

Committente:



Comune di Quiliano

Titolo:

Studio idraulico finalizzato alla ripermimetrazione delle aree inondabili dei torrenti Quiliano e Quazzola

Oggetto:

Relazione idraulica

Gruppo di lavoro

Ing. P. Misurale
Ing. M. Ivaldi
Ing. A. Porri

Livello di progetto:

Nome File:

P064-24-I-RE-IDR-001-C

Codice progetto: P064-24

Elaborato n°:

IDR-001

Firme:

Rev:	Modifiche / Revisioni	Data	Redatto	Controllato	Approvato
A	PRIMA EMISSIONE	05/08/2024	APO	MIV	PMI
B	AGGIORNAMENTO TOPOGRAFICO	23/05/2025	APO	MIV	PMI
C	AGGIORNAMENTO NUOVO REGOLAMENTO	04/07/2025	APO	MIV	PMI
D	AGGIORNAMENTO NUOVO REGOLAMENTO	27/10/2025	APO	MIV	PMI

INDICE

1	PREMESSA	1
2	DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO	2
2.1	TORRENTE QUILIANO A MONTE DELLA CONFLUENZA CON IL TORRENTE QUAZZOLA	2
2.2	TRATTO DEL TORRENTE QUILIANO A VALLE DELLA CONFLUENZA	7
2.3	ASTA DEL TORRENTE QUAZZOLA	11
3	ASPETTI NORMATIVI	15
3.1	PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI DEL DISTRETTO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE - PGRA 15	
3.2	PIANO DI BACINO – TORRENTE QUILIANO	16
3.3	REGOLAMENTO REGIONALE N. 3 DEL 14/07/2011	17
3.4	REGOLAMENTO REGIONALE N. 1/2025	18
4	IDROGRAMMI DI PIENA	22
5	MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO	27
5.1	BASE TOPOGRAFICA E SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO	27
5.2	METODOLOGIA DI CALCOLO	28
5.3	PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO	29
5.4	IDROGRAMMI DI PIENA	31
5.5	CONFIGURAZIONI DI VERIFICA	31
5.6	RISULTATI	31
5.6.1	Alveo inciso	32
5.6.2	Propagazione volumi di esondazione	35
6	RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE INONDABILI	39

Allegati:

ALLEGATO A: Grandezze idrauliche in alveo

ALLEGATO B: Risultati verifiche idrauliche bidimensionali

Appendici:

APPENDICE 1: Software di calcolo HEC-RAS

APPENDICE 2: Software di calcolo Infoworks ICM

APPENDICE 3: Calcolo idrogramma di piena secondo i criteri della DGR 357/2008

1 PREMESSA

La presente relazione contiene lo studio idraulico del tratto del torrente Quiliano compreso fra il ponte di Via XXV Aprile - Via Dodino e la foce, e il tratto del torrente Quazzola (affluente principale in sponda sinistra) compreso tra il viadotto dell'autostrada A6 e la confluenza con il Quiliano, finalizzato all'aggiornamento della perimetrazione delle fasce di inondabilità del Piano di Bacino del torrente Quiliano.

Lo studio è stato svolto attraverso l'utilizzo di un modello idraulico bidimensionale¹ in grado di ricostruire i fenomeni di allagamento in caso di eventi di piena e ha riguardato le seguenti attività:

- raccolta e analisi della documentazione disponibile relativa a cartografia, rilievi topografici, studi idraulici, progetti, riguardanti le aree in esame;
- determinazione degli idrogrammi di piena dei torrenti Quiliano e Quazzola per i tempi di ritorno pari a 50 e 200 anni secondo la metodologia riportata nella DGR 357/2008;
- acquisizione della base topografica costituita dal LIDAR del Ministero dell'Ambiente a maglia 1x1 metri per la porzione di territorio interessata dallo studio;
- integrazione e controllo dei punti della maglia del DTM in base alla cartografia e ai rilievi topografici di dettaglio disponibili;
- ricostruzione dei fenomeni di allagamento per eventi di piena con assegnato tempo di ritorno e determinazione dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento;
- analisi di sensitività del modello e dei parametri di calcolo adottati;
- mappatura dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento in caso di portate di piena 50-ennale e 200-ennale nello stato attuale;
- proposta di aggiornamento delle fasce di inondabilità in accordo con i criteri indicati dall'Allegato 3 al Piano di Gestione e Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Settentrionale e dal Regolamento Regionale n. 1/2025.

In particolare, la presente costituisce un aggiornamento dello studio dell'agosto 2024 ed è stata redatta su richiesta del Comune di Quiliano a seguito di un adeguamento topografico delle aree in corrispondenza del cimitero di Quiliano.

Si allegano alla presente le tavole relative alla proposta di mappatura così denominate:

P064-24-I-DI-IDR-001-C: Mappatura aree inondabili 1/3

P064-24-I-DI-IDR-002-C: Mappatura aree inondabili 2/3

P064-24-I-DI-IDR-003-C: Mappatura aree inondabili 3/3

¹ Infoworks ICM 2024 HR Wallingford Innovyze.

2 DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Nella figura seguente sono riportati i tratti d'alveo oggetto del presente studio.

Il tratto del torrente Quiliano è compreso tra il ponte di Via XXV Aprile - Via Dodino e la foce, per una lunghezza complessiva di circa 4.08 km, il tratto del torrente Quazzola è compreso fra il viadotto della A6 e la confluenza con il torrente Quiliano, per una lunghezza di circa 1.8 km.



Figura 2-1 – Vista dell'area oggetto di studio da via delle Fabbriche

2.1 TORRENTE QUILIANO A MONTE DELLA CONFLUENZA CON IL TORRENTE QUAZZOLA

Il tratto del torrente Quiliano compreso tra il ponte di via XXV Aprile incrocio via Dodino e la confluenza con il torrente Quazzola ha una lunghezza complessiva di circa 1.6 km.

In questo tratto il torrente presenta una pendenza inferiore all'1% e costeggia l'abitato di Quiliano, che si sviluppa prevalentemente in sponda sinistra, fino alla confluenza con il torrente Quazzola.

Il tratto immediatamente a monte della cittadina è caratterizzato da sezioni di larghezza media di circa 30 m, in sponda sinistra il corso d'acqua è delimitato da un argine artificiale mentre in sponda destra è presente una piccola massicciata laterale che inframezza la sponda prevalentemente naturale.

Il ponte di Via XXV Aprile - Via Dodino è a campata unica con luce di 32 m e altezza libera sotto l'intradosso variabile da 2.5 a 3.5 m.



Figura 2.2: ponte di Via XXV Aprile - Via Dodino

Circa 250 m a valle del ponte di Via XXV Aprile, una serie di interventi di natura antropica producono un restringimento dell'alveo, che passa dai 30 m iniziali a circa 20 m.

In questo tratto la sezione assume forma rettangolare ed entrambe le sponde risultano arginate da muri costituiti prevalentemente di pietra e malta. Lungo il tratto sono presenti due briglie di altezza trascurabile.

In corrispondenza della chiesa di San Lorenzo (in sponda sinistra), il rio Varzo confluisce nell'asta del torrente Quiliano.



Figura 2.3: confluenza del Rio Varzo

Circa 100 m a valle è presente il ponte metallico a campata unica che collega Via XXV Aprile (in sponda destra) con Via Don Peluffo (in sponda sinistra).



Figura 2.4: ponte metallico

A valle del ponte metallico l'alveo si restringe ancora, raggiungendo la sua larghezza minima in circa 18 m; entrambe le sponde sono arginate da murature verticali in pietra e malta.

La sponda destra, per tutta la lunghezza del tratto e fino a dopo la confluenza, è interamente costeggiata da Via XXV Aprile, mentre in sponda sinistra, dopo Via Antonio Porcile, la strada abbandona gli argini.

Proprio all'altezza della fine di Via Antonio Porcile, in sponda destra in uno dei tratti più stretti dell'alveo, è presente un edificio con un secondo piano a sbalzo nell'argine del fiume.

Nel tratto compreso tra il ponte metallico e la passerella pedonale che collega Via XXV Aprile, in sponda sinistra, con Via Roma, in sponda destra, sono presenti 3 briglie in calcestruzzo, di altezza inferiore al metro.



Figura 2.5: passerella pedonale

Nei 200 metri immediatamente a valle della passerella pedonale la sezione del corso d'acqua recupera un paio di metri di larghezza, arrivando a circa 20 m; quindi l'alveo si allarga improvvisamente in corrispondenza di una curva in Via XXV Aprile.

Da questo punto in poi la larghezza dell'alveo rimane pressoché costante, attorno ai 30 m, fino ad arrivare alla confluenza con il torrente Quazzola.

In quest'ultimo tratto sono presenti un totale di 6 briglie, tutte di altezze trascurabili, e una passerella pedonale, ubicata in corrispondenza del centro sportivo comunale.



Figura 2.6: passerella pedonale in prossimità del centro sportivo Comunale

Negli ultimi 500 m a monte della confluenza, in sponda destra, sono presenti i resti del vecchio argine, costituiti da una muratura di altezza di circa 1 m che corre longitudinalmente al torrente e termina in corrispondenza della confluenza.

In corrispondenza della confluenza la sezione subisce nuovamente un deciso allargamento, superando i 40 m di larghezza.



Figura 2.7: Confluenza vista da Via XXV Aprile.

2.2 TRATTO DEL TORRENTE QUILIANO A VALLE DELLA CONFLUENZA

Il torrente Quazzola confluisce nel Quiliano descrivendo un angolo di circa 15° e all'unione dei due torrenti la larghezza dell'alveo è pari a circa 40 m.

Circa 500 m a valle della confluenza in sponda destra Via XXV Aprile abbandona definitivamente gli argini, lasciando posto ad una serie di campi coltivati.

In questo tratto sono presenti sei briglie in calcestruzzo di altezza modesta e l'alveo si allarga fino a circa 75 m per poi restringersi nuovamente a circa 50 m.

Dopo circa ulteriori 150 m dalla confluenza è presente una passerella pedonale con due pile in alveo.



Figura 2.8: passerella pedonale

A valle della passerella la sezione del torrente rimane costante attorno ai 40 m fino al successivo ponte di Via San Pietro, ubicato circa 650 m a valle, dove l'alveo si allarga nuovamente.

In questo tratto sono presenti sette briglie di caratteristiche analoghe a quelle del tratto a monte della passerella.

Il ponte ha una luce complessiva di circa 52 m suddivisa in quattro campate da 3 pile in alveo, l'intradosso del ponte è circa 4 m al di sopra dell'alveo.



Figura 2.9: ponte di Via San Pietro

Circa 150 m a valle è presente il viadotto dell'autostrada A10 che attraversa il torrente, con due pile in alveo; la sezione interessata dal viadotto misura circa 49 m di larghezza.



Figura 2.10: Viadotto autostradale A10

I 500 metri finali dell'alveo del torrente Quiliano, fino alla foce, sono attraversati da ben 5 ponti.

I primi due da monte, ponte della strada a scorrimento veloce e ponte ferroviario della linea Genova-XXMiglia presentano intradossi abbondantemente superiori alla quota degli argini.



Figura 2.11: ponte Strada di scorrimento veloce



Figura 2.12: ponte ferroviario linea GE-XXMiglia

In sponda destra la quota della strada che costeggia l'alveo, Via Cesare Briano, scende decisamente, fino a meno di due metri dalla quota del fondo dell'alveo, di conseguenza l'argine è costituito da un muro di calcestruzzo che misura fino a 2,5 metri di altezza sul livello della strada.

Poco a valle la strada riprende quota, in corrispondenza del ponte saraceno, un ponte pedonale in pietra a due archi asimmetrici.

L'arco di destra ha una luce di circa 22 m e una quota massima all'intradosso di 3.7 m, l'arco di sinistra ha una luce di 31 m e una quota massima all'intradosso di più di 9 m.

Subito a monte del ponte saraceno la larghezza dell'alveo aumenta fino a oltre 60 m e la sezione dell'alveo a valle del ponte aumenta gradualmente fino ai circa 90 m della foce, ubicata circa 290 m più a valle.



Figura 2.13: Ponte saraceno pedonale

Circa 40 m a valle è presente un ponte ferroviario a due campate con una pila in alveo, di circa 3 m di spessore, e luce complessiva di circa 63 m.



Figura 2.14: Ponte ferroviario

A valle del ponte ferroviario, in sponda destra, confluisce il canale artificiale di scarico delle acque di raffreddamento della centrale “Tirreno Power” di Vado Ligure che si innesta nell’alveo con una piccola briglia in corrispondenza della confluenza.

Circa 95 m a valle del ponte ferroviario e circa 150 m a monte dello sbocco a mare è ubicato il ponte stradale della Via Aurelia, a quattro campate con tre pile in alveo e luce complessiva di circa 75 m.



Figura 2.15: ponte stradale Via Aurelia

2.3 ASTA DEL TORRENTE QUAZZOLA

Il torrente Quazzola nasce alle pendici del Bric della Guardia (372 m s.l.m.).

Nel primo tratto percorre una valle molto stretta, con andamento molto tortuoso fino all’inizio di Via Tecci dove l’alveo si fa più rettilineo.

Negli ultimi 1800 m, compresi fra il viadotto autostradale della A6 e la confluenza con il torrente Quiliano, il torrente Quazzola mantiene una pendenza modesta e una sezione idraulica piuttosto ampia, con rilevanti depositi al fondo.

La sponda sinistra è costeggiata da Via Tecci, fino alla confluenza ed è delimitata da un muro d’argine a tratti in calcestruzzo e a tratti in muratura, che arriva a misurare fino a 9 m dal fondo dell’alveo.

La sponda destra invece, nel tratto compreso tra il viadotto della A6 fino all'inizio di Via Quazzola, è delimitata da un argine naturale e successivamente da un muro d'argine di caratteristiche simili a quello della sponda sinistra

Dall'inizio di via Quazzola fino alla confluenza l'alveo assume quindi forma rettangolare con restringimento della sezione a causa dell'urbanizzazione dell'abitato di Quiliano.

Lungo il tratto a partire da monte sono presenti quattro attraversamenti, il viadotto della A6, un ponte carrabile (forse privato) di accesso ad alcune abitazioni posto circa 350 m più a valle del viadotto, la passerella pedonale ubicata in corrispondenza dell'inizio di Via Quazzola e il ponte di Via Roma.

Il viadotto della A6 scavalca il torrente a quote molto elevate senza pile in alveo. Subito a monte del viadotto è presente una briglia.



Figura 2.16: viadotto autostradale A6

Il ponte carrabile a valle del viadotto è a campata unica senza pile in alveo.

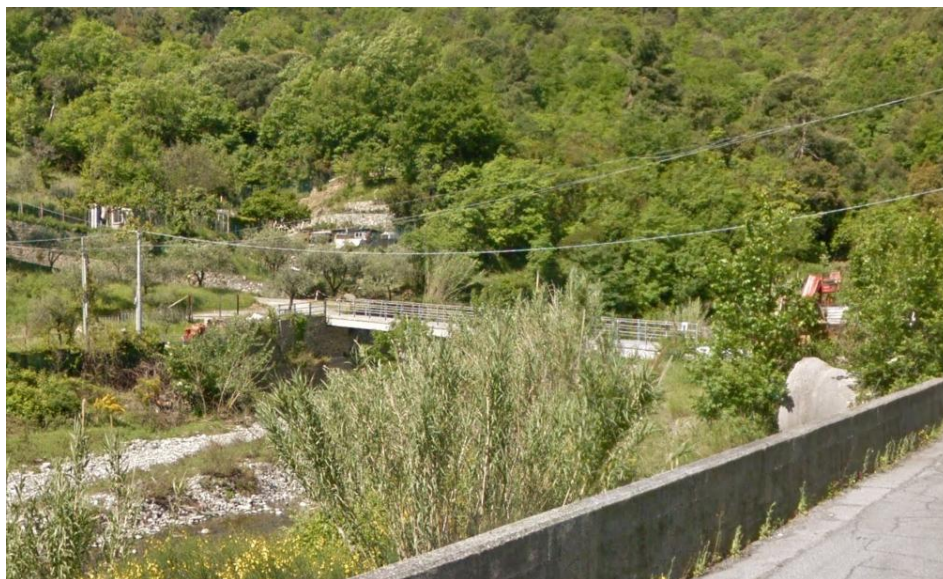


Figura 2.17: ponte carrabile

La passerella pedonale di Via Quazzola è metallica a campata unica.



Figura 2.18: passerella pedonale di Via Quazzola

Il ponte di Via Roma, ubicato circa 120 m a monte della confluenza con il torrente Quiliano, è a campata unica con luce di 15 m e quota di intradosso di circa 3 m dal fondo dell'alveo.



Figura 2.19: ponte di Via Roma

3 ASPETTI NORMATIVI

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano di Gestione e Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto dell'Appennino Settentrionale, dal Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico – torrente Quiliano², dal Regolamento Regionale n. 3 del 14/07/2011³ così come modificato dalla DGR n. 181 del 11/03/2016 e dal Regolamento Regionale n. 1/2025.

3.1 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI DEL DISTRETTO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE - PGRA

Nella figura seguente si riporta la mappatura della pericolosità da alluvione fluviale allegata al PGRA del Distretto dell'Appennino Settentrionale.

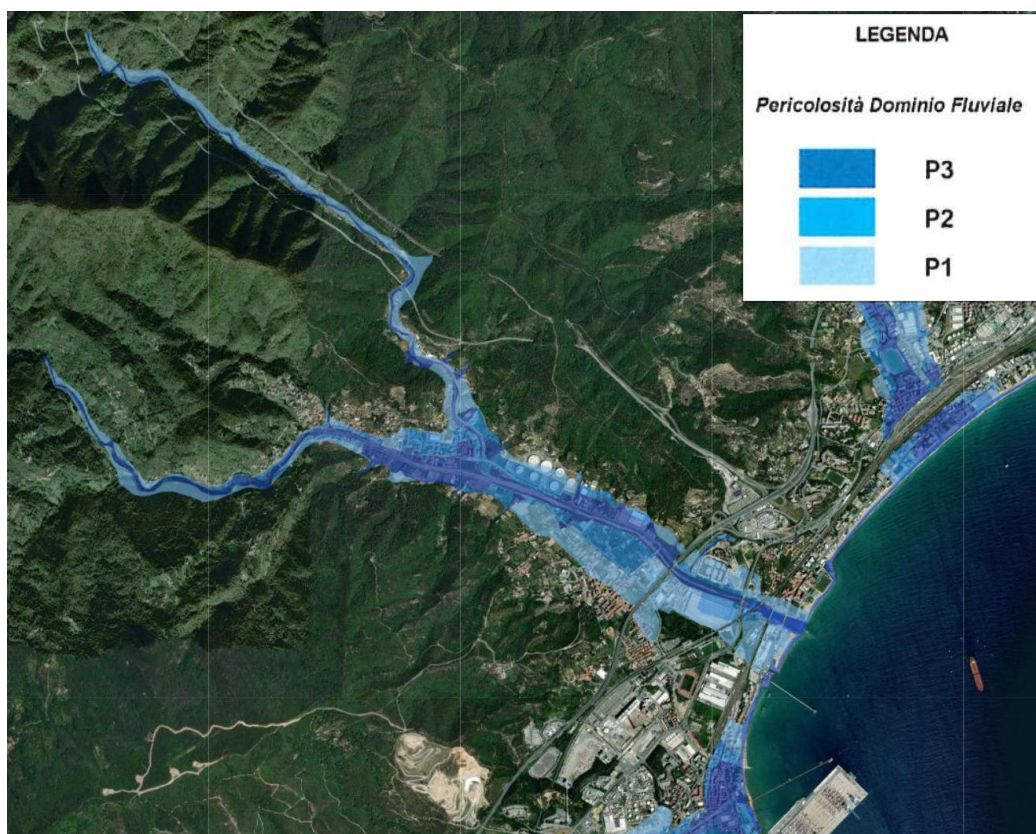


Figura 3-1 – PGRA: Estratto Mappa della pericolosità da alluvione fluviale

Secondo quanto riportato nell'Articolo 75 (Condizioni di gestione del rischio idraulico) della L.R. n. 20 del 28/12/2023 “*nelle more dell'entrata in vigore del regolamento previsto dall'articolo 91, comma 1 ter 2, della L.R. 18/1999, entro il 30 giugno 2024, ai fini di garantire*

² Approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 47 del 25/11/2003. Ultima variante approvata: DSG n. 121 del 23/11/2022 entrata in vigore dal 21/12/2022.

³ Disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua, attuativo della DGR 1360/2010.

le condizioni di gestione del rischio idraulico, continuano a trovare applicazione le norme dei piani di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico delle sopresse Autorità di bacino regionale ligure e interregionale del fiume Magra, per quanto non in contrasto con la disciplina del Piano di gestione del rischio alluvioni (PGRA) ”.

