1.44	0.47	1.02	0.32	0.87
3.8	Briglia 2							
3.7	110.46	110.15	2.00	1.69	1.63	1.32	0.98	0.67
3	110.39	110.08	2.19	1.88	1.84	1.53	1.32	1.01
2	110.23	109.92	2.09	1.78	1.69	1.38	1.09	0.78
1	109.53	109.64	1.58	1.69	1.15	1.26	0.47	0.58
0	109.36	109.58	2.00	2.22	1.64	1.86	0.93	1.14

L'analisi svolta ha permesso di rappresentare in una planimetria le sezioni critiche, le quali sono state evidenziate in rosso e distinte dalle sezioni evidenziate in verde, che invece non presentano problematiche legate al rischio idraulico. Nel seguito, nelle Tavole 7, 8, 9, si riportano le planimetrie relative alla portata $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, ovvero il primo valore di portata che mette in crisi il sistema, e alla portata $Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$, perché rappresenta il valore che determina allagamento, ovvero una situazione di potenziale criticità per il centro abitato. Si riporta, inoltre, la planimetria relativa alla portata $Q = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ associata ad un tempo di ritorno di 30 anni:

TAVOLA 7 - Planimetria rappresentativa delle sezioni critiche per $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
 scala 1:5000



LEGENDA

SEZIONI CRITICHE

— 6

SEZIONI NON CRITICHE

— 42

DBTR2013_Ctr5

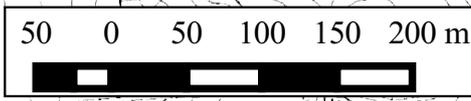
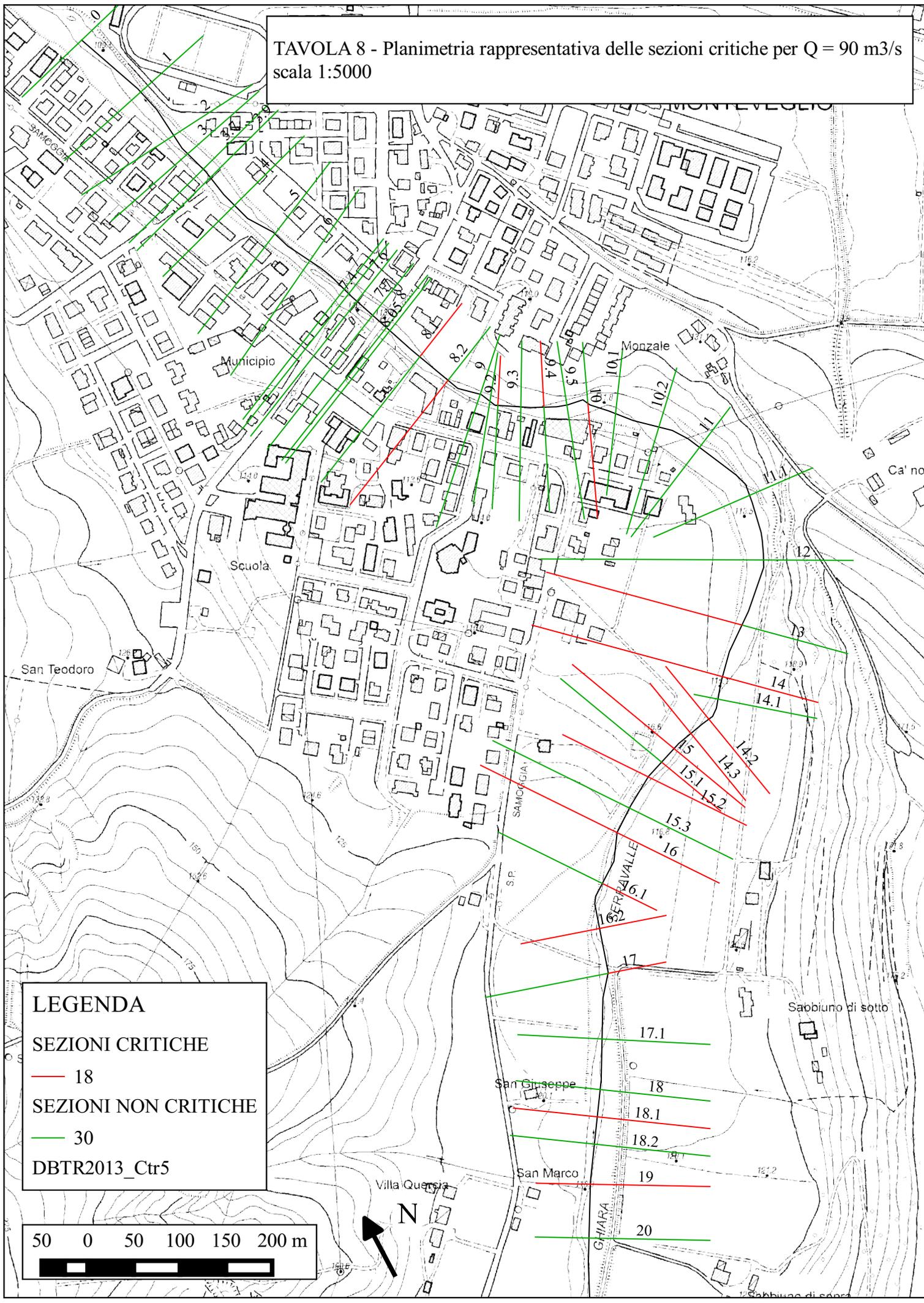