3.2 PIANO DI BACINO – TORRENTE QUILIANO

Secondo quanto riportato nel Piano di Bacino il torrente Quiliano risulta indagato, mediante uno studio idraulico monodimensionale.

Nella figura seguente è riportato un estratto della Carta delle fasce di inondabilità.

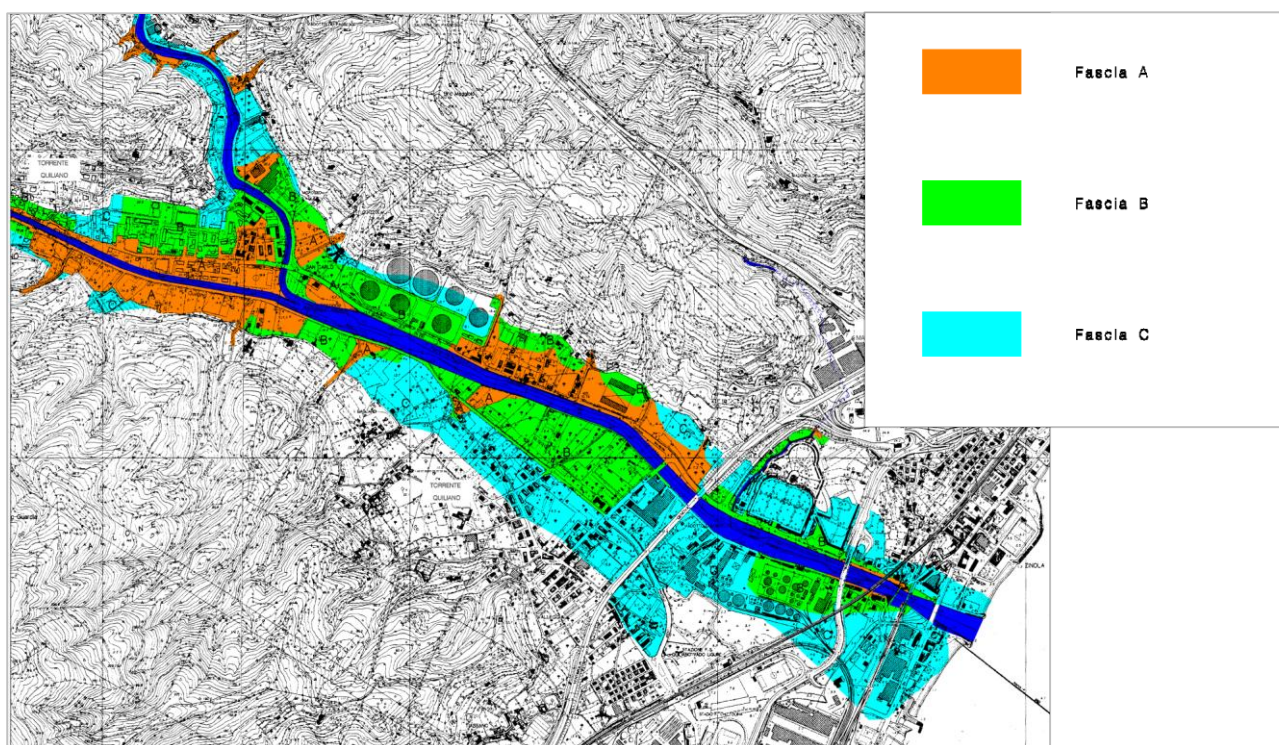


Figura 3-2 – Estratto della carta delle fasce di inondabilità

Nel Piano di Bacino sono riportati i valori delle portate di piena per assegnato periodo di ritorno per diverse chiusure considerate dei torrenti Quiliano e Quazzola.

Tratto	Q50 [m ³ /s]	Q200 [m ³ /s]	Q500 [m ³ /s]
Quiliano a monte confluenza con il Quazzola	340	490	590
Quazzola a monte confluenza con il Quiliano	190	280	340
Quiliano alla foce	590	850	1000

Tabella I

3.3 REGOLAMENTO REGIONALE N. 3 DEL 14/07/2011

Il Regolamento Regionale suddivide i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico in classi in funzione dell'estensione dei bacini sottesi secondo il seguente schema.

Superficie sottesa [km ²]	Classificazione
$S > 1$	Corso d'acqua di 1° livello
$0.25 \leq S \leq 1$	Corso d'acqua di 2° livello
$0.25 < S < 0.1$	Corso d'acqua di 3° livello
$S \leq 0.1$	Corso d'acqua minuto

Tabella II

Il torrente Quiliano è classificato come corso d'acqua di 1° livello essendo caratterizzato da una superficie pari a 52 km².

Per quanto riguarda i limiti di inedificabilità, per i corsi d'acqua di 1°, 2° e 3° livello "indagati" (ossia oggetto di studio idraulico specifico), il Regolamento (art. 4) stabilisce una fascia di inedificabilità assoluta dai limiti dell'alveo pari a 10 m, mentre per i corsi d'acqua minuti tale fascia è stabilita pari a 3 m.

Nel caso specifico il corso d'acqua in esame è stato indagato nell'ambito del Piano di Bacino e, pertanto, la fascia di inedificabilità assoluta è pari a 10 m.

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza e i franchi idraulici di sicurezza da adottare nelle verifiche idrauliche il Regolamento indica i seguenti parametri.

Descrizione corso d'acqua	Ks (m ^{1/3} s ⁻¹)
Alvei naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Alvei naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubo, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque.	40-45

Tabella III

Per i corsi d'acqua di primo livello e secondo livello il franco idraulico da adottare deve essere il maggiore tra:

- il carico cinetico della corrente determinabile come $U^2/2g$, dove U (m/s) è la velocità media della corrente e g (m/s²) è l'accelerazione di gravità
- i valori della tabella seguente:

I	Argini e difese spondali	cm 50/100
II	Ponti e strutture di attraversamento fino ad estensioni longitudinali di 12 m	cm 100/150
III	Coperture e tombinature, ponti e strutture di attraversamento oltre 12 m	cm 150/200

Tabella IV

ove i due valori estremi corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati con previsione di modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con previsione di forte trasporto solido in caso di piena, e/o a bacini di maggiore o minore estensione.

3.4 REGOLAMENTO REGIONALE N. 1/2025

Il presente regolamento tratta delle “*Disposizioni concernenti l'attuazione dei Piani di bacino distrettuali, anche stralcio, per le aree a pericolosità da alluvione fluviale e costiera in attuazione dell'articolo 91, comma 1 ter 2 della legge regionale 21 giugno 1999, n. 18 (Adeguamento delle discipline e conferimento delle funzioni agli enti locali in materia di ambiente, difesa del suolo ed energia)*”.

Al Titolo II il regolamento riporta la disciplina delle aree a pericolosità da alluvione mappate dal PGRA.

Al Titolo III sono trattate ulteriori disposizioni di disciplina del territorio, quali la portata di piena di progetto, la fascia di riassetto fluviale, le fasce di rispetto.

Negli Allegati 1a e 1b sono definiti gli *Accorgimenti tecnico-costruttivi finalizzati al non aumento del rischio idraulico da alluvione fluviale e costiera*.

Nell'Allegato 2 sono riportati i *Criteri per l'individuazione di ambiti normativi relativi ad aree a minore pericolosità relativa all'interno di aree a pericolosità da alluvione fluviale elevata e media P3 e P2*.

Nel presente regolamento regionale, in continuità con i previgenti piani di bacino delle UOM regionale ligure e UoM Magra, gli ambiti normativi vengono individuati come sottoinsiemi di aree a minore pericolosità, detta quindi "relativa", ciascuno nell'ambito dello stesso livello di pericolosità "assoluta" P2 e P3 del PGRA.

Pertanto ai fini della determinazione degli ambiti normativi si applica la seguente impostazione:

a) aree P3 e ambito P3_0:

- all'interno dello stesso livello di pericolosità elevata P3 del PGRA (T=50 anni per gli ex bacini regionali liguri e T= 30 anni per il Magra) si individuano ambiti di minor pericolosità "relativa" -ma sempre a pericolosità "assoluta" elevata - sulla base delle caratteristiche di inondazione del corrispondente tempo di ritorno T50 (T30) al fine di individuare una disciplina urbanistico-edilizio più adeguata*
- Vengono quindi individuate, all'interno delle aree P3, aree a minor pericolosità relative, finalizzate alla definizione dell'ambito c.d. P3_0, nelle quali in considerazione di valori modesti delle caratteristiche dell'inondazione cinquantennale (trentennale) che ne consentono una protezione efficace, viene meglio calibrata la normativa edilizia per le nuove opere nell'ottica della gestione del rischio. Poiché un'area P3, inondabile a T=30/50 anni, è anche sicuramente inondabile anche a T=200 anni, per garantire la adeguata possibile protezione dei nuovi elementi dagli allagamenti, ai fini dell'effettiva individuazione delle aree P3_0 all'interno delle aree P3, è necessario verificare che nella stessa area si verifichino anche le condizioni di minor pericolosità relativa per l'inondabilità duecentennale sulla base delle relative caratteristiche di battenti e velocità duecentennali (come da successivo punto 2)).*
- Il livello di rischio idraulico attuale rimane sempre valutato rispetto alla pericolosità assoluta P3, in considerazione in particolare del fatto che gli insediamenti esistenti non sono in generale protetti adeguatamente dagli allagamenti, ed è in ogni caso necessario adottare misure ed azioni di protezione commisurati al livello di pericolosità "elevata".*

b) aree P2 e ambito P2_0:

- Analogamente al punto a) viene predisposta, all'interno delle aree P2, la mappatura delle aree c.d. P2_0, nella quale in considerazione di valori più modesti delle caratteristiche dell'inondazione duecentennale che ne consentono una protezione*

affidabile, viene meglio calibrata la normativa edilizia per le nuove opere nell'ottica della gestione del rischio.

- Il livello di rischio attuale rimane sempre corrispondente alla pericolosità assoluta P2.

A) Le aree P3_0 sono individuate secondo i criteri di cui al combinato disposto della tabella seguente (le due condizioni per T50 e T200 devono essere entrambe verificate):

Determinazione aree P3_0 all'interno di aree P3	
Evento di piena per T = 50 anni	
Velocità di scorrimento V_{50}	Battente idrico h_{50}
$V_{50} \leq 0,50$ m/s	$h_{50} \leq 0,30$ m
Evento di piena per T = 200 anni	
Velocità di scorrimento V_{200}	Battente idrico h_{200}
$V_{200} \leq 0,50$ m/s	$h_{200} \leq 0,70$ m
$0,50$ m/s < $V_{200} \leq 1,00$ m/s	$h_{200} \leq 0,50$ m
$1,00$ m/s < $V_{200} < 1,50$ m/s	$h_{200} \leq 0,30$ m

Tabella V

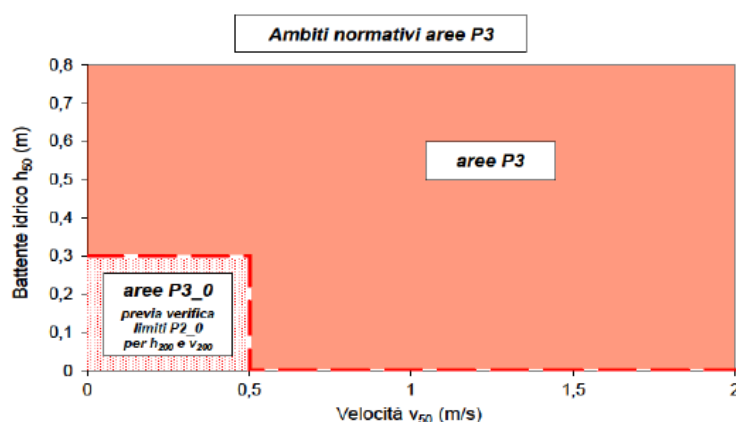


Figura 3-3 – Ambiti normativi aree P3

B) Le aree P2_0 sono individuate secondo i criteri di cui alla tabella seguente.

Determinazione aree P2_0 all'interno di aree P2	
Evento di piena per T = 200 anni	
velocità di scorrimento V_{200}	Battente idrico h_{200}
$V_{200} \leq 0,50$ m/s	$h_{200} \leq 0,70$ m
$0,50$ m/s < $V_{200} \leq 1,00$ m/s	$h_{200} \leq 0,50$ m
$1,00$ m/s < $V_{200} \leq 1,50$ m/s	$h_{200} \leq 0,30$ m

Tabella VI

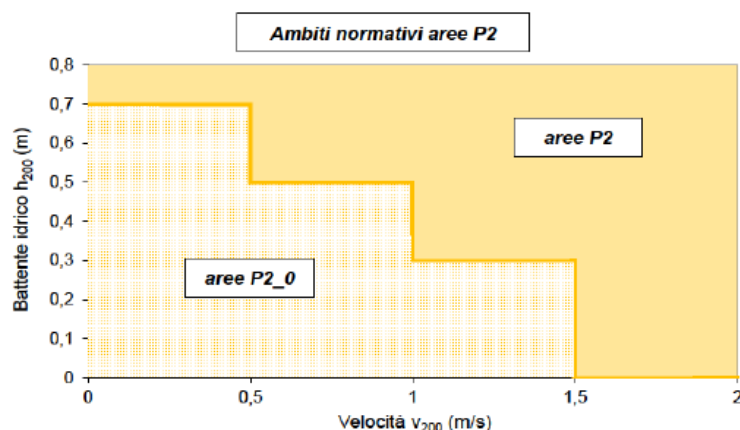


Figura 3-4 – Ambiti normativi aree P2

L'applicazione della metodologia di individuazione cartografica delle aree a minor pericolosità relativa qui delineata deve, in ogni caso, essere coerente con le mappe del PGRA. Deve basarsi su risultati di studi idraulici di dettaglio, che permettano di determinare affidabilmente, oltre alla perimetrazione delle aree a pericolosità da inondazione, le entità dei battenti idrici e delle velocità di scorrimento che vi si realizzano. Tali studi devono prendere in considerazione l'intero corso d'acqua, o, in caso di bacini di rilevanti dimensioni, tratti significativi di corso d'acqua e/o l'area inondabile interessata nella sua interezza.

4 IDROGRAMMI DI PIENA

La determinazione degli idrogrammi di piena del torrente Quiliano è stata effettuata secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

In particolare si è utilizzato il *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzato alla valutazione degli idrogrammi di riferimento condizionati dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, se non diversamente specificato, pari a quella del Piano di Bacino. La metodologia di calcolo è riportata in Appendice 3.

Ai fini della modellazione bidimensionale sono stati determinati gli idrogrammi di piena per gli eventi con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni nei seguenti nodi:

- Quazzola: Quazzola a monte della confluenza col torrente Quiliano
- Quiliano monte: Quiliano a monte della confluenza col torrente Quazzola
- Quiliano valle: Quiliano subito a valle della confluenza col torrente Quazzola
- Quiliano foce: Quiliano alla foce

I parametri delle curve di probabilità pluviometrica e quelli caratteristici dei singoli bacini sottesi sono stati definiti in base ai valori riportati nella DGR 357/08 e negli Allegati Tecnici del Piano di Bacino del torrente Quiliano.

Per quanto riguarda le curve di probabilità pluviometrica è stata utilizzata la stazione di Montagna in comune di Quiliano, i cui parametri sono riportati nell'Appendice II della DGR sopra menzionata.

La curva risultante presenta un valore della pioggia indice $a_i = 38 \text{ mm/h}$ per la sezione terminale e un valore dell'esponente di scala $n = 0.413$.

Gli idrogrammi di piena sono stati ricostruiti attraverso l'uso di un modello seriale (vedi Appendice 3) di trasformazione afflussi-deflussi costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento, e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli idrogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali. Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come Curve Number proposto dal Soil

Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

La determinazione dei parametri caratteristici del bacino quali superficie, tempo di corrivazione e valore di CN è stata effettuata sulla base dei contenuti del Piano di Bacino e della stessa DGR 357/2008 (vedi tabella).

Nodo/tratto	A [km ²]	CN	t _c [ore]
Quazzola	16	75	1.4
Quiliano monte	30	75	1.6
Quiliano valle	46	75	1.6
Quiliano foce	52	75	2.1

Tabella VII

A completamento dell'analisi idrologica l'idrogramma è stato calcolato anche per la condizione V_{max} , ossia quello che produce il massimo valore del volume di esondazione per una portata di soglia prefissata.

Il calcolo è stato effettuato assumendo un valore della portata di soglia di 200 m³/s per il torrente Quiliano e di 120 m³/s per il torrente Quazzola (corrispondente alla portata che defluisce senza esondazione lungo tutto il tratto).

Nella tabella seguente si riportano i valori di $a^{(*)}$, di n e del tempo di pioggia t_p assunti per le varie sezioni di chiusura, con i corrispondenti valori della portata massima nei diversi nodi individuati per le due condizioni (Q_{max} e V_{max}).

	Sezione		$a^{(*)}$ [mm/h]	n	t_p [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Q_s [m ³ /s]	$V > Q_s$ [m ³]
T=50	Quazzola	Q_{max}	106	0.413	145	190	120	218839
	Quazzola	V_{max}	106		210	179		254188
	Quiliano monte	Q_{max}	107		150	340	200	513587
	Quiliano monte	V_{max}	107		295	316		652809
	Quiliano foce	Q_{max}	116.3		190	590	200	2639542
	Quiliano foce	V_{max}	116.3		350	391		4207721

T=200	Quazzola	Qmax	140.2	0.413	130	280	120	659287
	Quazzola	Vmax	140.2		295	221		905925
	Quiliano monte	Qmax	139.5		140	490	200	1362139
	Quiliano monte	Vmax	139.5		350	378		1966194
	Quiliano foce	Qmax	153.3		180	850	200	4923502
	Quiliano foce	Vmax	153.3		900	438		8927665
	Sezione		a(*) [mm/h]	n	t _p [min]	Qmax [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	V>Qs [m ³]
T=500	Quazzola	Qmax	162.3	0.413	120	340	120	961242
	Quazzola	Vmax	162.3		350	240		1460646
	Quiliano monte	Qmax	160.5		130	590	200	1362139
	Quiliano monte	Vmax	160.5		430	398		3053345
	Quiliano foce	Qmax	178.3		170	1030	200	6437087
	Quiliano foce	Vmax	178.3		1300	416		12725741

Tabella VIII

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena risultanti sia per la condizione di Q_{max} che di V_{max} .

Data la complessità del fenomeno risulta evidente che se da una parte tali idrogrammi possono non rappresentare l'effettivo andamento delle portate durante l'evento, dall'altra ne costituiscono tuttavia una sintesi sufficientemente attendibile per gli scopi del presente studio.