TAVOLA 8 - Planimetria rappresentativa delle sezioni critiche per $Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$
 scala 1:5000

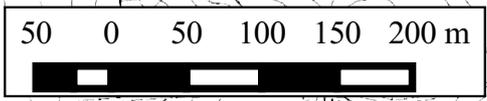


LEGENDA

SEZIONI CRITICHE
 — 18

SEZIONI NON CRITICHE
 — 30

DBTR2013_Ctr5



8.2
 9
 9.3
 9.6
 9.6
 10
 10.1
 10.2
 11
 12
 13
 14
 14.1
 14.2
 14.3
 15
 15.1
 15.2
 15.3
 16
 16.1
 17
 17.1
 18
 18.1
 18.2
 19
 20

San Teodoro

Municipio

Scuola

Monzale

Ca' no

SAMOGGIA

S.P.

FERRAVALE

Sabbino di sotto

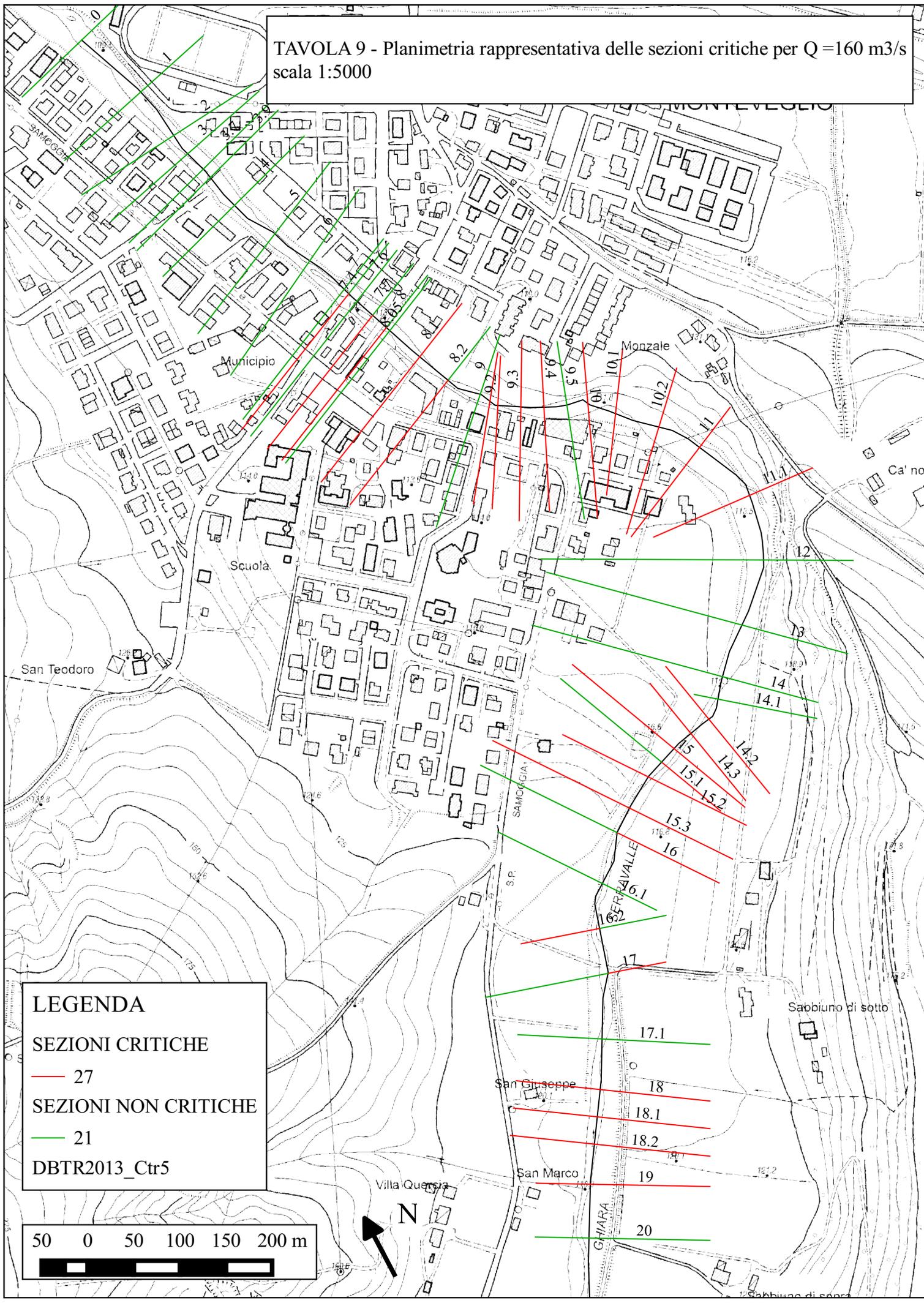
San Giuseppe

San Marco

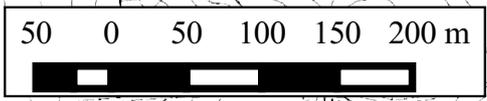
Villa Quersia

GHARA

TAVOLA 9 - Planimetria rappresentativa delle sezioni critiche per $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$
 scala 1:5000



LEGENDA
 SEZIONI CRITICHE
 — 27
 SEZIONI NON CRITICHE
 — 21
 DBTR2013_Ctr5



4. IPOTESI DI PROGETTO

Nel presente capitolo vengono illustrate alcune ipotesi progettuali di sistemazione idraulica e manutenzione.