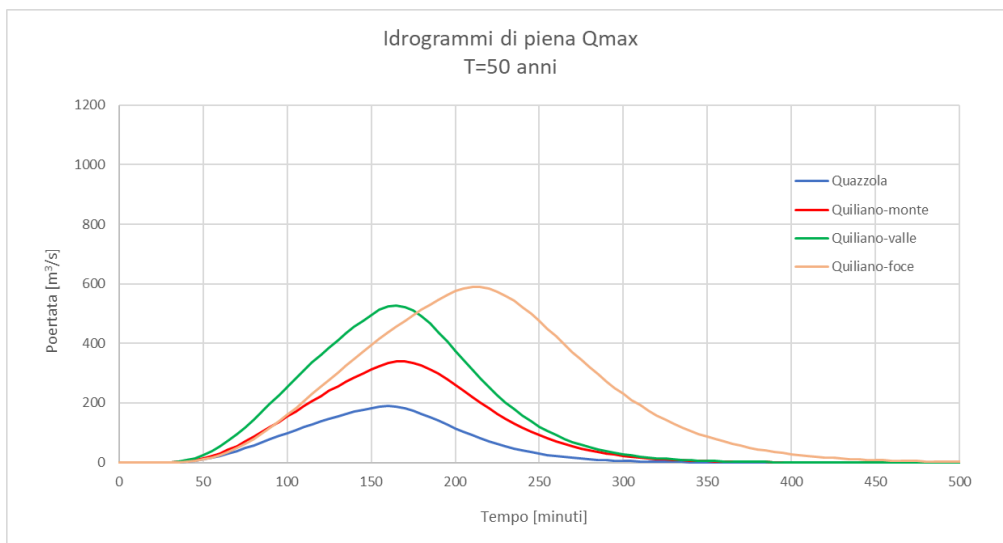


Figura 4-1 - Idrogrammi di piena Qmax T = 50 anni

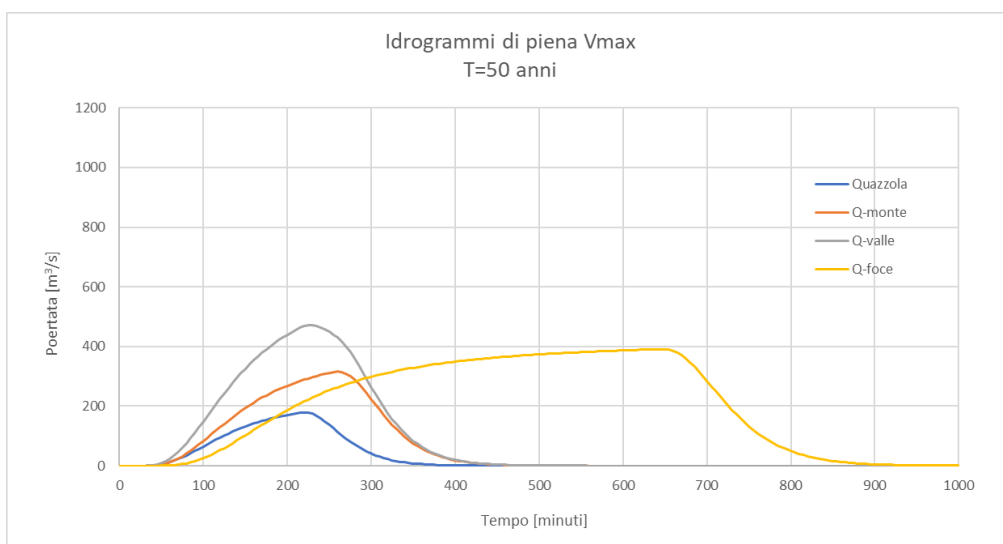


Figura 4-2 - Idrogrammi di piena Vmax T = 50 anni

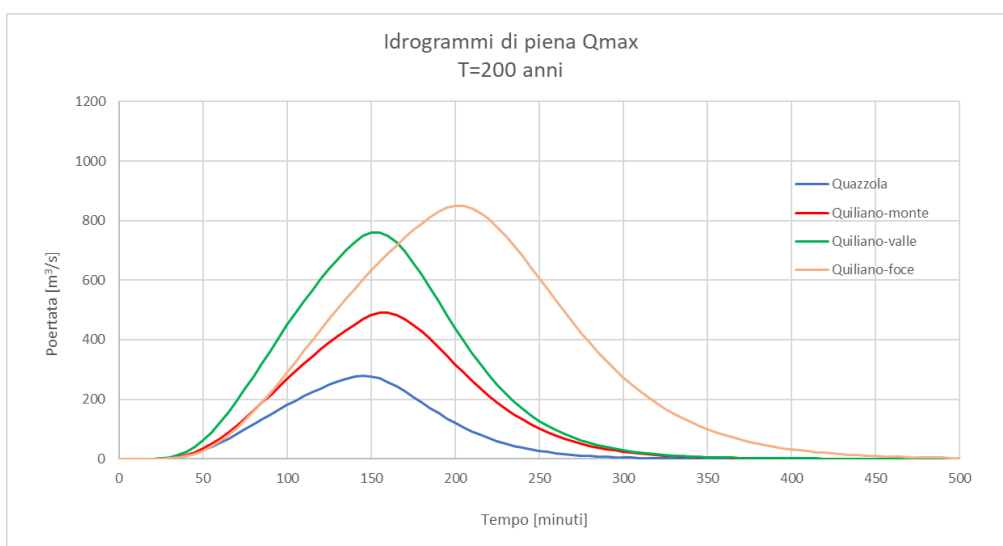


Figura 4-3 - Idrogrammi di piena Qmax T = 200 anni

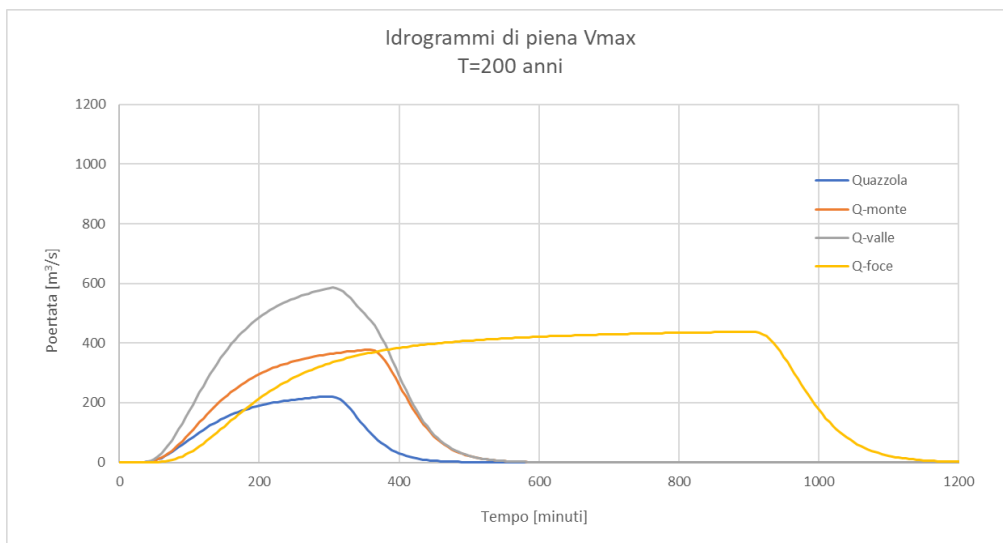


Figura 4-4 – Idrogrammi di piena Vmax T = 200 anni

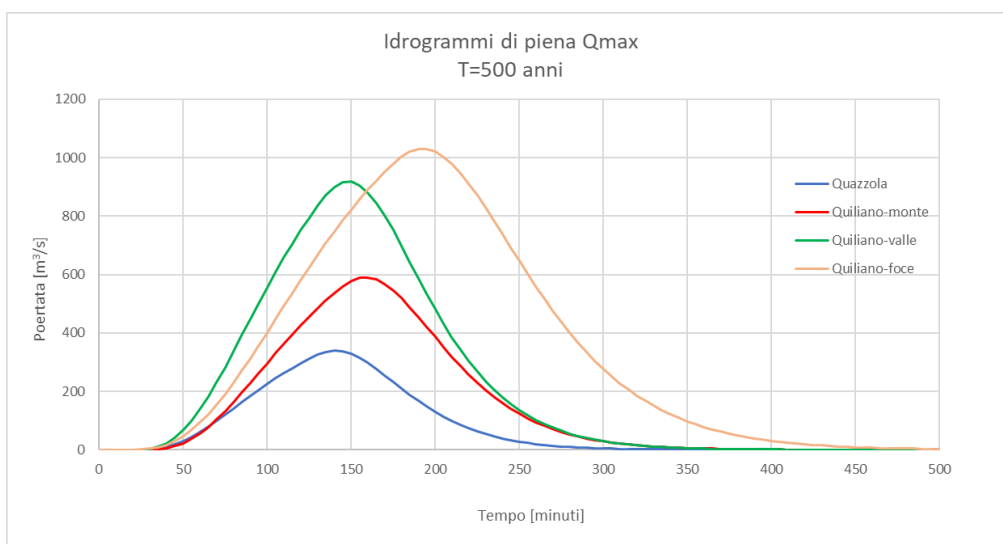


Figura 4-5 – Idrogrammi di piena Qmax T = 500 anni

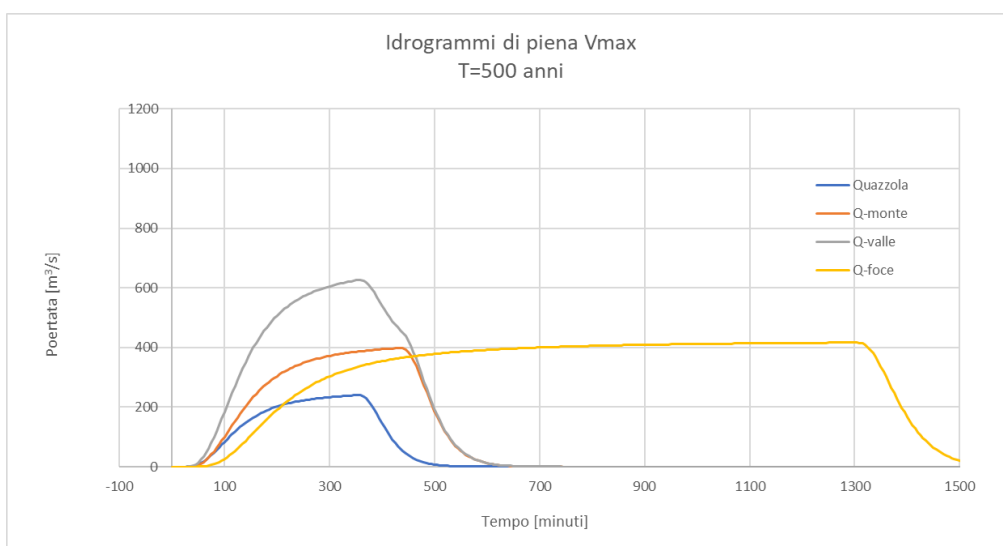


Figura 4-6 – Idrogrammi di piena Vmax T = 500 anni

5 MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO

5.1 BASE TOPOGRAFICA E SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO

La modellazione idraulica dell'area indagata è stata fatta a partire da una base topografica adeguata alla tipologia di studio e alla scala di dettaglio del modello.

In particolare, per la definizione del dominio di calcolo sono state utilizzate le seguenti basi topografiche opportunamente integrate ed omogeneizzate tra loro:

- DTM fornito dal Ministero dell'Ambiente, prodotto con tecnologia Laser Scanner in volo (LIDAR), caratterizzato da una maglia quadrata 1x1 m;
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), scala 1:5000, vettoriale tridimensionale;
- Rilievi aggiornati plano-altimetrici di dettaglio dei corsi d'acqua e delle aree adiacenti.

Il dominio di studio è stato schematizzato utilizzando i dati presenti nelle diverse basi topografiche disponibili suddividendo la zona di calcolo 2D (aree adiacenti al corso d'acqua) da quella 1D (alvei torrenti Quiliano e Quazzola).

Dominio 2D

La base topografica di partenza importata nel software è costituita dal LIDAR del Ministero dell'Ambiente.

Poiché il DTM tiene conto solamente della superficie geodetica del territorio, sono stati importati dalla Carta Tecnica Regionale tutti gli edifici presenti nell'area indagata a cui è stata assegnata la condizione di "poligoni vuoti" non attraversabili dal flusso della corrente.

È stata fatta un'analisi della precisione e della completezza dei dati topografici del DTM al fine di verificarne l'adeguatezza per l'utilizzo nella modellazione.

L'analisi ha evidenziato che il DTM è affetto da alcune imprecisioni in quanto la risoluzione del modello non sempre riesce a rappresentare le forti discontinuità presenti nella topografia dell'area urbana indagata generando, in alcune zone, un rilievo geodetico del terreno che non rappresenta la realtà topografica dei luoghi.

La risoluzione delle imprecisioni è stata effettuata integrando la base cartografica del DTM con i rilievi e le altre cartografie tecniche disponibili.

A completamento del lavoro di integrazione sono state aggiunte una serie di condizioni interne, quali arginature, muri perimetrali di edifici, per rappresentare in modo più dettagliato e preciso la realtà urbana indagata.

Infine, è stato individuato e creato il dominio 2D di allagamento sulla base delle dinamiche di esondazione dell'area e delle mappature risultanti dal Piano di Bacino.

Il dominio 2D individuato ha un'estensione di circa 500 ha.

Dominio 1D

Il dominio 1D riguarda l'alveo del torrente Quiliano per una lunghezza di circa 4.1 km, e l'alveo del torrente Quazzola per una lunghezza di circa 1.8 km.

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate in senso crescente da valle verso monte, in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti, ecc.) con l'aggiunta di alcune sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di variazioni di sezione significative e dei manufatti.

Nella Figura 5.1 è riportato un estratto della schematizzazione del dominio di calcolo 1D-2D generato dal software di calcolo.

5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Lo studio relativo all'allagamento delle aree in esame è stato effettuato implementando un modello idraulico bidimensionale con il software *Infoworks ICM*⁴.

Il software consente il calcolo in moto vario monodimensionale e bidimensionale di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane utilizzando la metodologia dei volumi finiti. Tra i principali risultati fornisce per ciascun dominio di calcolo (maglia di discretizzazione) i massimi tiranti idrici e la massima velocità di scorrimento.

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 2 allegata alla presente relazione.

⁴ *Infoworks ICM HR Wallingford Innovyze.*

5.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO

Modello 2D

Il dominio di calcolo è stato discretizzato generando una *mesh* triangolare a differente superficie, allo scopo di seguire più fedelmente possibile la geometria dei luoghi.



Figura 5.1 – Maglia di calcolo

I parametri principali relativi alla magliatura assunti nella modellazione sono i seguenti:

- dimensione massima dell'area dei triangoli generati pari a 20 m²;
- dimensione minima dell'area dei triangoli generati pari a 5 m²;
- magliatura variabile in funzione dell'andamento del terreno in modo che la variazione di quota tra i tre vertici non superi il valore di 0.20 m;
- coefficiente di scabrezza (coefficiente di Manning) di tutto il dominio pari a 0.025 m^{-1/3}s. Tale scelta è dovuta al fatto che l'area indagata è costituita da un'area urbana caratterizzata da viabilità e marciapiedi.

Il numero totale di triangoli generati dal software è pari a 514933 ognuno dei quali presenta un valore di quota univoco determinato sulla base della triangolazione dei punti del modello.

Al dominio di calcolo sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di output:* in corrispondenza dell'estremità Sud-Est della maglia di calcolo (lato mare) si è assunta come condizione la profondità di moto uniforme (*"Normal Depth"*).
- *Condizioni generali della maglia:* nei restanti tratti del dominio di calcolo non interessati dalle condizioni di Input e di Output si è assunta, a favore di sicurezza, la condizione al contorno di *"Vertical Wall"* che corrisponde all'inserimento di una barriera verticale impermeabile infinitamente alta che non lascia uscire l'acqua dal dominio di calcolo qualora in simulazione si verificasse presenza d'acqua al suo perimetro.

Modello 1D

I profili di rigurgito dei due corsi d'acqua sono stati integrati per entrambe le condizioni di corrente lenta da valle verso monte e di corrente veloce da monte verso valle imponendo al dominio di calcolo 1D le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di input:* sono costituite dagli idrogrammi di piena calcolati con la metodologia riportata nei paragrafi precedenti.
- *Condizioni di output:* in corrispondenza della sezione di valle è stata imposta la quota del medio mare.

In coerenza con i valori di riferimento indicati nelle Norme di Attuazione del Piano di Bacino la verifica è stata effettuata con il seguente valore del coefficiente di scabrezza di Manning:

$n=0.03$ per tutto il tratto analizzato, corrispondente a corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo.

Ai fini della simulazione idraulica, sono stati adottati i seguenti parametri:

- Passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo (*Timestep*) pari a 1 s.
- *Durata della simulazione* pari a 300 minuti corrispondente a circa 3 volte il tempo di picco dell'idrogramma in input.

Il modello di calcolo adottato nel presente studio è coerente con quello utilizzato per la mappatura delle aree inondabili e per la determinazione dei tiranti e delle velocità di scorrimento riportati nel vigente Piano di Bacino del torrente Quiliano.

5.4 IDROGRAMMI DI PIENA

Il confronto tra gli idrogrammi di piena relativi alle due configurazioni Q_{max} e V_{max} riportato al capitolo 4, mostra come essi risultino con portata di picco inferiore per la configurazione V_{max} e volumi sottesi tra la portata di soglia e la portata di picco maggiori nel caso di V_{max} .

I risultati delle simulazioni con tali parametri hanno mostrato come le aree inonadabili per tali configurazioni risultino pressoché identiche senza apprezzabili variazioni.

Le simulazioni che seguono sono state, pertanto, effettuate per la sola configurazione Q_{max} , che comporta valori maggiori, anche se di poco, delle portate di esondazione e quindi valori maggiori dei tiranti e delle velocità di scorrimento nelle aree inondate.

5.5 CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

Le verifiche e le modellazioni idrauliche sono state effettuate nella configurazione di stato attuale per le portate 50-ennale e 200-ennale.

Si allegano i risultati delle simulazioni per la sola configurazione Q_{max} , che comporta valori maggiori delle portate di esondazione e quindi valori maggiori dei tiranti e delle velocità di scorrimento nelle aree inondate rispetto a quelle V_{max} .

5.6 RISULTATI

Gli allegati mostrano le mappature ricavate dal modello bidimensionale in termini di tiranti e velocità per le portate di piena aventi tempi di ritorno 50-ennale e 200-ennale per la configurazione Q_{max} .

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche idrauliche 1D-2D con particolare riferimento alla capacità di deflusso dell'alveo inciso e alla propagazione delle portate esondate nelle aree adiacenti.

I risultati sono presentati separatamente per i tre rami Quiliano valle, Quiliano monte e Quazzola.

5.6.1 Alveo inciso

Quiliano valle

Il tratto si sviluppa dalla confluenza con il torrente Quazzola sino allo sbocco a mare, per una lunghezza di circa 2500 m.

La portata massima smaltibile senza esondazioni è pari a circa 200 m³/s, pari a circa un terzo della portata 50-ennale.

La portata 50-ennale presenta un tratto in cui il profilo risulta maggiore della sommità arginale dando luogo ad esondazione:

- tratto in sponda sinistra a monte del ponte della strada di scorrimento veloce.

La portata 200-ennale risulta superiore alle sommità arginali per i tratti seguenti:

- tratto in sponda sinistra a monte del ponte della strada di scorrimento veloce;
- tratto in sponda sinistra a monte della passerella pedonale ubicata circa 1.8 km a monte dello sbocco a mare.

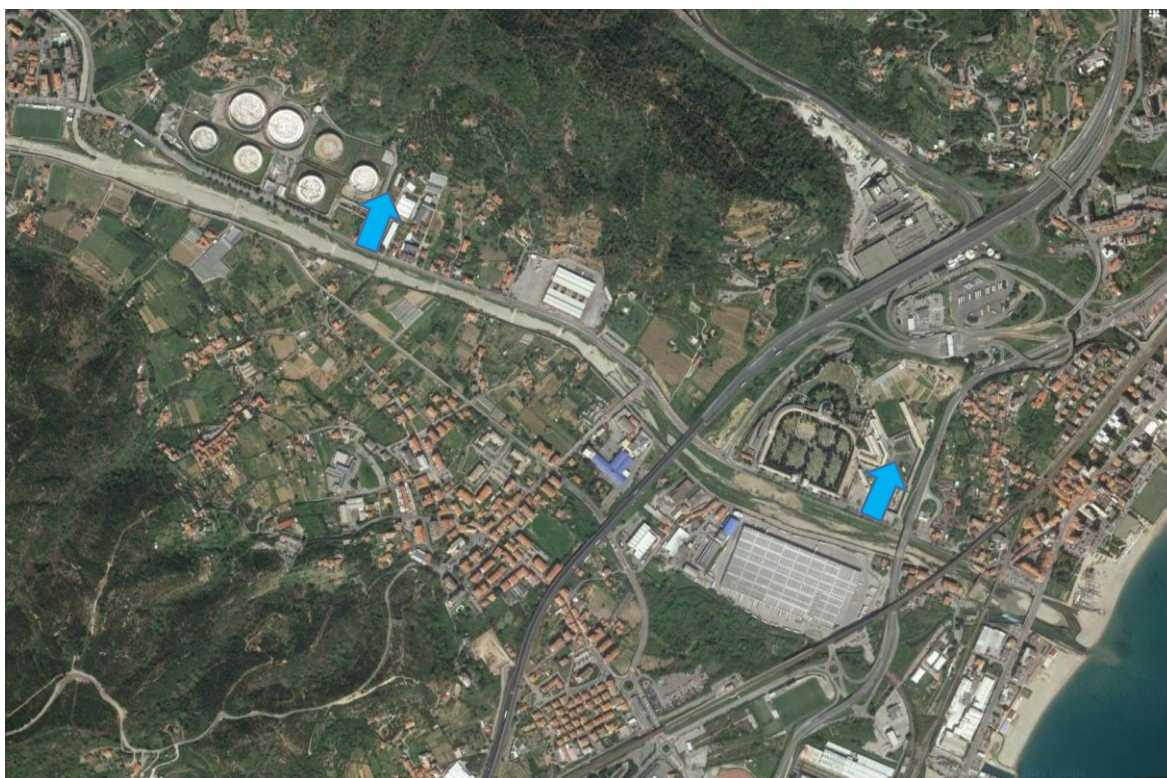


Figura 5.2 – Punti esondazione Quiliano-valle

Quiliano monte

Il tratto si sviluppa dalla confluenza con il torrente Quazzola sino al ponte di via XXV Aprile incrocio via Dodino, per una lunghezza di circa 1600 m.

La portata massima smaltibile senza esondazioni è pari a circa 200 m³/s, pari a circa la metà della portata 50-ennale.

La portata 50-ennale presenta un tratto sia in sponda sinistra sia in sponda destra in cui il profilo risulta maggiore della sommità arginale dando luogo ad esondazione, in corrispondenza e a monte della passerella pedonale di collegamento tra Via Roma e Via XXV Aprile.