Gli interventi proposti nascono da una simulazione preliminare del modello effettuata in moto permanente e hanno l'obiettivo di migliorare le condizioni di deflusso per le portate che hanno evidenziato criticità nel tratto di studio. Tra le proposte di intervento intensive da apportare alla geometria fluviale si è anche avanzata una proposta di manutenzione della vegetazione al fine di perseguire un miglioramento delle condizioni idrodinamiche dell'alveo.

4.1 Possibili interventi di risezionamento fluviale

Gli interventi proposti sono stati pensati sulla base dei risultati ottenuti e riportati nelle mappe di criticità, Tavole 7, 8, 9, sopra riportate.

Gli interventi in progetto sono:

- Rimozione della briglia 1 a valle del ponte di Via dei Ponti, assicurando una pendenza del tratto costante e pari a 0,007;
- Sagomatura del tratto con scavo trapezoidale, a formare una sezione tipo con inclinazione delle sponde di 45° e base variabile tra 30 e 40 metri.

L'intervento è finalizzato ad aumentare la capacità di portata del corso d'acqua senza operare sulle arginature esistenti. I lavori consistono nell'asportazione del materiale depositato e accumulato in alveo al fine di aumentare la sezione, possibilmente allargandola a spese dei terreni circostanti senza compromettere gli argini esistenti.

L'area di intervento è evidenziata nella Figura 28 seguente:



Figura 28 Inquadramento area di intervento

Al fine di verificare che gli interventi ipotizzati siano effettivamente in grado di risolvere le criticità del tratto in studio è stata generata una nuova geometria del modello HEC-RAS, pensando però di mantenere la reale posizione degli argini, ovvero non progettando un rialzo del sistema di arginature.

Le sezioni modificate nel modello sono tutte quelle comprese tra la sezione 21 a monte del tratto in studio e la sezione 7.4 a valle, per una lunghezza complessiva dell'intervento di circa 1800,00 m.

Le sezioni tipo introdotte nel modello sono illustrate nella Figura 29 seguente. Scelta una generica sezione che costituisce il modello, nella Figura si riporta un confronto tra la geometria della sezione prima dell'intervento ipotizzato e la geometria della stessa sezione dopo avere realizzato l'intervento:

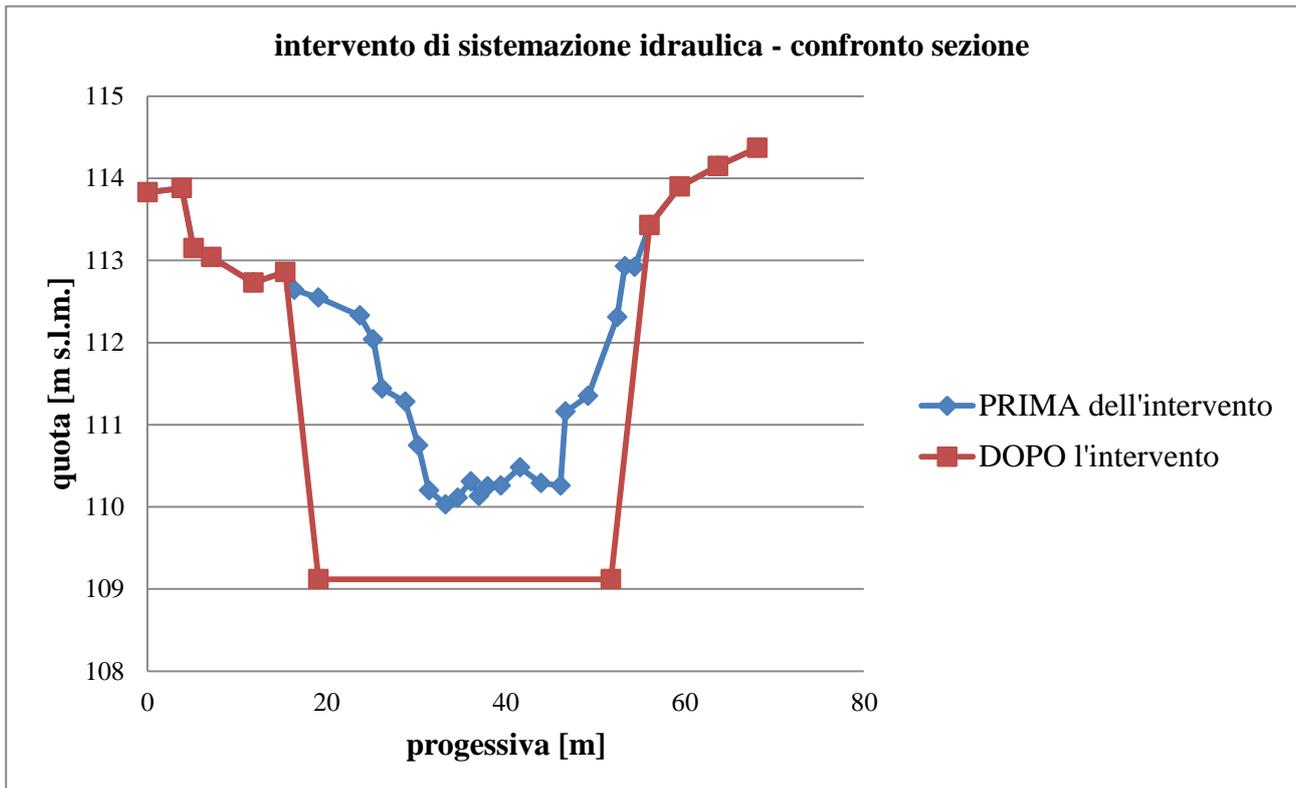


Figura 29 Confronto della sezione tipo inserita per realizzare l'intervento (tratto rosso) e la stessa sezione prima di effettuare l'intervento (tratto blu)

Si riporta, inoltre, in Figura 30, un confronto tra i profili del fondo alveo allo stato attuale e con livelletta costante nel tratto d'intervento:

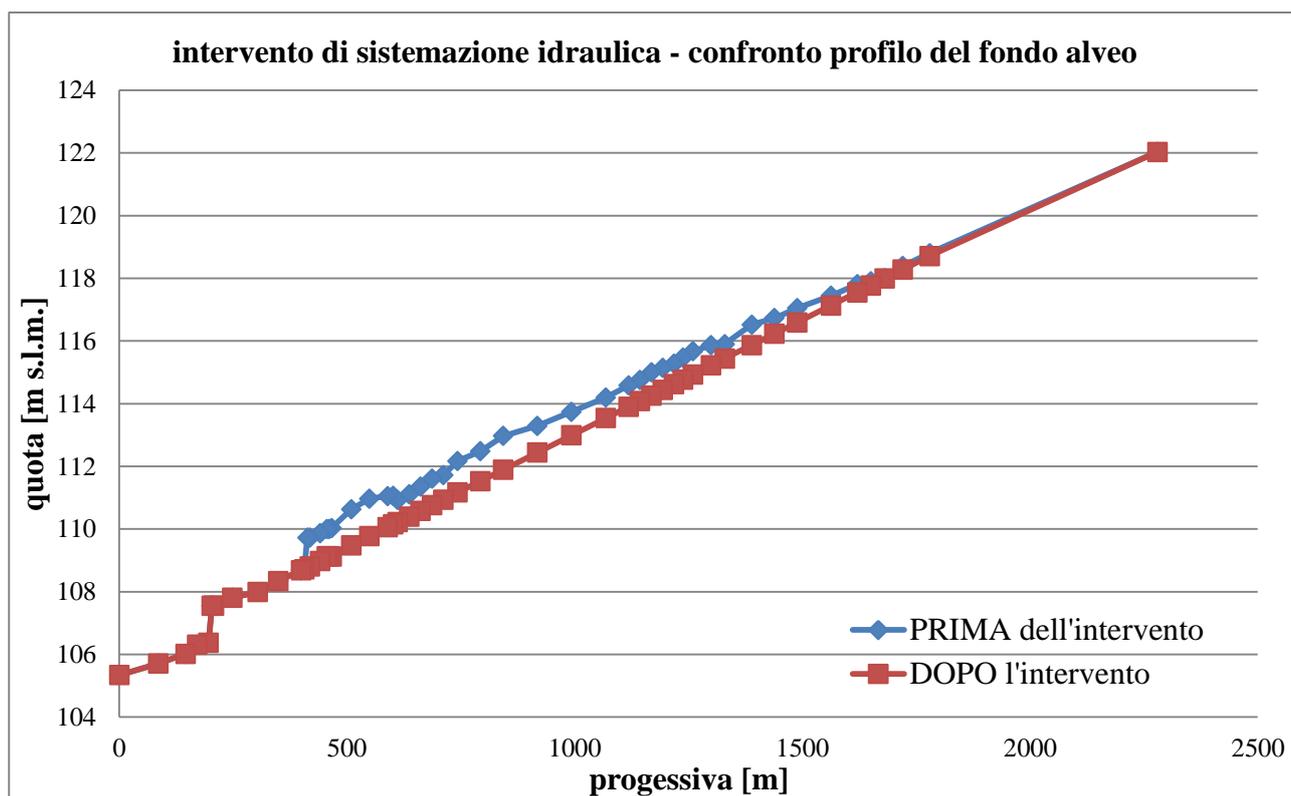


Figura 30 Confronto del profilo del fondo alveo nelle condizioni attuali (tratto blu) e profilo con livelleta costante dopo la realizzazione dell'intervento di sistemazione (tratto rosso)

La simulazione è stata effettuata in moto permanente con le seguenti condizioni:

- condizione in ingresso: livelli di portata associati a T_r variabili tra 3 anni e 200 anni;
- condizione al contorno di valle: scala di moto uniforme, *Normal Depth* pari a 0,007.