La portata 200-ennale risulta superiore alle sommità arginali su entrambe le sponde per il tratto compreso tra il ponte di collegamento tra via Peluffo e via XXV Aprile e la passerella pedonale, della lunghezza di oltre 470 m.



Figura 5.3: Punti esondazione Quiliano-monte

Quazzola

Riguarda un tratto del torrente Quazzola della lunghezza di circa 1800 m a monte della confluenza nel torrente Quiliano.

La portata massima smaltibile senza esondazioni è pari a circa 120 m³/s, inferiore alla portata 50-ennale.

La portata 50-ennale esonda in un unico tratto in sponda destra a monte del ponte di via Roma.

La portata 200-ennale presenta tre tratti in cui il profilo risulta maggiore della sommità arginale dando luogo ad esondazione:

- tratto in corrispondenza della confluenza con il Quiliano in sponda destra;
- tratto a monte del ponte di Via Roma sia in sponda destra sia in sponda sinistra;
- tratto a monte della passerella pedonale tra Via Tecci e Via Quazzola in sponda destra.

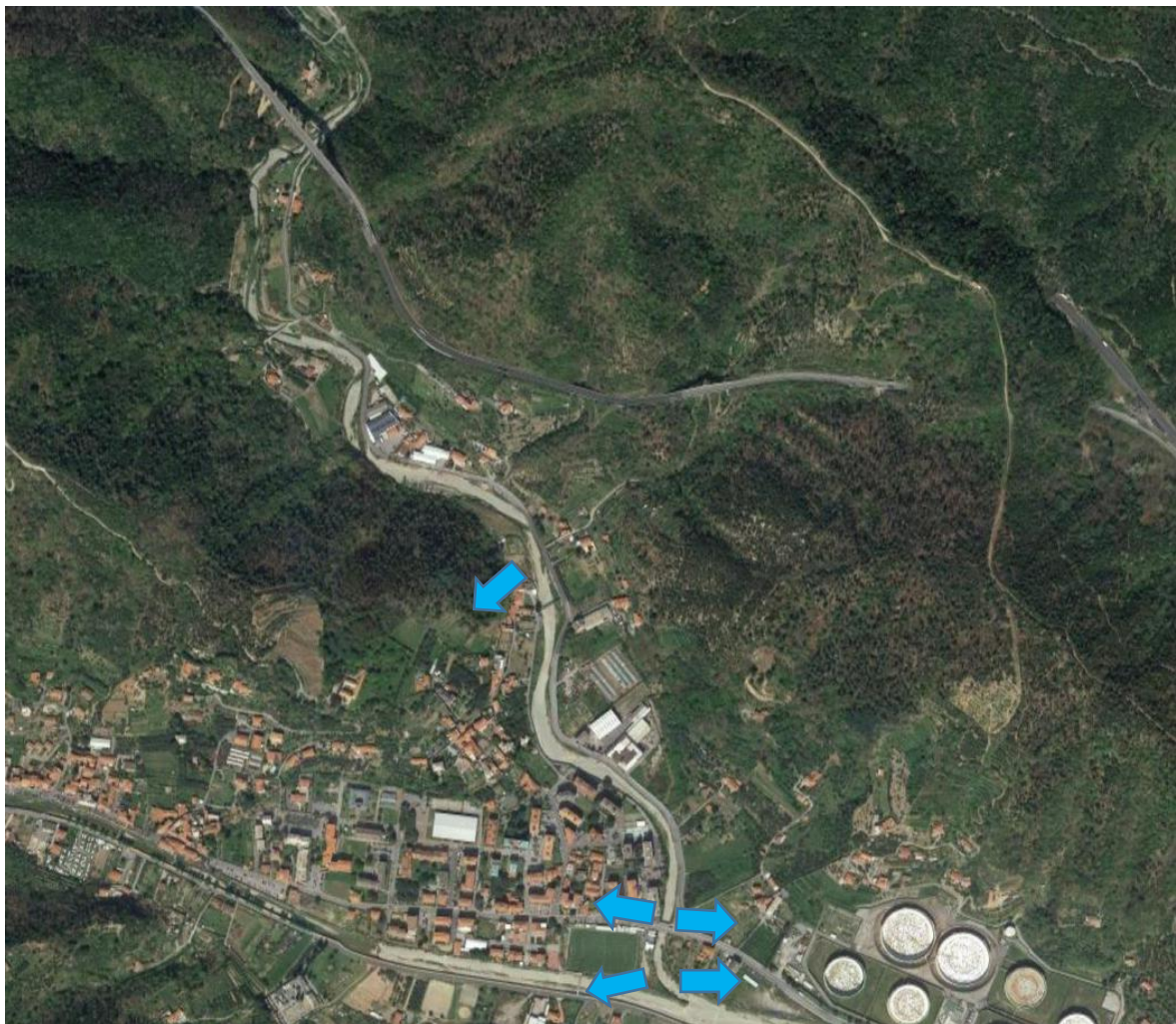


Figura 5.4: Punti esondazione Quazzola

5.6.2 Propagazione volumi di esondazione

Quiliano valle

I volumi esondati si propagano dai punti di esondazione attraverso le linee di flusso costituite dalla viabilità principale con direzione prevalente da monte verso valle.

In corrispondenza della confluenza con il torrente Quazzola le aree adiacenti su entrambe le sponde ricevono il contributo delle portate di esondazione del tratto a monte, che si incanalano lungo Via XXV Aprile in sponda destra e lungo Via Savona in sponda sinistra.

Entrambe le viabilità costituiscono una via preferenziale di deflusso con portate via via crescenti verso valle per effetto dei contributi dovuti all'esondazione lungo i tratti di valle.

A valle della linea ferroviaria i volumi esondati si propagano per un tratto significativo sulla sponda destra lungo la SS n.1 Aurelia.

Nella figura seguente sono evidenziate su ortofoto le principali linee di propagazione delle portate esondate lungo il tratto di valle del torrente Quiliano.

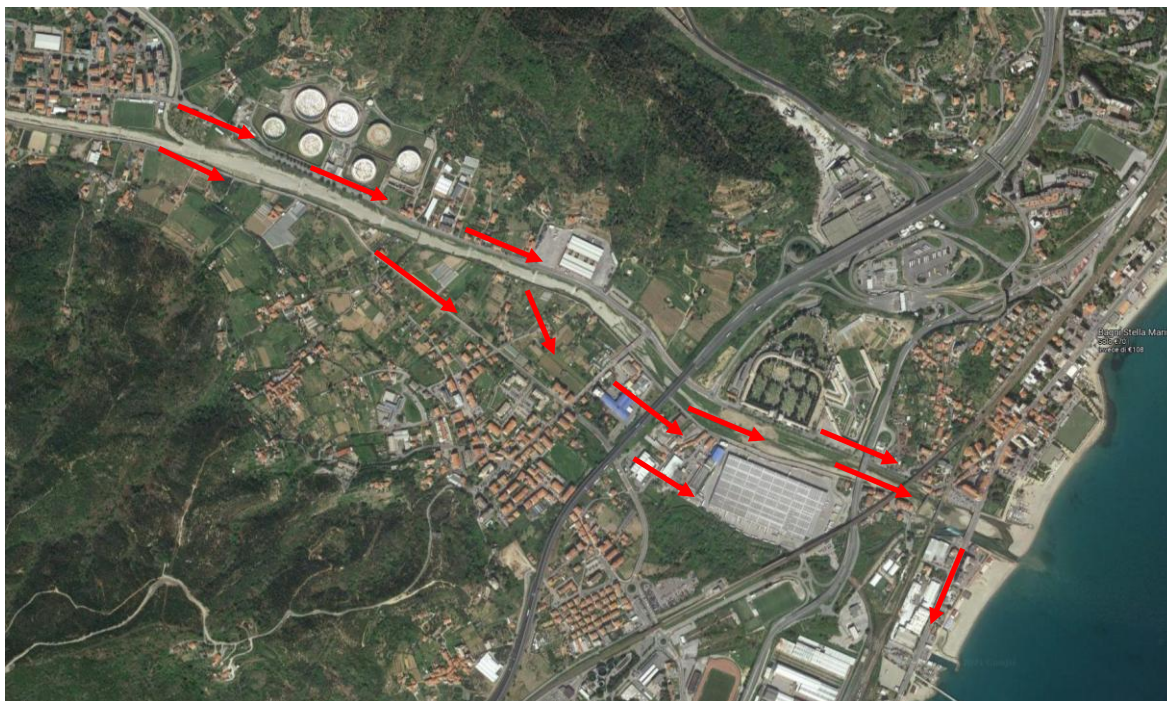


Figura 5.5: propagazione esondazione Quiliano valle

Il modello di allagamento evidenzia che la portata 50-ennale esonda unicamente nel tratto in sponda sinistra a cavallo della strada di scorrimento veloce, per una lunghezza

di circa 200 m, i tiranti risultano modesti lungo Via Quiliano, con velocità dell'ordine di 1 m/s.

Per l'evento 200-ennale risultano tiranti superiori a 1.0 m lungo la viabilità in sponda sinistra (Via Savona) e inferiori a 0.5 m nelle aree adiacenti, con velocità inferiori a 1.0 m/s. Lungo la sponda destra risultano tiranti dell'ordine di 0.5 m con velocità compresa tra 1.0 m/s e 1.5 m/s.

A valle dell'autostrada A10 risultano su entrambe le sponde tiranti superiori a 1.5 m con velocità comunque inferiori a 1.0 m/s.

Quiliano monte

Anche in questo caso i volumi esondati si propagano lungo la viabilità principale che si sviluppa lungo le due sponde del corso d'acqua.

In particolare nella parte di monte le portate esondate si incanalano lungo Via Emilio Parodi in sponda destra e lungo Via Giuseppe Dodino in sponda sinistra.

Più a valle le vie preferenziali di flusso sono costituite da Via XXV Aprile in destra e Via don Peluffo in sinistra.

Lungo la sponda sinistra in prossimità della confluenza con il Quazzola i volumi si espandono al centro abitato attraverso le vie che si sviluppano in direzione perpendicolare alla viabilità principale (in particolare Via Traversa Ajdovscina e Via Giardino).

Nella figura seguente sono evidenziate su ortofoto le principali linee di propagazione delle portate esondate lungo il tratto di monte del torrente Quiliano.



Figura 5.6: propagazione esondazione Quiliano monte

Il modello di allagamento evidenzia per l'evento 50-ennale tiranti superiori a 1 m lungo la viabilità in sponda sinistra ed in particolare lungo Via Don Peluffo, con velocità dell'ordine di 1 m/s.

Lungo la sponda destra risultano tiranti variabili fino ad un massimo di 1.5 m all'altezza del cimitero di Quiliano, con velocità massime fino a 1.5 m/s. La piena 50-ennale si arresta in corrispondenza del cimitero di Quiliano e non defluisce ulteriormente verso valle per la presenza di un rio recentemente sistemato.

Per l'evento 200-ennale risultano tiranti da 1.5 a 2.0 m lungo la viabilità in sponda sinistra (Via Don Peluffo), con velocità dell'ordine di 1 m/s.

Lungo la sponda destra risultano tiranti variabili con un massimo di 3 m all'altezza del cimitero di Quiliano con velocità localmente superiori anche a 2 m/s.

Quazzola

I volumi esondati si propagano anche in questo caso lungo la viabilità principale e secondaria su entrambe le sponde, con interessamento del centro abitato in prossimità della confluenza con il Quiliano.

Nella figura seguente sono evidenziate su una ortofoto le principali linee di propagazione delle portate esondate lungo il tratto del torrente Quazzola a monte della confluenza con Quiliano.



Figura 5.7: propagazione esondazione Quazzola

Il modello di allagamento evidenzia per l'evento 50-ennale tiranti tra 0.5 m e 1.0 m lungo la sponda destra, con valori maggiori (tra 1.0 m e 1.5 m) sull'area occupata dal campo sportivo; non risulta esondazione in sponda sinistra.

Per l'evento 200-ennale risultano tiranti da sempre tra 0.5 a 1.0 m lungo la sponda destra, con maggiore estensione rispetto all'evento 50-ennale, con valori superiori a 2.0 m in corrispondenza del campo sportivo; in sponda sinistra risultano tiranti dell'ordine di 0.3 m o inferiori.

Le velocità risultano ovunque inferiori a 1.0 m/s.

Nell'Allegato B sono riportate le mappature dei tiranti e delle velocità massime per gli eventi di piena 50-ennale e 200-ennale.

6 RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE INONDABILI

Sulla base delle verifiche e delle analisi riportate ai paragrafi precedenti, è stata redatta una nuova mappatura delle aree inondabili per il tratto terminale del torrente Quiliano e del torrente Quazzola secondo i criteri dell'Allegato 3 al Piano di Gestione e Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Settentrionale e del Regolamento Regionale n. 1/2025.

La mappatura proposta fa riferimento alla condizione Q_{max} , più cautelativa rispetto alla condizione V_{max} per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

I risultati mostrano alcune differenze rispetto alla mappatura del PdB vigente ed in particolare:

- le aree inondabili per l'evento 50-ennale risultano minori nel tratto di monte del torrente Quiliano, dal momento che la portata 50-ennale si arresta in corrispondenza del cimitero di Quiliano, risultano sostanzialmente coincidenti in sponda sinistra e minori in sponda destra nel tratto terminale tra la linea ferroviaria e lo sbocco a mare, mentre non risultano aree inondabili 50-ennali in sponda sinistra nel tratto compreso tra la confluenza e l'autostrada A10;
- le aree inondabili per l'evento 200-ennale risultano sostanzialmente coincidenti con quelle del PdB, con una maggiore estensione in sponda destra nel tratto a valle della autostrada A10;
- sul torrente Quazzola sono simili le aree inondabili nel tratto terminale urbanizzato, mentre risulta una fascia in sponda destra interessata da esondazione per evento 200-ennale nel tratto a monte e non risultano aree inondabili per evento 50-ennale in sponda sinistra.

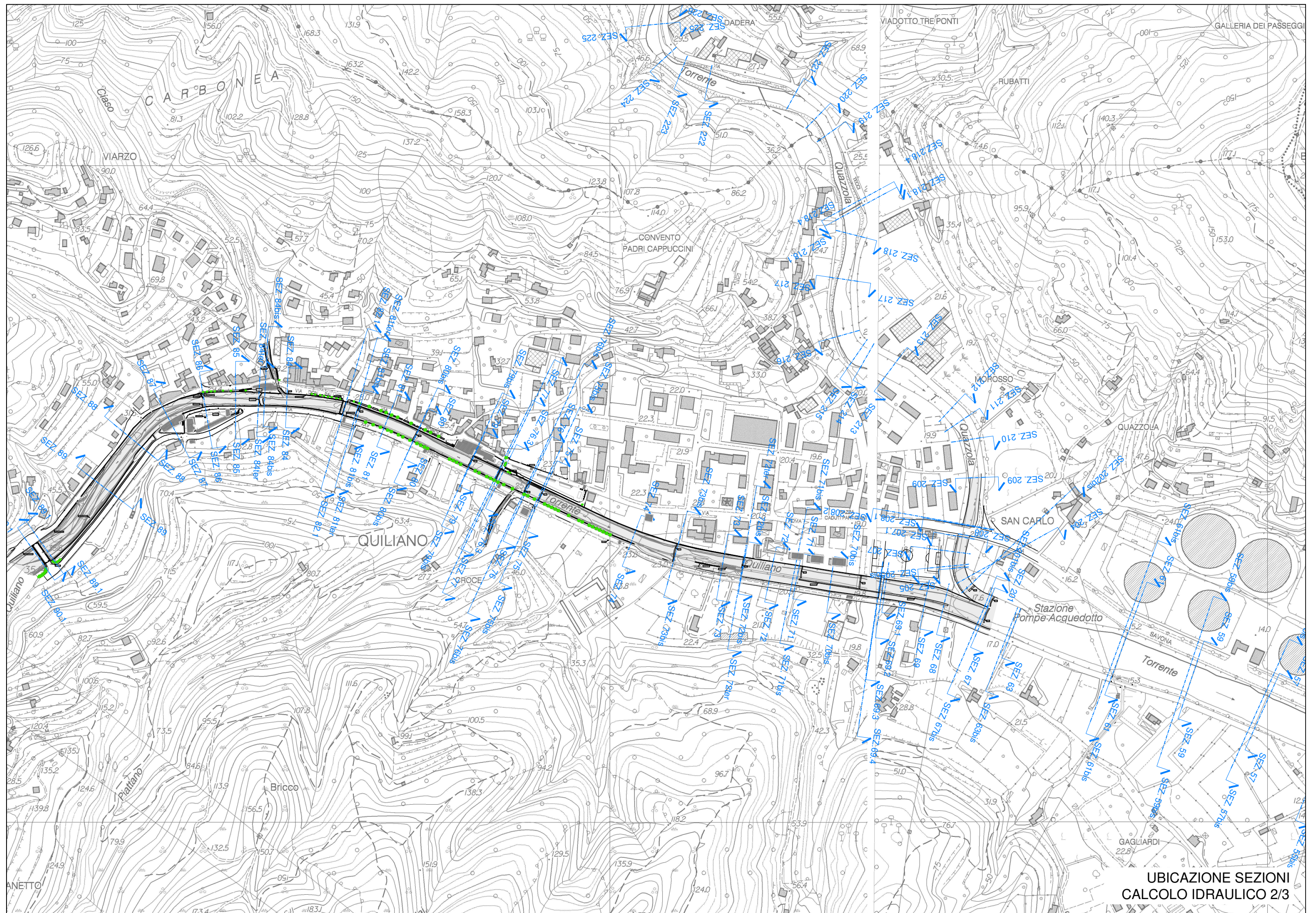
Nelle Tavole IDR-001, IDR-002, IDR-003 è riportata la mappatura delle aree inondabili su C.T.R. in scala 1:5000 per tutti i tratti esaminati.