I risultati ottenuti dall'analisi evidenziano come un simile intervento non determini situazioni di rischio per il centro abitato. Nella Tabella 8 si notano infatti valori di franco sempre positivi, a conferma del fatto che le arginature non sono mai sormontate. Si evidenzia, inoltre, che in Tabella si riportano solo i valori corrispondenti alla portata trentennale, $Q_{30} = 161 \text{ m}^3/\text{s}$, perché ritenuti maggiormente significativi:

Tabella 8 Valori del franco relativi alla simulazione per $Q_{30} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$

RISULTATI ANALISI PER PASSI DI PORTATA - analisi in moto permanente

ID = Identificativo delle sezioni fluviali ELL = Quota argine sinistro ELR = Quota argine destro

LF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in sinistra

RF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in destra

Legenda	Fr > 0,05 m	-0,05 < Fr < 0,05 m	Fr < -0,05 m

ID	ELL (m)	ELR (m)	Q = 160 m ³ /s	
			LF (m)	RF (m)
21	124.64	124.70	0.92	0.98
20	121.28	121.47	1.22	1.41
19	120.91	121.07	1.22	1.38
18.2	120.64	120.64	1.16	1.16
18.1	120.35	120.56	0.96	1.17
18	120.16	120.24	0.89	0.97
17.1	119.92	119.86	1.38	1.32
17	119.30	118.79	1.19	0.68
16.2	118.70	118.97	0.70	0.97
16.1	118.64	118.36	1.36	1.08
16	118.59	117.39	1.69	0.49
15.3	118.01	117.11	1.24	0.34
15.2	117.63	117.24	0.94	0.55
15.1	118.06	117.32	1.94	1.20
15	117.38	117.01	1.40	1.03
14.3	117.19	116.83	1.24	0.88
14.2	117.48	116.67	1.74	0.93
14.1	117.06	116.73	1.43	1.10
14	116.31	117.27	0.66	1.62
13	116.27	116.42	1.20	1.35
12	115.93	116.40	1.62	2.09
11.1	115.44	115.35	1.64	1.55
11	115.14	114.97	1.85	1.68
10.2	114.87	114.80	1.83	1.76
10.1	114.46	114.46	1.58	1.58
10	114.26	114.83	1.37	1.94
9.5	114.35	114.93	1.85	2.43
9.4	114.03	113.58	1.63	1.18
9.3	113.72	113.96	1.40	1.64
9.2	113.93	113.66	1.68	1.41
9.1	113.84	114.01	1.50	1.67
9	113.89	113.99	1.54	1.64
8.2	112.97	113.77	0.78	1.58
8.1	113.56	112.64	1.41	0.49
8.05	112.86	113.43	0.71	1.28
8	112.83	112.90	0.91	0.98
7.8	Ponte			
7.7	112.70	112.77	0.81	0.88
7.6	112.30	113.15	0.32	1.17
7.4	111.49	112.11	0.05	0.10
7	112.30	112.06	0.53	0.29
6	111.85	112.34	0.47	0.96
5	111.51	111.72	0.38	0.59

RISULTATI ANALISI PER PASSI DI PORTATA - analisi in moto permanente

ID = Identificativo delle sezioni fluviali ELL = Quota argine sinistro ELR = Quota argine destro
 LF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in sinistra
 RF = altezza del Franco (Freeboard) per l'argine in destra

Legenda	Fr > 0,05 m	-0,05 < Fr < 0,05 m	Fr < -0,05 m

ID	ELL (m)	ELR (m)	Q = 160 m ³ /s	
			LF (m)	RF (m)
4	110.72	111.27	0.05	0.59
3.9	110.46	111.01	0.32	0.87
3.8	Briglia 2			
3.7	110.46	110.15	0.98	0.67
3	110.39	110.08	1.32	1.01
2	110.23	109.92	1.09	0.78
1	109.53	109.64	0.47	0.58
0	109.36	109.58	0.93	1.14

4.2 Studio di possibili interventi di manutenzione della vegetazione

La gestione della vegetazione rappresenta una tematica fondamentale per il raggiungimento del cosiddetto “buono stato ecologico”, di cui al Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE).

Un buono stato ecologico è infatti il requisito necessario per rendere i corsi d’acqua capaci di svolgere un insieme ampio di servizi ecosistemici e in questo contesto la vegetazione lungo gli alvei riveste un ruolo fondamentale.

Tra le principali funzioni svolte si individuano le seguenti:

- gli apparati radicali delle piante favoriscono la stabilità delle sponde e formano rifugi per pesci e organismi acquatici;
- la vegetazione di ripa limita lo sviluppo della vegetazione acquatica;
- l’ombreggiamento della chioma protegge le acque dall’eccessiva illuminazione e dal riscaldamento;
- le acque di dilavamento del suolo vengono filtrate e depurate.

In quest’ottica i corsi d’acqua possono essere visti sia come sede di importanti habitat che ospitano differenti specie animali e vegetali di grande valore, sia come ossatura fondamentale della rete ecologica del territorio.

4.2.1 Descrizione dello stato vegetativo del tratto in studio

Al fine di caratterizzare in maniera adeguata lo stato vegetativo attuale del tratto in esame, ci si avvale di una documentazione ricavata con indagini e sopralluoghi sul campo.

L'indagine condotta ha reso possibile evidenziare che l'alveo risulta, da monte verso valle, gradualmente modificato a causa della presenza di una intensa attività agricola condotta sui terrazzi fluviali e da altre infrastrutture lineari. La vegetazione riparia risente fortemente dell'impatto antropico e risulta discontinua e alterata in struttura e composizione. L'uso del suolo è caratterizzato dalla presenza di seminativi con prevalenza di vigneti e frutteti.

Nel seguito, si riporta in Figura 31 il transetto vegetazionale e un'immagine della sezione:

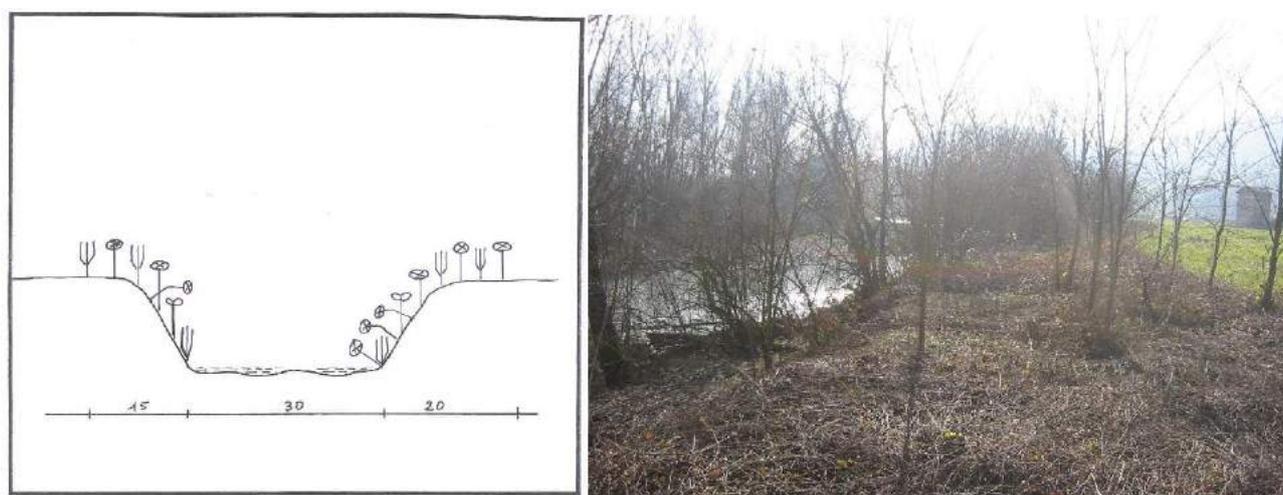


Figura 31 Transetto vegetazionale e immagine fotografica della sezione

Come si può osservare nella Figura 31 sopra riportata, la fascia riparia risulta degradata nella struttura e nella composizione specifica. Si osservano, infatti, presenza di piante piegate e schiantate con notevole crescita della robinia, ampia diffusione di un tappeto di rovo che impedisce, in alcuni tratti, lo sviluppo della rinnovazione naturale.

I saliceti ed i pioppeti sono fortemente interconnessi: i saliceti si localizzano sui terrazzi più bassi raggiunti periodicamente dalle piene ordinarie del fiume, mentre i pioppeti colonizzano i terrazzi superiori e più esterni rispetto all'alveo, raggiunti sporadicamente dalle piene straordinarie.

La mancanza di copertura arborea sull'alveo può essere responsabile di un aumento significativo della temperatura. Gli eccessivi sbalzi di temperatura dovuti alla mancanza o alla forte alterazione della vegetazione ripariale determinano la scomparsa di alcuni invertebrati molto sensibili alla base

della catena alimentare della fauna ittica. La presenza di robinia e la frequente assenza di specie autoctone tipiche dello strato arbustivo ed erbaceo del salico-pioppeto sono evidenti segni del forte degrado di queste fasce riparie.

Restano però i fattori antropici, epoca, frequenza dei tagli, incendi, pascolo, disboscamenti, che hanno modellato in questi ultimi anni le strutture forestali residue lungo i corsi d'acqua: alterazioni strutturali, scomparsa di specie rare e ingresso di alloctone, frammentazione, discontinuità di copertura, sono tra le principali caratteristiche bio-strutturali che rendono oggi quanto mai delicata e complessa la gestione di questi ambienti.

L'analisi accurata dello stato attuale suggerisce alcuni interventi gestionali volti al raggiungimento di un potenziale modello di riferimento. A tale fine si prevede una estensione e un miglioramento strutturale della fascia arborea, con incremento della varietà a salico-pioppeto e contenimento della diffusione della robinia mediante la colonizzazione di arbusti di salice ed altre specie autoctone in prossimità delle sponde, con funzione di contenimento dei processi erosivi e di fascia "tampone".