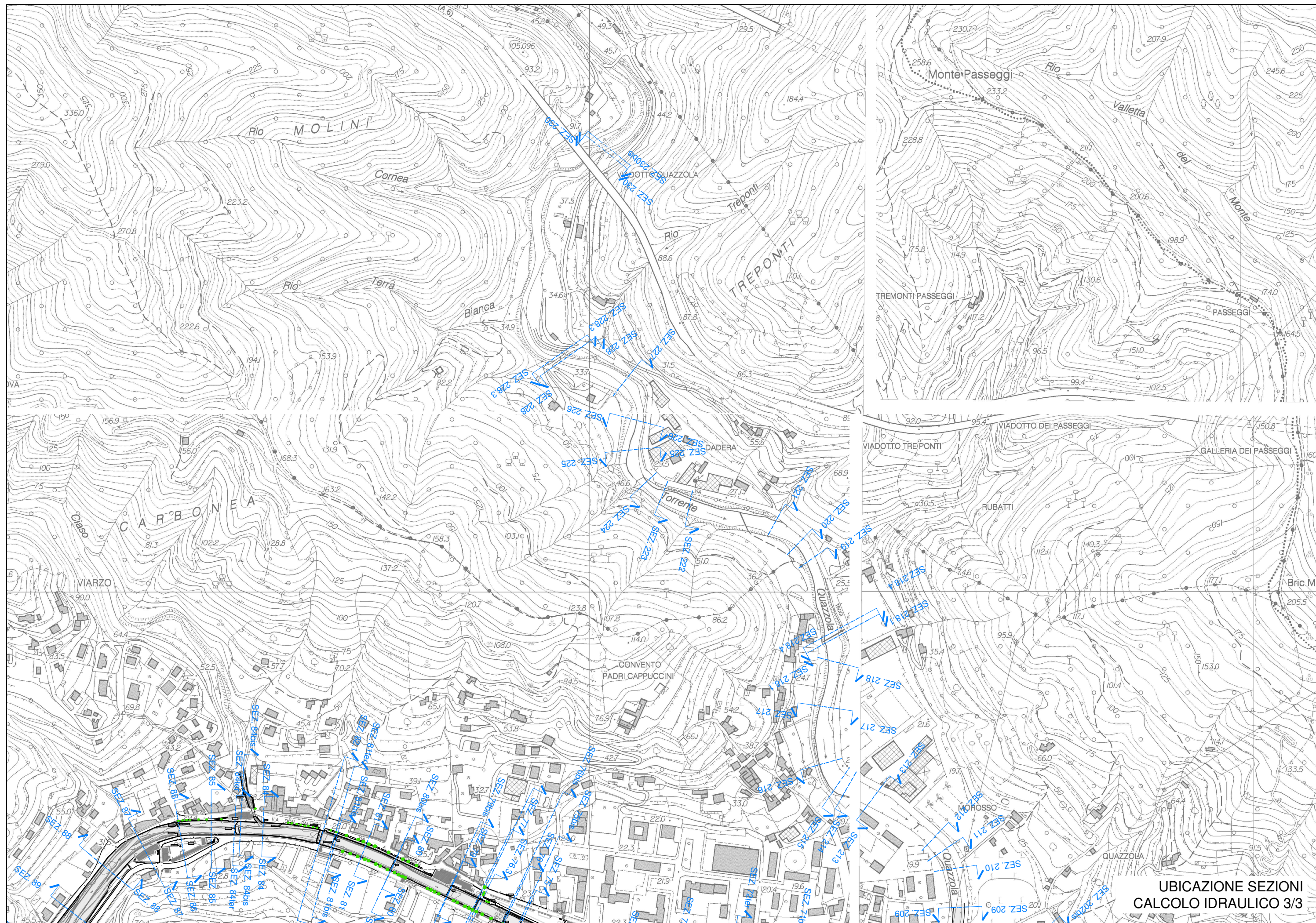
ALLEGATO A

Grandezze idrauliche in alveo



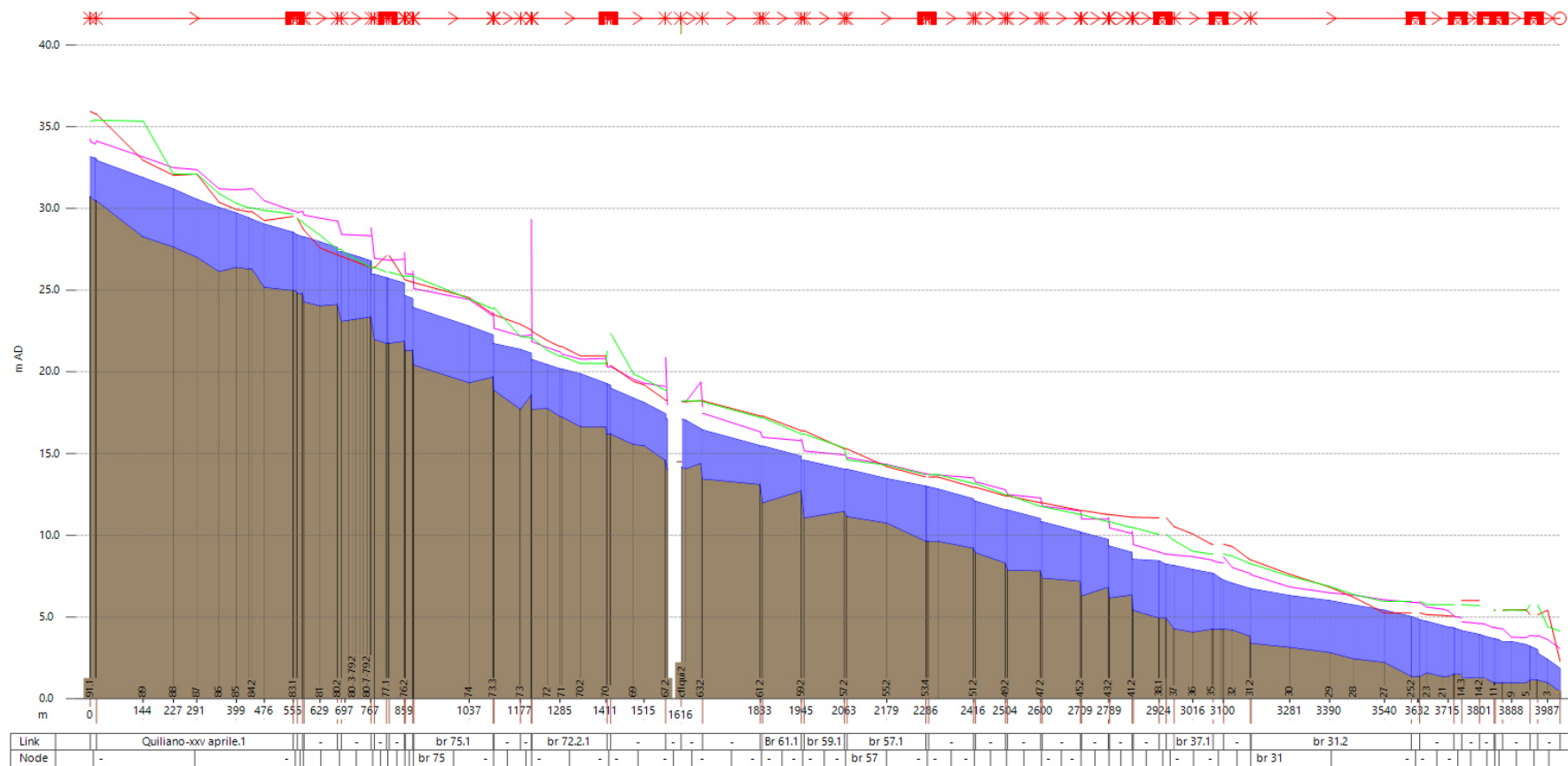
UBICAZIONE SEZIONI
CALCOLO IDRAULICO 1/3



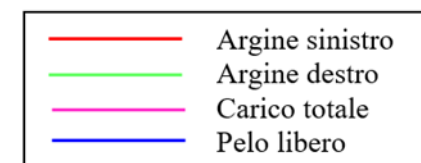


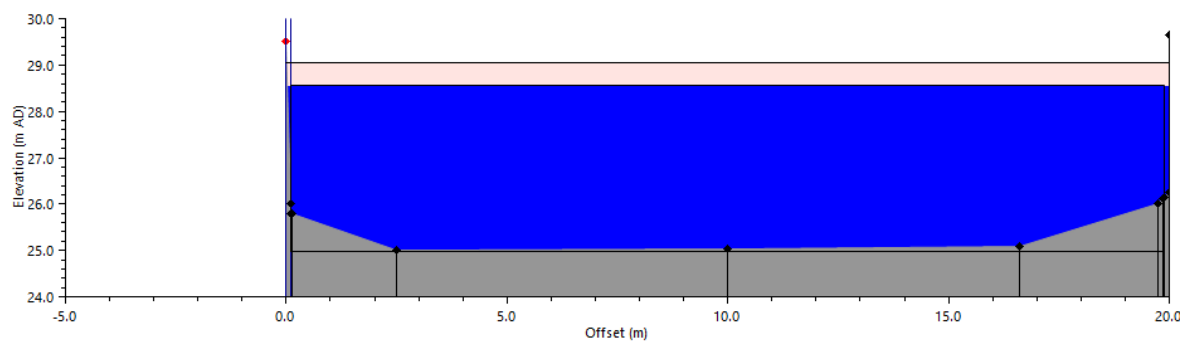
UBICAZIONE SEZIONI
CALCOLO IDRAULICO 3/3

Torrente Quiliano T = 50 anni

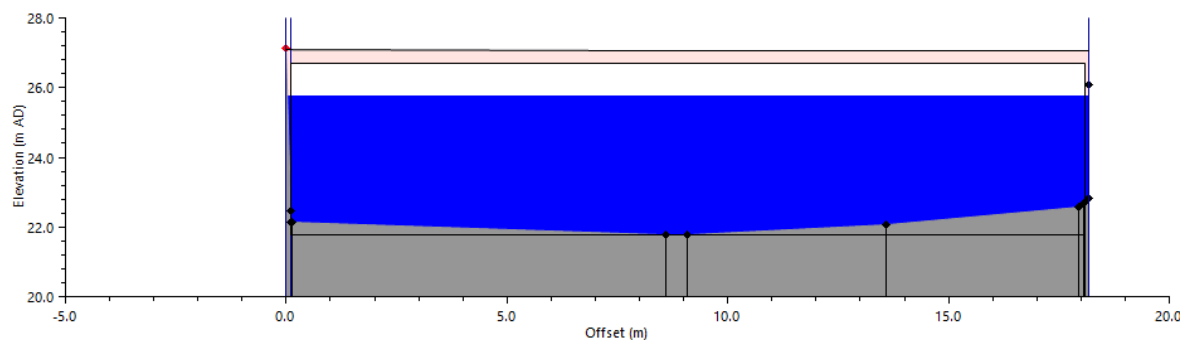


Profilo – T50

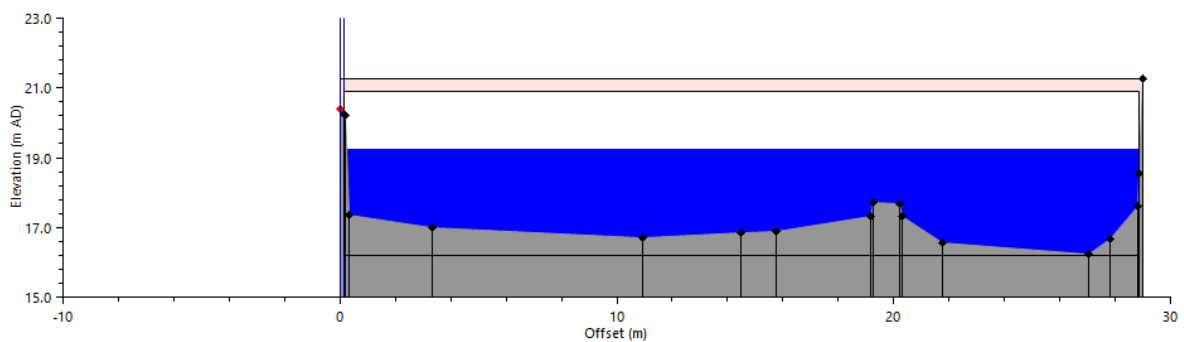




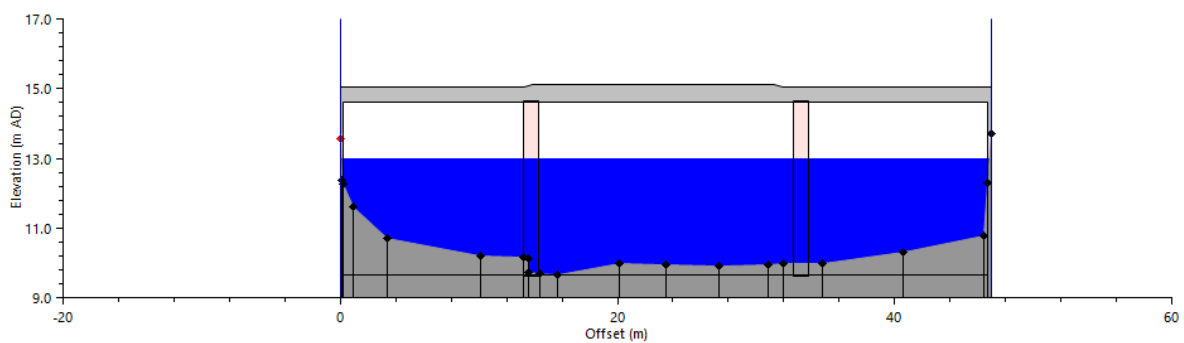
Ponte "Bayle" sez. 82.21



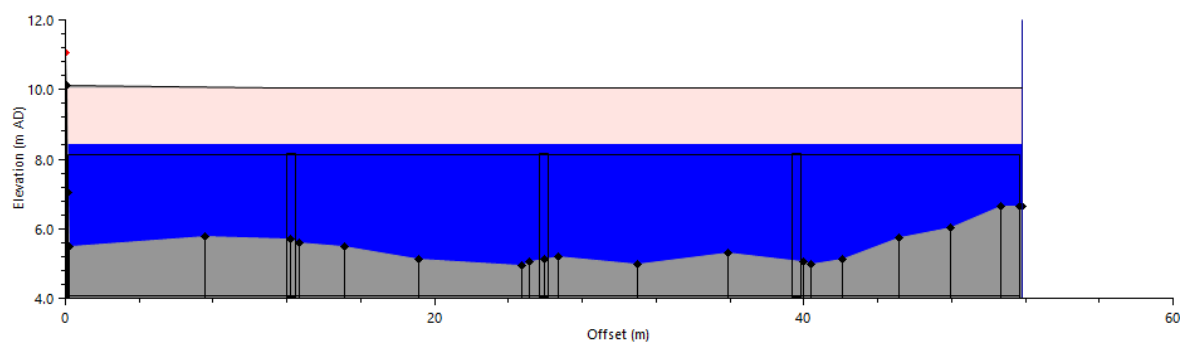
Passerella pedonale – sez. 76.5



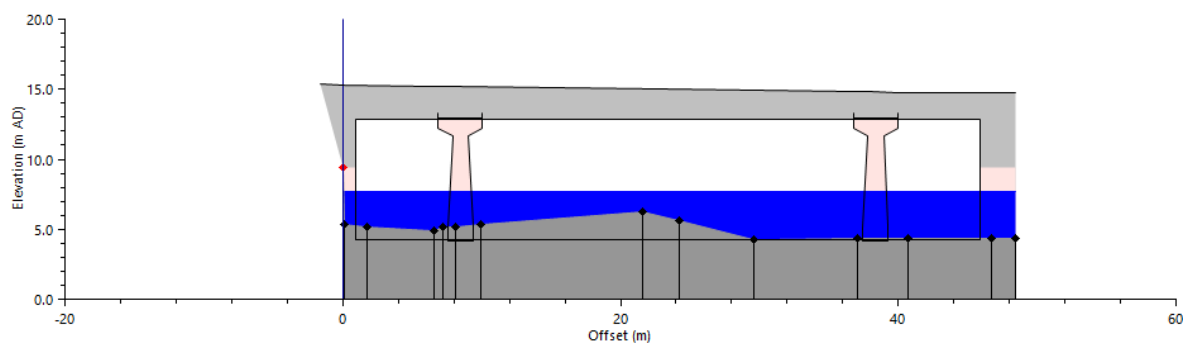
Passerella pedonale campo sportivo – sez. 69.21