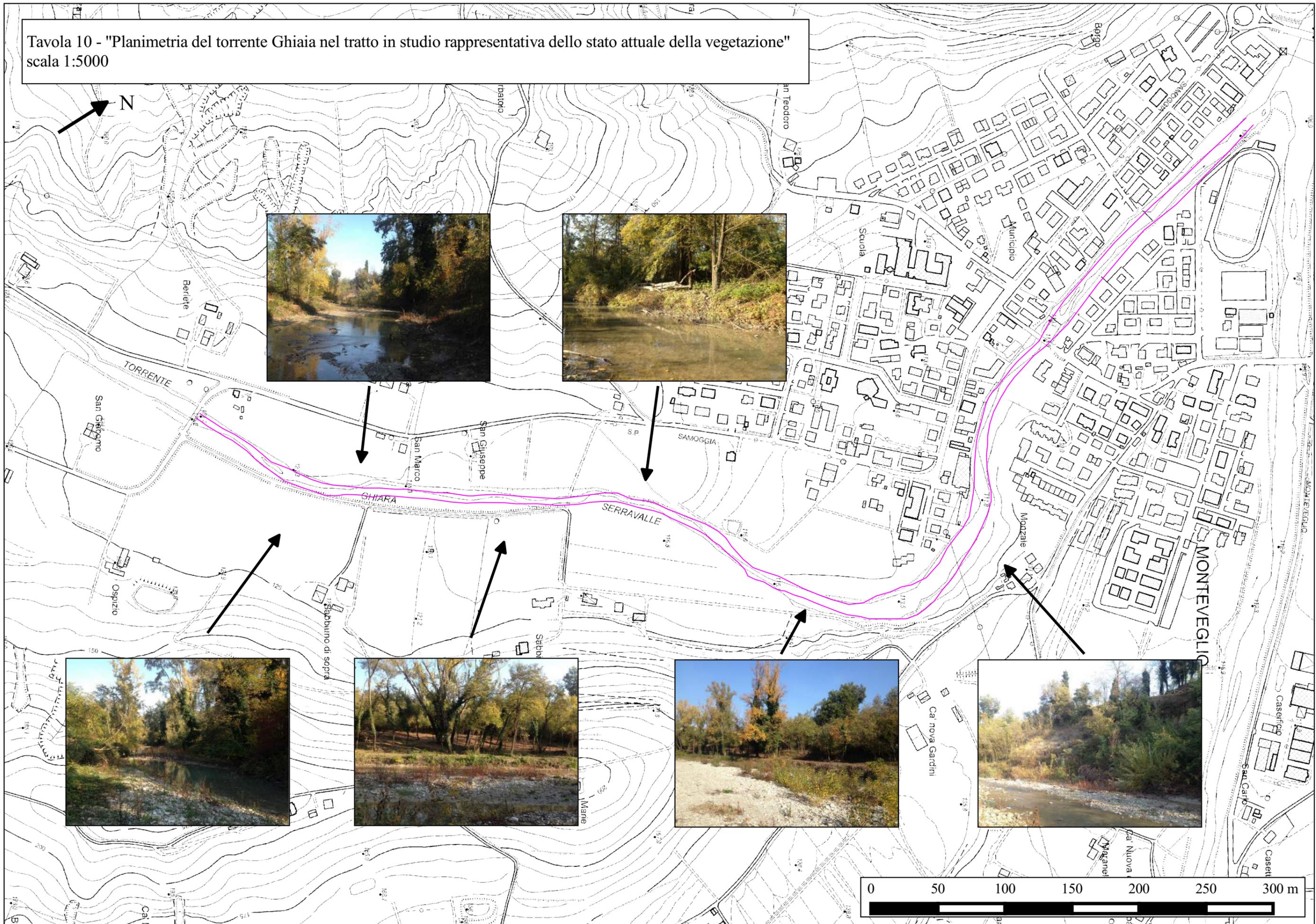
Gli interventi prevedono quindi graduale arricchimento specifico mediante inserimento di arbusti a difesa delle sponde, diradamento a carico delle piante deperienti per finalità idrauliche e contenimento della diffusione di robinia e rovi.

È possibile così schematizzare gli interventi di gestione:

alveo attivo	rimozione o depezzamento in tronchetti di piante arboree cadute taglio ed esbosco o depezzamento in tronchetti di alberi cresciuti in alveo
sponde	diradamento del 70% ogni 10 anni
versanti e terrazzi (se demaniali)	diradamento del 70% ogni 10 anni

Al fine di rendere più immediata la visualizzazione dell'intervento si riporta nella Tavola 10 una planimetria del tratto in studio, evidenziando lo stato vegetativo attuale, potendo da questo capire quali zone necessitano di manutenzione e gestione della vegetazione:

Tavola 10 - "Planimetria del torrente Ghiara nel tratto in studio rappresentativa dello stato attuale della vegetazione"
scala 1:5000



Conclusioni

Il presente elaborato costituisce la sintesi delle attività di indagine geomorfologica e di modellazione idraulica condotte per il tratto del torrente Ghiaia nei pressi dell'abitato di Monteveglio.

Il presente lavoro si è avvalso della collaborazione di alcuni enti territoriali, Autorità di Bacino del Reno, Consorzio della Bonifica Renana, Regione Emilia Romagna per quanto riguarda la valutazione del rischio idraulico, l'assetto idrografico, l'analisi dello stato vegetativo attuale e la gestione della vegetazione.

La prima fase del lavoro ha messo in evidenza le dinamiche evolutive del corso d'acqua in riferimento ad una scala temporale di circa 30 anni. È stata effettuata un'accurata indagine geomorfologica, confrontando diversi tipi di materiale disponibile: ortofoto e rilievi topografici relativi alla planimetria dell'alveo, alle sezioni trasversali e ai profili longitudinali.

I risultati emersi dall'indagine hanno evidenziato una prevalente stabilità dell'alveo, ma una lieve tendenza al deposito e all'allargamento soprattutto in sinistra idraulica, risultato che trova conferma anche in seguito al calcolo di alcuni parametri morfologici: larghezza media L , quota del fondo alveo Q_f e profondità P .