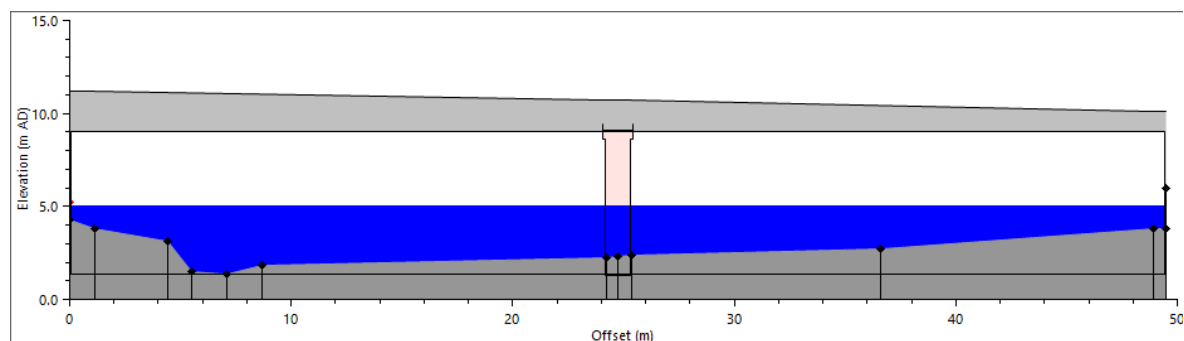
Passerella vivaio sez. 53.25



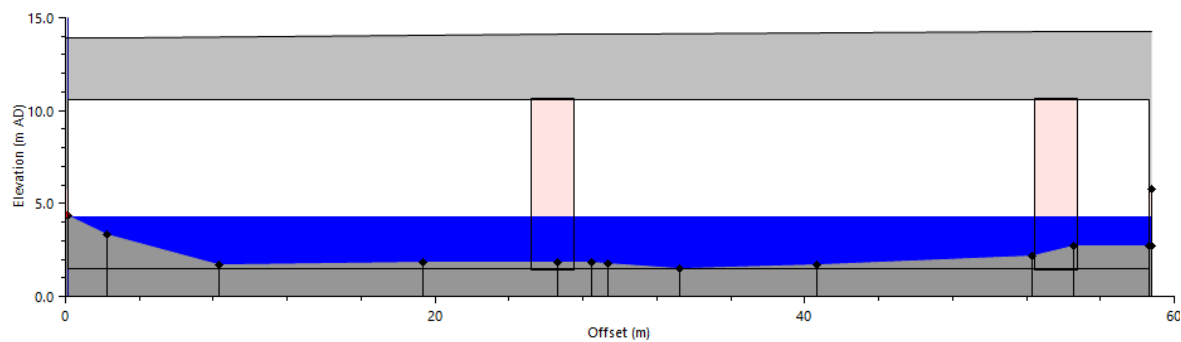
Ponte via San Pietro – sez. 37.3



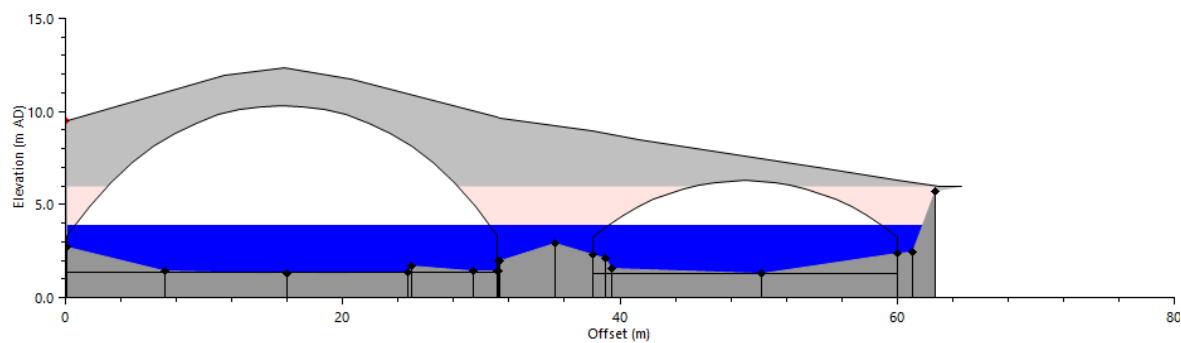
Ponte autostrada – sez. 32.25



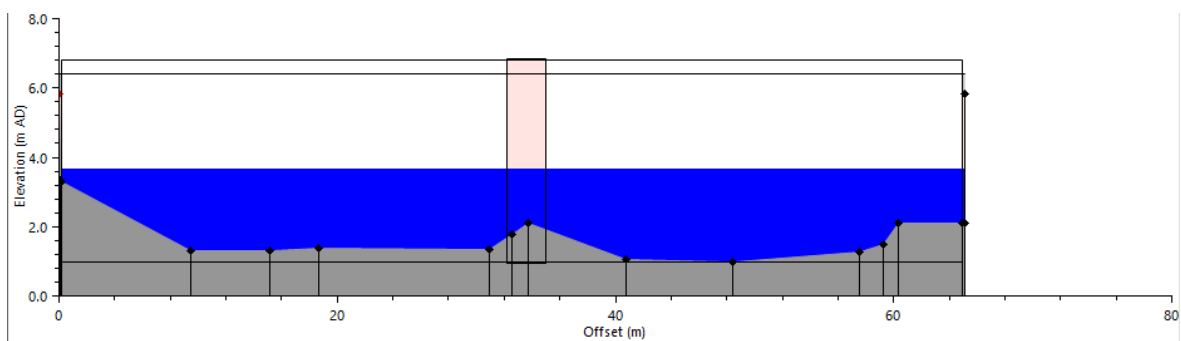
Ponte superstrada - sez. 25.05



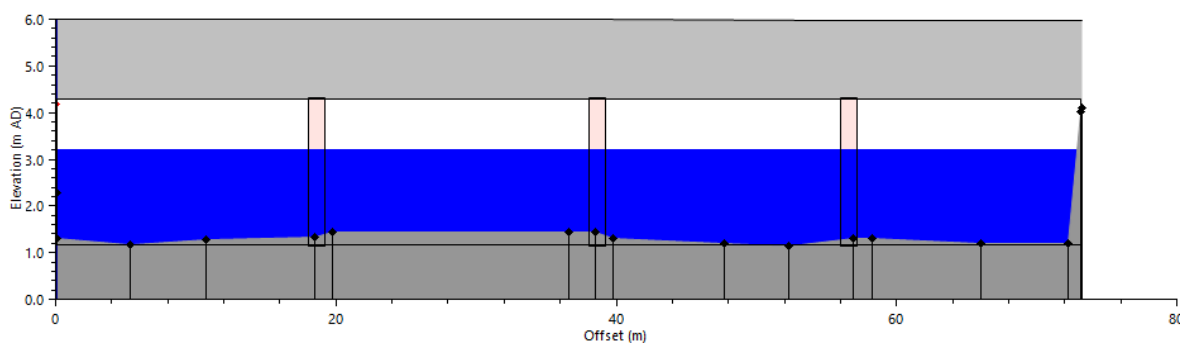
Ponte FS – sez. 14.45



Ponte saraceno – sez. 14.05



Ponte FS – sez. 9.21



Ponte Aurelia – sez. 3.21

QUILIANO

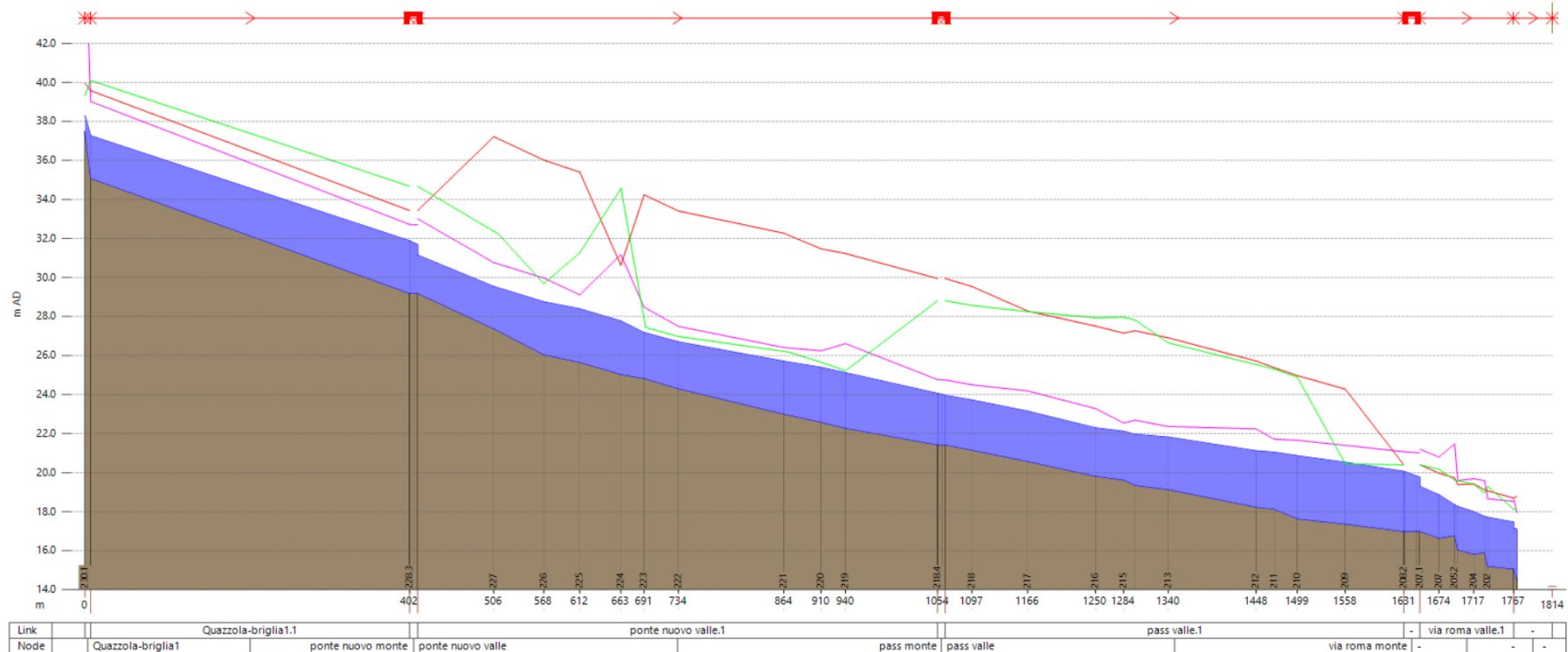
T=50 anni

Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m3/s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	91.1	30.708	2.45	340.0	1.06	4.66	34.3
1	91.0	30.708	2.44	340.0	1.14	4.28	34.1
13	90.00	30.475	2.60	340.0	0.96	4.14	33.9
17	89.10	30.475	2.57	340.0	1.00	4.57	34.1
17	89.10	30.475	2.46	340.0	1.20	4.84	34.1
144	89.00	28.277	3.61	340.0	1.09	4.98	33.1
227	88.00	27.653	3.53	340.0	1.11	5.07	32.5
291	87.00	27.03	3.52	340.0	1.33	5.98	32.4
352	86.00	26.152	3.90	340.0	0.81	4.74	31.2
399	85.00	26.414	3.31	340.0	0.99	5.28	31.1
434	84.30	26.301	3.12	340.0	1.23	5.89	31.2
443	84.20	26.301	3.02	340.0	1.62	6.09	31.2
476	84.00	25.185	3.85	340.0	0.91	5.31	30.5
555	83.10	24.992	3.54	340.0	0.90	5.08	29.8
566	82.00	24.808	3.56	340.0	0.92	5.16	29.7
581	81.30	24.811	3.45	340.0	1.00	5.55	29.8
581	81.30	24.811	3.45	340.0	2.90	5.55	29.8
585	81.20	24.292	3.96	340.0	0.88	5.12	29.6
585	81.20	24.292	3.96	340.0	0.88	5.12	29.6
629	81.00	24.051	3.90	338.8	0.91	5.34	29.4
676	80.20	24.142	3.46	330.3	1.00	5.64	29.2
676	80.20	24.142	3.18	330.3	2.44	6.15	29.3
687	80-0-79.2	23.104	4.25	329.6	0.73	4.57	28.4
687	80-0-79.2	23.104	4.25	329.6	0.73	4.57	28.4
697	80-1-79.2	23.137	4.15	328.5	0.76	4.68	28.4
707	80-2-79.2	23.171	4.05	327.2	0.79	4.79	28.4
717	80-3-79.2	23.205	3.95	325.6	0.82	4.91	28.4
727	80-4-79.2	23.239	3.84	323.8	0.85	5.02	28.4
737	80-5-79.2	23.272	3.74	321.6	0.89	5.14	28.4
747	80-6-79.2	23.306	3.63	319.1	0.92	5.25	28.3
757	80-7-79.2	23.34	3.53	316.3	0.96	5.37	28.3
767	80-8-79.2	23.374	3.42	313.2	0.99	5.49	28.3
768	79.20	23.377	3.41	312.8	1.00	5.51	28.3
768	79.200	23.377	2.58	312.8	3.92	8.46	28.8
777	78.000	22	3.97	312.8	0.71	4.39	26.9
777	78.000	22	3.97	312.8	0.71	4.39	26.9
810	77.100	21.761	4.00	312.8	0.77	4.64	26.9
818	76.30	21.761	3.93	312.8	0.79	4.72	26.8
859	76.20	21.889	3.53	312.8	1.00	5.38	26.9
859	76.20	21.889	2.79	312.8	5.42	8.84	27.3
862	76.00	21.317	3.33	312.8	0.94	5.18	26.0
862	76.00	21.317	3.33	312.8	0.94	5.18	26.0
882	75.20	21.321	3.16	312.8	1.00	5.39	26.0
882	75.20	21.321	2.60	312.8	8.45	7.72	26.2
885	75.00	20.433	3.48	312.8	0.84	4.80	25.1
885	75.00	20.433	3.48	312.8	0.84	4.80	25.1
1037	74.00	19.348	3.45	312.8	1.08	5.66	24.4

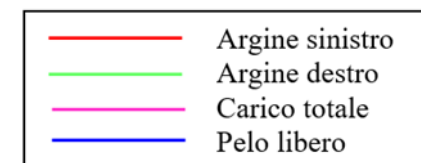
1102	73.30	19.705	2.55	312.8	1.00	4.77	23.4
1102	73.30	19.705	2.03	312.8	6.44	7.93	23.7
1105	73.20	18.882	2.84	312.8	1.27	4.31	22.7
1105	73.20	18.882	2.84	312.8	1.27	4.31	22.7
1177	73.00	17.725	3.64	312.8	0.80	4.03	22.2
1177	73.00	17.725	3.64	312.8	0.80	4.03	22.2
1207	72.30	18.615	2.52	312.8	1.00	4.68	22.3
1207	72.30	18.615	2.15	312.8	17.63	14.42	29.3
1208	72.20	17.736	3.01	312.8	0.98	4.64	21.8
1208	72.20	17.736	3.01	312.8	0.98	4.64	21.8
1251	72.00	17.773	2.66	312.8	0.95	4.54	21.5
1285	71.20	17.293	2.90	312.8	2.27	4.51	21.2
1290	71.00	17.254	2.91	312.8	0.87	4.27	21.1
1342	70.20	16.656	3.21	312.8	0.85	4.21	20.8
1411	70.00	16.656	2.64	312.8	2.68	5.47	20.8
1414	69.40	16.213	3.05	312.8	0.93	4.54	20.3
1423	69.10	16.213	2.79	312.8	1.11	5.10	20.3
1486	69.00	15.569	2.82	312.8	1.04	4.75	19.5
1515	68.00	15.506	2.62	312.8	1.08	4.82	19.3
1574	67.20	14.581	2.85	312.8	1.34	5.73	19.1
1574	67.20	14.581	2.58	312.8	5.11	10.26	20.9
1579	67.00	14.011	3.10	312.8	0.84	4.16	18.0
1619	cfl qui 2	14.163	2.95	501.1	0.97	4.65	18.2
1630	CL V	14.084	2.95	501.1	0.99	4.74	18.2
1670	63.20	14.42	2.10	501.1	4.00	7.50	19.4
1675	63.00	13.466	2.98	501.1	1.09	5.25	17.9
1675	63.00	13.466	2.98	501.1	0.91	4.50	17.5
1833	61.20	13.118	2.36	501.1	1.00	4.08	16.3
1833	61.20	13.118	2.31	501.1	3.30	5.10	16.3
1839	61.00	12	3.46	501.1	0.70	3.23	16.0
1839	61.00	12	3.46	501.1	0.70	3.23	16.0
1945	59.20	12.74	2.09	501.0	1.00	4.35	15.8
1945	59.20	12.74	1.81	501.0	5.99	6.05	15.9
1953	59.00	11.08	3.51	501.0	0.68	3.38	15.2
1953	59.00	11.08	3.51	501.0	0.68	3.35	15.2
2063	57.20	11.48	2.56	501.0	1.00	4.15	14.9
2063	57.20	11.48	2.56	501.0	1.76	4.15	14.9
2070	57.00	11.16	2.88	501.0	0.78	3.72	14.7
2070	57.00	11.16	2.88	501.0	0.78	3.72	14.7
2179	55.20	10.76	2.70	501.0	0.95	4.15	14.3
2286	53.40	9.65	3.35	500.9	0.74	3.85	13.8
2293	53.10	9.65	3.31	500.9	0.75	3.91	13.7
2319	53.00	9.65	3.17	500.9	0.82	4.13	13.7
2416	51.20	9.22	3.00	500.9	1.00	5.04	13.5
2416	51.20	9.22	2.89	500.9	2.29	5.26	13.5
2421	51.00	8.95	3.13	500.9	0.93	4.84	13.3
2421	51.00	8.95	3.13	500.9	0.93	4.84	13.3
2504	49.20	8.31	3.24	500.9	1.02	4.93	12.8
2504	49.20	8.31	3.24	500.9	2.19	4.93	12.8
2509	49.00	7.89	3.66	500.9	0.82	4.32	12.5
2509	49.00	7.89	3.66	500.9	0.82	4.32	12.5
2600	47.20	7.83	3.18	500.9	1.00	5.00	12.3
2600	47.20	7.83	2.99	500.9	3.28	5.40	12.3
2604	47.00	7.4	3.42	500.9	0.82	4.37	11.8
2604	47.00	7.4	3.42	500.9	0.82	4.37	11.8
2709	45.20	7.2	3.01	500.9	1.00	5.01	11.5
2709	45.20	7.2	2.90	500.9	4.39	5.37	11.5
2712	45.00	6.31	3.86	500.9	0.73	4.05	11.0
2712	45.00	6.31	3.86	500.9	0.73	4.05	11.0
2785	43.20	6.85	2.89	500.9	1.00	4.97	11.0
2785	43.20	6.85	2.50	500.9	5.57	5.86	11.1
2789	43.00	6.18	3.15	500.9	0.90	4.67	10.4
2789	43.00	6.18	3.15	500.9	0.90	4.67	10.4
2850	41.20	6.37	2.58	500.9	1.00	4.78	10.1

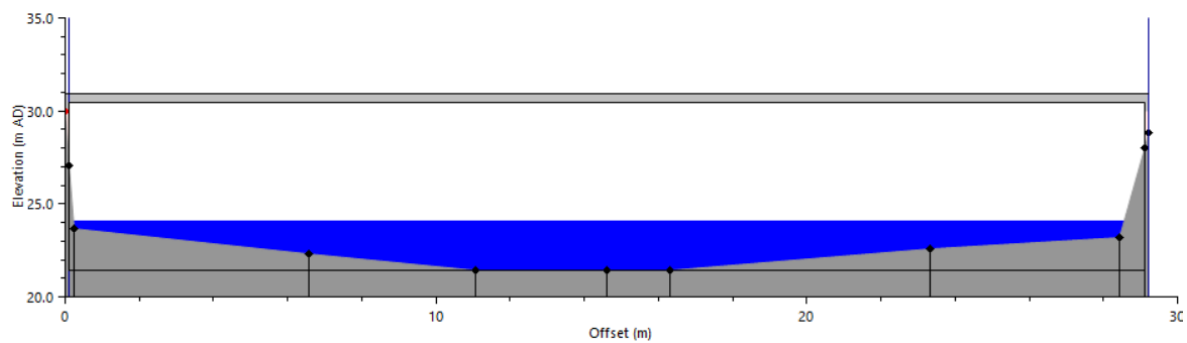
2850	41.20	6.37	2.16	500.9	6.95	6.51	10.3
2854	41.00	5.42	3.11	500.9	0.83	4.21	9.4
2854	41.00	5.42	3.11	500.9	0.83	4.21	9.4
2924	38.10	4.95	3.48	500.9	0.61	3.27	9.0
2943	37.10	4.95	3.28	500.9	1.34	3.50	8.9
2965	37.00	4.29	3.86	500.8	0.82	3.57	8.8
2965	37.00	4.29	3.86	500.8	0.82	3.57	8.8
3016	36.00	4.09	3.82	500.8	0.75	3.94	8.7
3068	35.00	4.27	3.41	500.8	0.79	3.98	8.5
3071	32.40	4.27	3.39	500.8	0.80	4.01	8.5
3100	32.10	4.27	2.98	500.8	1.18	5.29	8.7
3124	32.00	4.22	2.84	500.8	0.94	4.35	8.0
3173	31.20	3.84	2.90	500.8	1.01	4.26	7.7
3173	31.20	3.84	2.90	500.8	3.67	4.26	7.7
3176	31.00	3.41	3.32	500.8	0.94	4.09	7.6
3176	31.00	3.41	3.32	500.8	0.94	4.09	7.6
3281	30.00	3.16	3.15	500.8	0.71	3.23	6.8
3390	29.00	2.85	3.15	500.7	0.82	3.07	6.5
3455	28.00	2.46	3.27	500.7	0.75	3.48	6.3
3540	27.00	2.24	3.17	500.3	0.87	3.54	6.1
3614	25.20	1.38	3.64	499.6	0.86	4.18	5.9
3637	23.10	1.38	3.44	499.6	1.21	4.54	5.9
3657	23.00	1.6	3.13	499.6	0.85	4.15	5.6
3700	21.00	1.37	3.10	499.6	0.91	4.46	5.5
3715	20.00	1.39	2.99	499.6	0.92	4.43	5.4
3730	19.10	1.52	2.82	499.6	0.80	3.82	5.1
3752	14.30	1.29	2.87	499.6	0.67	3.28	4.7
3801	14.20	1.29	2.64	499.6	0.78	3.61	4.6
3840	11.00	0.99	2.69	499.6	0.81	3.72	4.4
3844	9.40	0.99	2.67	499.6	0.82	3.76	4.4
3864	9.10	0.99	2.48	499.6	0.91	3.99	4.3
3888	9.00	0.98	2.51	499.6	0.47	2.31	3.8
3929	5.00	1	2.31	499.6	0.64	2.97	3.8
3939	4.10	1.15	2.05	499.6	0.85	3.65	3.9
3960	3.10	1.15	1.63	499.6	1.22	4.64	3.9
3987	3.00	1	1.41	499.6	1.38	4.90	3.6
4021	2.00	0.44	1.42	499.6	1.39	4.87	3.1