La seconda fase del lavoro ha messo in evidenza lo stato di fatto dell'area in studio, avvalendosi di un modello idraulico generato con l'utilizzo del software HEC – RAS 4.2.0.

Al fine di rappresentare in maniera adeguata e ampia la geometria del modello, ci si è avvalsi di un modello digitale del terreno ricavato da LiDAR ad elevata risoluzione, sul quale si è lavorato con il software di cartografia numerica Q-GIS 2.4.0.

Sono stati simulati differenti scenari di analisi in moto permanente, i quali hanno permesso di verificare l'efficienza idraulica delle sezioni, il conseguente rischio idraulico, quindi di stimare quei valori di portata associati al Tempo di Ritorno che mettono in crisi il sistema, esponendo il centro abitato a situazioni di potenziale allagamento.

Lo studio così effettuato ha permesso di ottenere un quadro preliminare delle condizioni idrauliche dell'area in esame, potendo indicare alcune ipotesi di intervento per mettere in sicurezza il territorio ed in particolare il centro abitato di Monteveglio.

Un primo intervento proposto è stato mirato al contenimento almeno della piena trentennale e consiste nell'abbattimento della briglia a valle del ponte in Via dei Ponti, nella sagomatura con scavo trapezoidale fino a monte del tratto, garantendo una pendenza costante.

Si è visto come nelle condizioni attuali, ovvero in assenza di intervento, il deflusso sia critico già in corrispondenza di una portata con tempo di ritorno pari a 4 anni, $Q_4 = 60 \text{ m}^3/\text{s}$.

La sistemazione idraulica del tratto in studio riduce quindi i livelli idrici, migliorando le condizioni di deflusso e garantendo il passaggio della portata trentennale, $Q_{30} = 161 \text{ m}^3/\text{s}$, evitando situazioni di pericolosità e rischio per il centro abitato.

Un ulteriore intervento, esteso all'intero sviluppo del tratto in studio, riguarda la gestione della vegetazione.

Attraverso rilievi sul campo è stato possibile descrivere lo stato vegetativo attuale e sulla base di questo proporre interventi di manutenzione e gestione, volti a migliorare il deflusso idrico e garantire l'efficienza idraulica del tratto in studio.

Si pensa, infatti, che il ruolo della vegetazione sia fondamentale per la sicurezza idraulica e la tutela dal rischio, nonché per la difesa del suolo e lo sviluppo dell'ecosistema fluviale.

Bibliografia

Colin R. Thorne, Richard D. Hey, Malcom D. Newson “*Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*”. WILEY, November 1997.

Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino Reno n. 1/1 del 5 marzo 2014 “*Piano Stralcio per il bacino del torrente Samoggia, aggiornamento 2007, Norme*”. Testo coordinato a seguito di modifiche e integrazioni ex art 24 comma 6 delle norme relative all’art.20 sul controllo degli apporti d’acqua, approvato con deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 857 del 17/06/2014 entrato in vigore con la pubblicazione nel BUR del 2 luglio 2014.

Ing. Giuliano Trentini, Dot. Agr. Giordano Fossi “*AZIONE A7 - Linee guida per la gestione della vegetazione lungo i corsi d’acqua in Provincia di Trento*”, LIFE11/NAT/IT000187 T.E.N.

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare “*Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio*”, 23 ottobre 2000, Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee.

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. 2010, Sistema di Valutazione Morfologica dei corsi d’acqua - *MANUALE TECNICO-OPERATIVO PER LA VALUTAZIONE ED IL MONITORAGGIO DELLO STATO MORFOLOGICO DEI CORSI D’ACQUA - Versione* OIstituto Tecnico per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

Nicola Surian, Massimo Rinaldi, Luisa Pellegrini “*Linee guida per l’analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*”, pubblicazione realizzata nell’ambito del progetto PRIN 2005 “Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative”.

Claudio Cavazza “*IL BOSCO RIPARIALE, UNA RISORSA DA GESTIRE*” – ECOSCIENZA Numero 3 – Anno 2014 , Servizio Tecnico Bacino Reno Regione Emilia Romagna.

US Army Corps of Engineers “*Hydraulic Reference Manual*”, Version 2010.

Massimo Rinaldi “*La prospettiva geomorfologica e le applicazioni nella gestione degli alvei fluviali*”, Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze.

APAT-Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici “*Atlante delle opere di sistemazione fluviale*” Manuali e Linee Guida, 27/2003.

Fornieris G., Pascale M., Perosino C. G., Zaccara P. *“Lezioni di idrobiologia (le acque continentali)”* CREST (To).

Direzione Ambiente – Settore Sostenibilità, salvaguardia ed Educazione Ambientale, *“Tecniche di sistemazione idrogeologica – naturalistica”*, Regione Piemonte.

Solari L., Paris E., De Cicco P.N., Piccoli F., Francalanci F., Gabellini F., *“ATTIVITA' E-1: Interazione vegetazione in alveo e corrente: studi sperimentali e indirizzi operativi”*, Gennaio 2014.

Direzione Generale Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa, Regione Emilia Romagna, *“Disciplinare Tecnico per la manutenzione ordinaria dei corsi d'acqua naturali ed artificiali e delle opere di difesa della costa nei siti della rete Natura 2000 (SIC e ZPS)”*.