Torrente Quazzola T = 50 anni

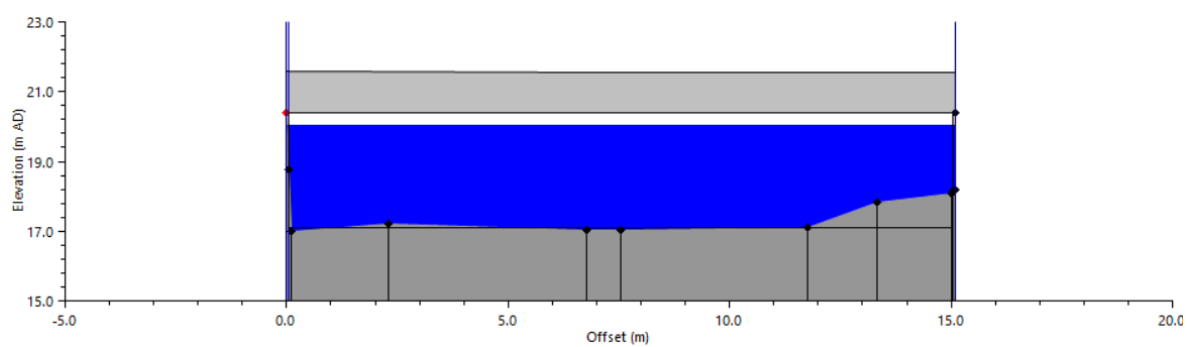


Profilo – T50





Passerella sez. 218.25



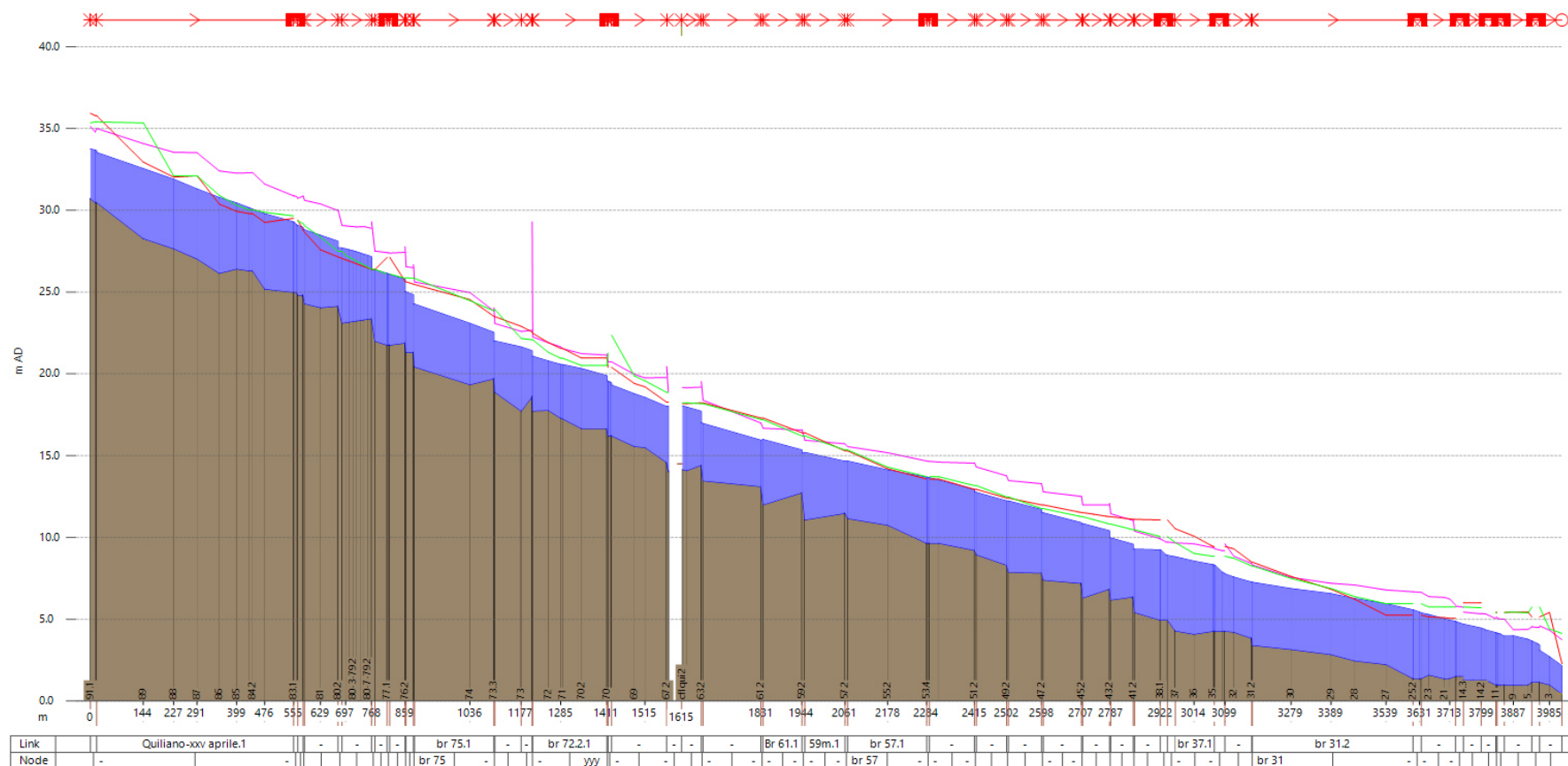
Ponte via Roma sez. 208.05

QUAZZOLA

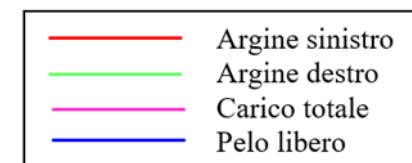
T=50 anni

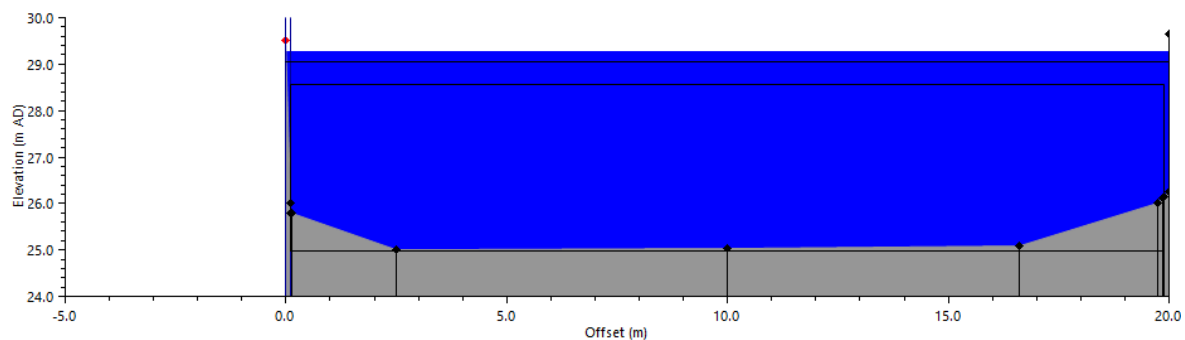
Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m ³ /s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	230.1	37.49	0.80	190.0	5.54	13.43	47.5
7	230.0	35.09	2.18	190.0	1.60	5.87	39.0
7	230.00	35.09	2.18	190.0	1.60	5.87	39.0
402	228.30	29.19	2.69	189.9	0.89	4.06	32.7
411	228.00	29.19	1.96	189.9	1.53	6.04	33.0
506	227.00	27.38	2.16	189.9	2.37	4.90	30.8
568	226.00	26.05	2.70	189.8	1.45	4.89	30.0
612	225.00	25.66	2.73	189.8	1.76	3.76	29.1
663	224.00	25.04	2.73	189.8	1.94	8.16	31.2
691	223.00	24.83	2.35	189.8	1.57	5.05	28.5
734	222.00	24.31	2.39	189.8	1.26	3.94	27.5
864	221.00	23.01	2.70	189.8	1.34	3.72	26.4
910	220.00	22.59	2.80	189.8	1.24	4.09	26.2
940	219.00	22.28	2.84	189.8	1.25	5.41	26.6
1054	218.40	21.43	2.63	189.7	0.89	3.72	24.8
1064	218.10	21.43	2.53	189.7	1.09	3.94	24.8
1097	218.00	21.16	2.56	189.7	1.10	3.91	24.5
1166	217.00	20.58	2.57	189.7	1.15	4.52	24.2
1250	216.00	19.82	2.47	189.7	1.27	4.42	23.3
1284	215.00	19.63	2.49	189.7	1.99	2.88	22.5
1299	214.00	19.35	2.61	189.6	1.05	3.77	22.7
1340	213.00	19.14	2.68	189.6	1.01	3.27	22.4
1448	212.00	18.24	2.88	189.6	0.96	4.69	22.2
1471	211.00	18.13	2.92	189.6	1.46	3.62	21.7
1499	210.00	17.64	3.23	189.6	0.93	3.94	21.7
1558	209.00	17.37	3.16	189.5	0.81	4.14	21.4
1631	208.20	16.99	3.07	189.5	0.85	4.45	21.1
1651	207.10	16.99	2.30	189.5	1.36	6.12	21.2
1674	207.00	16.65	2.21	189.5	1.46	6.16	20.8
1694	205.20	16.78	1.57	189.5	3.92	7.82	21.5
1698	205.00	16.04	2.22	189.5	1.14	5.11	19.6
1717	204.00	15.82	2.18	189.5	1.47	5.77	19.7
1731	202.20	15.92	1.83	189.5	3.65	6.14	19.6
1735	202.000	15.21	2.50	189.5	0.91	4.32	18.7
1767	201.200	15.06	2.40	189.5	1.00	4.56	18.5
1767	201.200	15.06	2.07	189.5	4.36	5.40	18.6
1771	201.000	14.5	2.61	189.5	0.85	4.05	17.9

Torrente Quiliano T = 200 anni

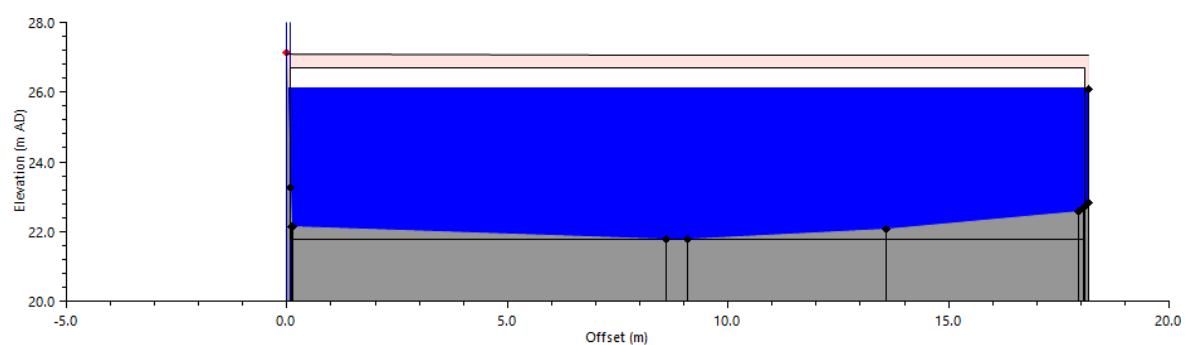


Profilo – T200

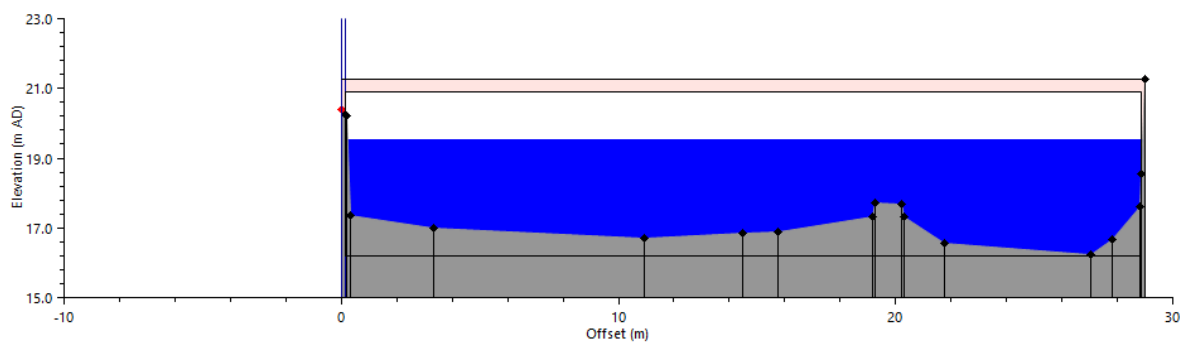




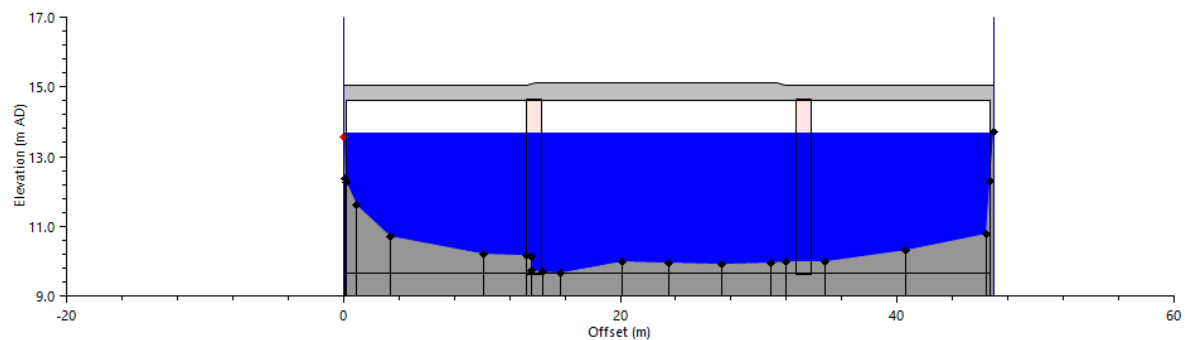
Ponte "Bayle" sez. 82.21



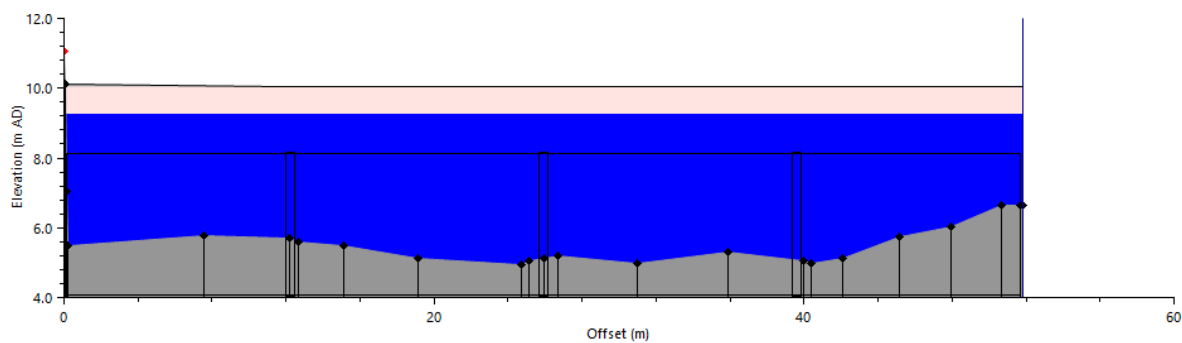
Passerella pedonale – sez. 76.5



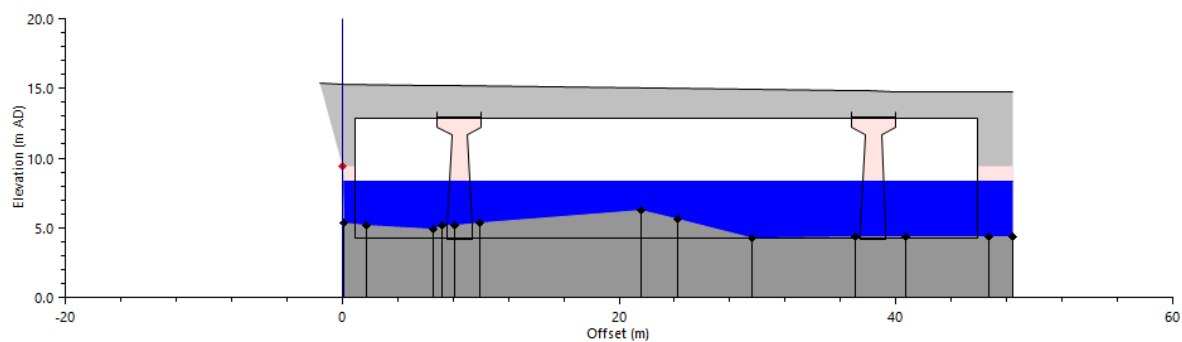
Passerella pedonale campo sportivo – sez. 69.21



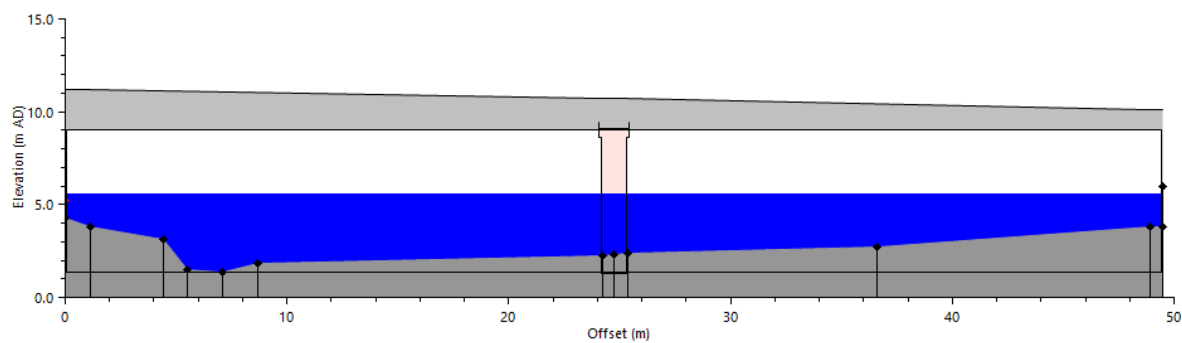
Passerella vivaio sez. 53.25



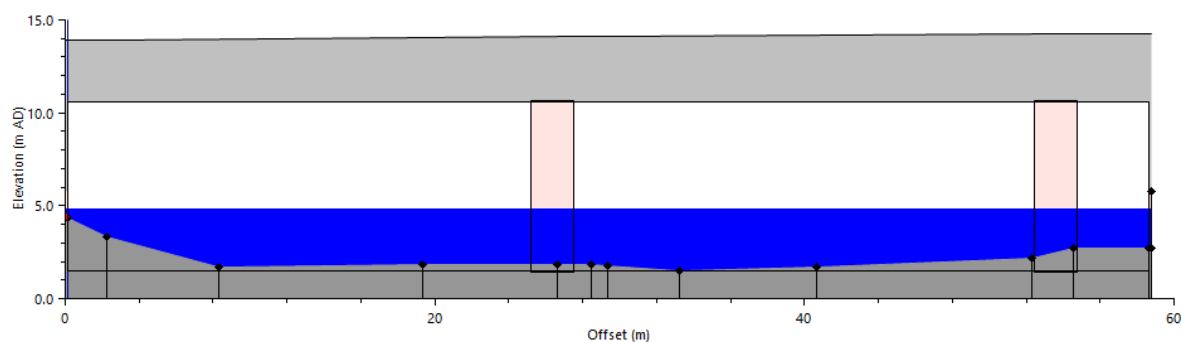
Ponte via San Pietro – sez. 37.3



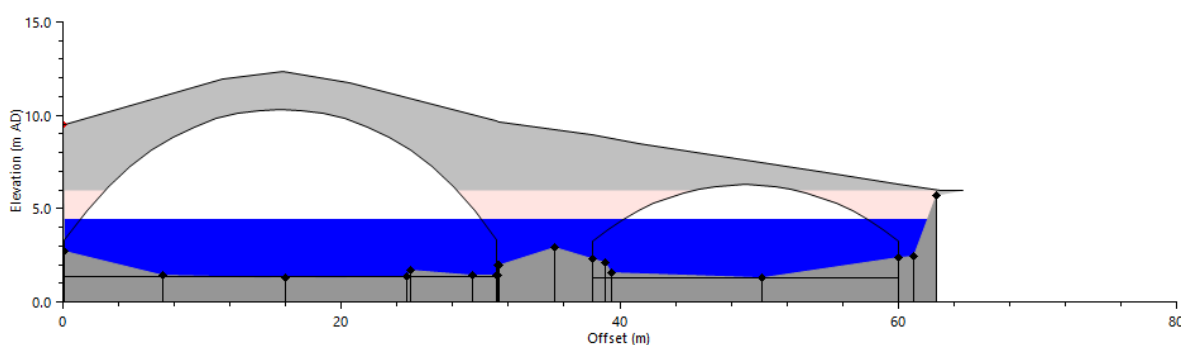
Ponte autostrada – sez. 32.25



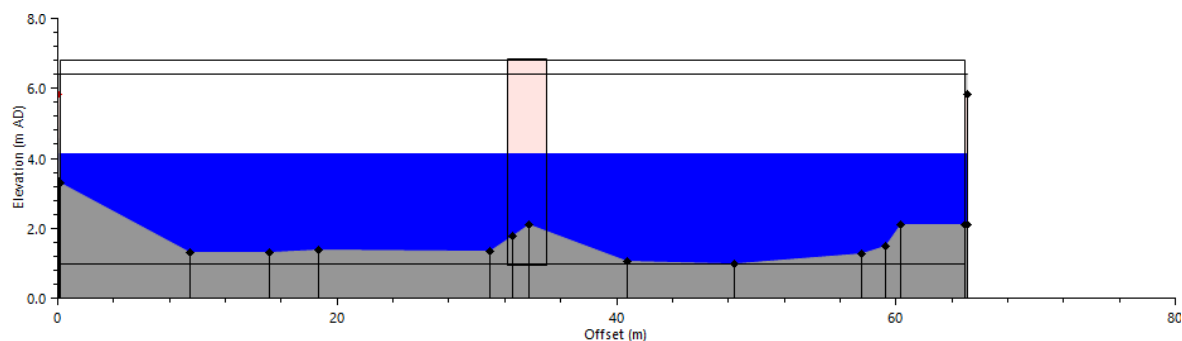
Ponte superstrada - sez. 25.05



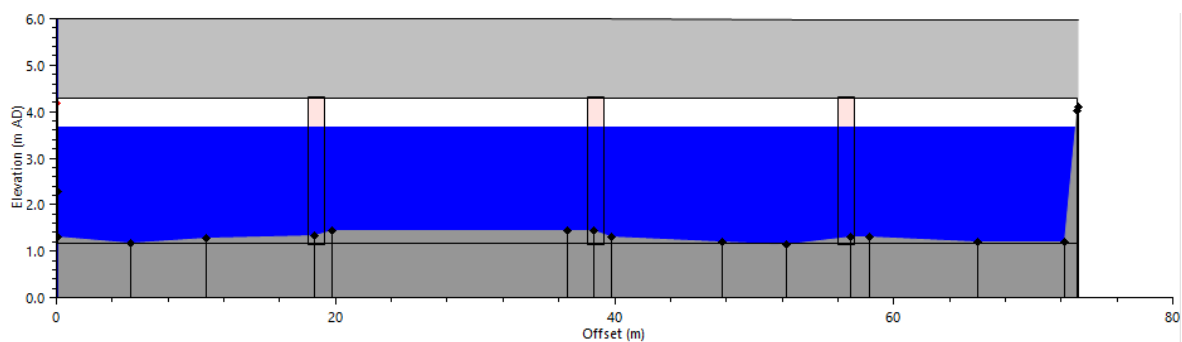
Ponte FS – sez. 14.45



Ponte saraceno – sez. 14.05



Ponte FS – sez. 9.21



Ponte Aurelia – sez. 3.21

QUILIANO

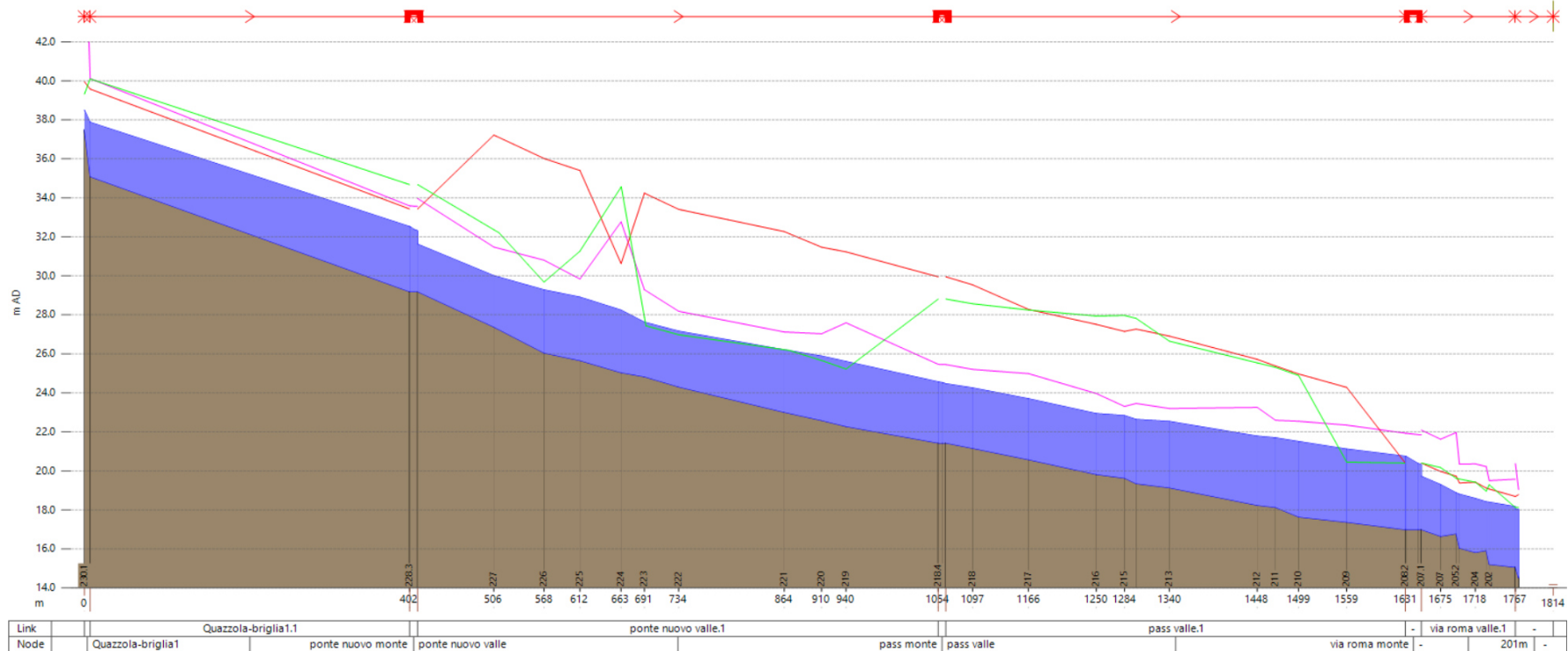
T=200 anni

Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m3/s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	91.1	30.708	3.04	490.0	1.10	5.19	35.1
13	90.0	30.475	3.19	490.0	0.95	4.68	34.8
17	89.10	30.475	3.17	490.0	1.00	5.16	35.0
17	89.10	30.475	3.05	490.0	1.20	5.38	35.0
144	89.00	28.277	4.27	490.0	1.09	5.49	34.1
227	88.00	27.653	4.24	490.0	1.11	5.69	33.5
291	87.00	27.03	4.27	490.0	1.33	6.59	33.5
352	86.00	26.152	4.63	488.7	0.88	5.65	32.4
399	85.00	26.414	4.03	478.1	0.99	5.98	32.3
434	84.30	26.301	3.85	470.4	1.23	6.49	32.3
443	84.20	26.301	3.76	469.2	1.62	6.63	32.3
476	84.00	25.185	4.60	463.8	0.93	5.97	31.6
555	83.10	24.992	4.29	458.0	0.90	5.59	30.9
566	82.00	24.808	4.26	458.0	0.92	5.72	30.7
581	81.30	24.811	4.15	458.0	1.00	6.13	30.9
581	81.30	24.811	4.02	458.0	2.91	6.34	30.9
585	81.20	24.292	4.51	457.9	0.95	5.95	30.6
585	81.20	24.292	4.51	457.9	0.95	5.95	30.6
629	81.00	24.051	4.42	446.3	0.97	6.13	30.4
676	80.20	24.142	3.96	410.6	1.00	6.06	30.0
676	80.20	24.142	3.57	410.6	2.44	6.80	30.1
687	80-0-79.2	23.104	4.59	407.0	0.81	5.22	29.1
687	80-0-79.2	23.104	4.59	407.0	0.81	5.22	29.1
697	80-1-79.2	23.137	4.50	402.9	0.83	5.30	29.0
707	80-2-79.2	23.171	4.41	398.3	0.86	5.37	29.0
717	80-3-79.2	23.205	4.32	393.7	0.88	5.44	29.0
727	80-4-79.2	23.239	4.22	389.9	0.90	5.50	29.0
737	80-5-79.2	23.272	4.11	389.2	0.92	5.61	29.0
747	80-6-79.2	23.306	4.00	388.6	0.96	5.76	29.0
757	80-7-79.2	23.34	3.90	380.9	0.98	5.80	29.0
768	79.20	23.377	3.78	371.2	1.00	5.83	28.9
768	79.20	23.377	2.97	371.2	3.92	8.47	29.3
777	78.00	22	4.36	371.2	0.73	4.73	27.5
777	78.000	22	4.36	371.2	0.73	4.73	27.5
810	77.100	21.761	4.38	371.2	0.79	5.01	27.4
818	76.300	21.761	4.31	371.2	0.81	5.08	27.4
859	76.200	21.889	3.90	371.1	1.00	5.68	27.4
859	76.20	21.889	3.15	371.1	5.42	8.84	27.8
862	76.00	21.317	3.69	371.1	0.95	5.50	26.5
862	76.00	21.317	3.69	371.1	0.95	5.50	26.5
882	75.20	21.321	3.52	371.1	1.00	5.70	26.5
882	75.20	21.321	2.95	371.1	6.69	7.74	26.7
885	75.00	20.433	3.83	371.1	0.86	5.16	25.6
885	75.00	20.433	3.83	371.1	0.86	5.16	25.6
1036	74.00	19.348	3.74	371.1	1.10	6.08	25.0
1102	73.30	19.705	2.83	371.1	1.00	5.05	23.8
1102	73.30	19.705	2.31	371.1	5.53	7.94	24.0

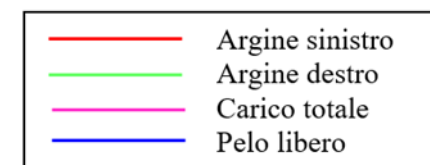
1105	73.20	18.882	3.12	371.1	1.07	4.60	23.1
1105	73.20	18.882	3.12	371.1	1.07	4.60	23.1
1177	73.00	17.725	3.91	371.6	0.82	4.33	22.6
1177	73.00	17.725	3.91	371.6	0.82	4.33	22.6
1207	72.30	18.615	2.79	371.6	1.00	4.96	22.7
1207	72.30	18.615	2.47	371.6	17.61	14.40	29.3
1208	72.20	17.736	3.34	371.6	0.96	4.83	22.3
1208	72.20	17.736	3.34	371.6	0.96	4.83	22.3
1251	72.00	17.773	3.01	371.6	0.92	4.68	21.9
1285	71.20	17.293	3.28	371.6	2.16	4.61	21.7
1290	71.00	17.254	3.31	371.6	0.83	4.37	21.5
1342	70.20	16.656	3.66	371.6	0.79	4.24	21.2
1411	70.00	16.656	3.23	371.6	1.00	4.97	21.1
1411	70.00	16.656	2.92	371.6	2.69	5.68	21.2
1414	69.40	16.213	3.33	371.6	0.94	4.83	20.7
1423	69.10	16.213	3.10	371.6	1.11	5.28	20.7
1486	69.00	15.569	3.21	373.9	1.05	4.92	20.0
1515	68.00	15.506	3.05	381.9	1.08	4.92	19.8
1574	67.20	14.581	3.41	419.6	1.35	6.15	19.8
1574	67.20	14.581	3.41	419.6	4.88	9.86	20.5
1578	67.00	14.011	4.02	423.1	0.76	4.14	18.9
1617	cfl qui 2	14.163	3.87	712.9	0.85	4.71	19.2
1628	CL V	14.084	3.89	712.9	0.85	4.80	19.1
1669	63.20	14.42	3.29	712.9	1.00	5.39	19.2
1669	63.20	14.42	2.60	712.9	3.48	7.03	19.5
1673	63.00	13.466	3.50	712.9	0.97	5.29	18.4
1673	63.00	13.466	3.50	712.9	0.97	5.29	18.4
1831	61.20	13.118	2.82	712.9	1.00	4.55	17.0
1831	61.20	13.118	2.82	712.9	3.30	5.13	17.0
1838	61.00	12	3.98	712.9	0.73	3.69	16.7
1838	61.00	12	3.98	712.9	0.73	3.69	16.7
1944	59.20	12.74	2.60	712.8	1.00	4.89	16.6
1944	59.20	12.74	2.39	712.8	4.90	6.06	16.6
1951	59.00	11.08	4.11	712.8	0.70	3.84	15.9
1951	59.00	11.08	4.11	712.8	0.70	3.84	15.9
2061	57.20	11.48	3.17	712.8	1.00	4.58	15.7
2061	57.20	11.48	3.17	712.8	1.73	4.58	15.7
2068	57.00	11.16	3.50	712.8	0.78	4.19	15.6
2068	57.00	11.16	3.50	712.8	0.78	4.19	15.6
2178	55.20	10.76	3.36	712.7	0.96	4.56	15.2
2284	53.40	9.65	4.03	712.2	0.76	4.40	14.7
2292	53.10	9.65	3.99	712.2	0.77	4.45	14.7
2318	53.00	9.65	3.85	712.1	0.82	4.65	14.6
2415	51.20	9.22	3.69	712.1	1.00	5.65	14.5
2415	51.20	9.22	3.56	712.1	2.24	5.88	14.5
2420	51.00	8.95	3.80	712.1	0.96	5.53	14.3
2420	51.00	8.95	3.80	712.1	0.96	5.53	14.3
2502	49.20	8.31	3.92	712.1	1.02	5.50	13.8
2502	49.20	8.31	3.92	712.1	2.10	5.50	13.8
2508	49.00	7.89	4.34	712.1	0.85	4.95	13.5
2508	49.00	7.89	4.34	712.1	0.85	4.95	13.5
2598	47.20	7.83	3.87	712.1	1.00	5.59	13.3
2598	47.20	7.83	3.68	712.1	3.28	5.94	13.3
2603	47.00	7.4	4.10	712.1	0.85	5.03	12.8
2603	47.00	7.4	4.10	712.1	0.85	5.03	12.8
2707	45.20	7.2	3.69	712.1	1.00	5.63	12.5
2707	45.20	7.2	3.59	712.1	4.76	5.81	12.5
2710	45.00	6.31	4.53	712.1	0.77	4.74	12.0
2710	45.00	6.31	4.53	712.1	0.77	4.74	12.0
2784	43.20	6.85	3.55	712.1	1.00	5.59	12.0
2784	43.20	6.85	3.14	712.1	4.21	6.42	12.1
2787	43.00	6.18	3.79	712.1	0.94	5.39	11.4
2787	43.00	6.18	3.79	712.1	0.94	5.39	11.4
2848	41.20	6.37	3.21	712.1	1.00	5.34	11.0

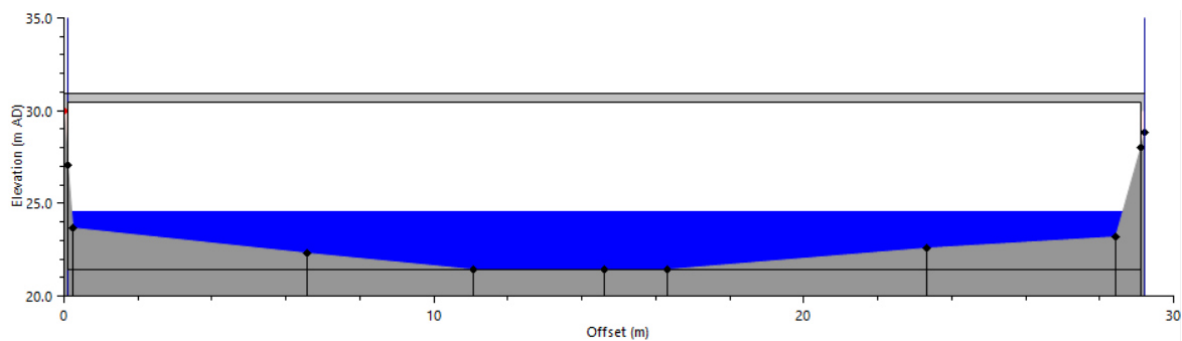
2848	41.20	6.37	2.90	712.1	5.76	6.56	11.1
2852	41.00	5.42	3.86	712.1	0.84	4.65	10.4
2852	41.00	5.42	3.86	712.1	0.84	4.65	10.4
2922	38.10	4.95	4.29	712.0	0.61	3.66	9.9
2942	37.10	4.95	3.95	712.0	1.24	4.00	9.7
2963	37.00	4.29	4.53	712.0	0.75	4.09	9.7
2963	37.00	4.29	4.53	712.0	0.75	4.09	9.7
3014	36.00	4.09	4.46	712.0	0.78	4.57	9.6
3066	35.00	4.27	4.06	712.0	0.80	4.53	9.4
3070	32.40	4.27	4.04	712.0	0.81	4.56	9.4
3099	32.10	4.27	3.50	712.0	1.20	6.01	9.6
3123	32.00	4.22	3.36	712.0	0.97	5.02	8.9
3172	31.20	3.84	3.43	712.0	1.01	4.71	8.4
3172	31.20	3.84	3.43	712.0	1.52	4.71	8.4
3174	31.00	3.41	3.85	712.0	0.94	4.56	8.3
3174	31.00	3.41	3.85	712.0	0.94	4.56	8.3
3279	30.00	3.16	3.71	711.9	0.70	3.68	7.6
3389	29.00	2.85	3.71	711.8	0.82	3.53	7.2
3454	28.00	2.46	3.80	711.7	0.77	4.04	7.1
3539	27.00	2.24	3.70	698.2	0.78	4.09	6.8
3613	25.20	1.38	4.19	684.1	0.88	4.66	6.7
3635	23.10	1.38	4.00	684.1	1.01	4.98	6.6
3655	23.00	1.6	3.69	688.2	0.88	4.64	6.4
3698	21.00	1.37	3.65	699.2	0.95	5.09	6.3
3713	20.00	1.39	3.54	704.0	0.95	5.06	6.2
3729	19.10	1.52	3.35	709.7	0.84	4.41	5.9
3750	14.30	1.29	3.40	709.7	0.71	3.82	5.4
3799	14.20	1.29	3.17	709.7	0.80	4.15	5.3
3839	11.00	0.99	3.18	709.7	0.85	4.29	5.1
3842	9.40	0.99	3.16	709.9	0.86	4.32	5.1
3862	9.10	0.99	2.97	709.9	0.93	4.53	5.0
3887	9.00	0.98	3.00	709.9	0.51	2.73	4.4
3927	5.00	1	2.77	709.9	0.68	3.48	4.4
3937	4.10	1.15	2.51	709.9	0.87	4.17	4.5
3958	3.10	1.15	1.95	709.9	1.29	5.42	4.6
3985	3.00	1	1.71	709.9	1.43	5.64	4.3
4019	2.00	0.44	1.71	709.9	1.44	5.59	3.7

Torrente Quazzola T = 200 anni

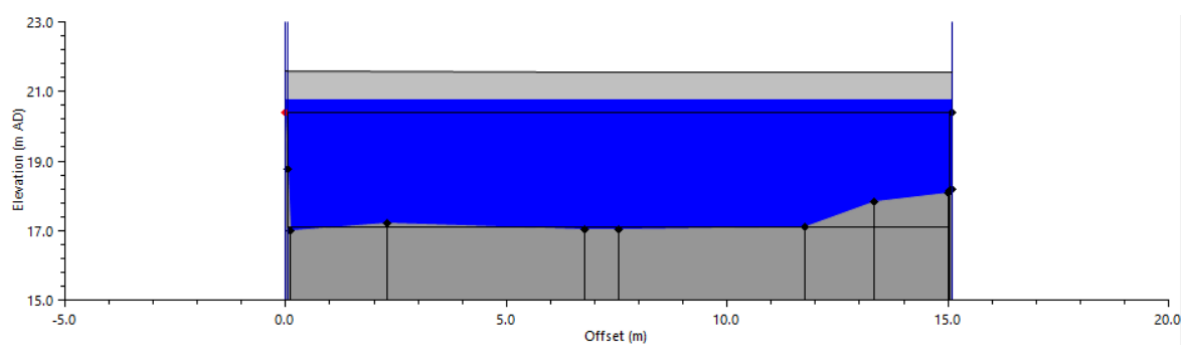


Profilo – T200





Passerella sez. 218.25



Ponte via Roma sez. 208.05

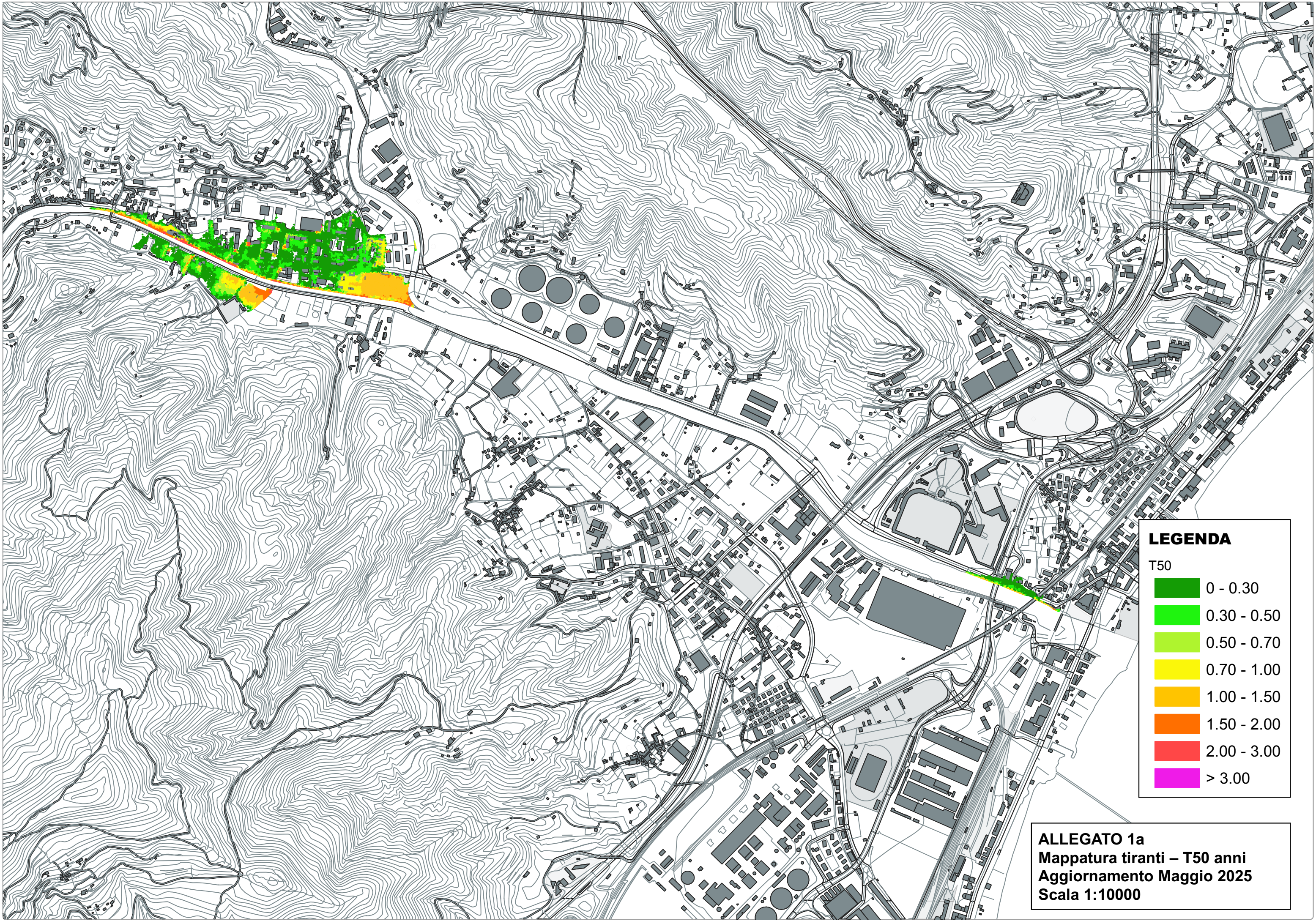
QUAZZOLA

T=200 anni

Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m ³ /s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	230.1	37.49	1.01	280.0	5.55	14.62	49.4
7	230.0	35.09	2.78	280.0	1.56	6.64	40.1
7	230.00	35.09	2.78	280.0	1.57	6.64	40.1
402	228.30	29.19	3.33	279.8	0.90	4.57	33.6
411	228.00	29.19	2.43	279.8	1.56	6.78	34.0
506	227.00	27.38	2.63	279.8	2.43	5.37	31.5
568	226.00	26.05	3.23	279.8	1.53	5.46	30.8
612	225.00	25.66	3.25	279.7	1.84	4.27	29.8
663	224.00	25.04	3.20	279.7	2.10	9.43	32.8
691	223.00	24.83	2.79	279.7	1.64	5.72	29.3
734	222.00	24.31	2.85	279.5	1.30	4.47	28.2
864	221.00	23.01	3.20	279.6	1.41	4.24	27.1
910	220.00	22.59	3.30	278.5	1.30	4.74	27.0
940	219.00	22.28	3.33	275.1	1.29	6.24	27.6
1054	218.40	21.43	3.13	274.7	0.89	4.21	25.5
1064	218.10	21.43	3.04	274.7	1.13	4.39	25.5
1097	218.00	21.16	3.10	274.7	1.11	4.31	25.2
1166	217.00	20.58	3.12	274.7	1.18	5.03	25.0
1250	216.00	19.82	3.12	274.6	1.27	4.50	24.0
1284	215.00	19.63	3.21	274.6	2.02	3.03	23.3
1299	214.00	19.35	3.29	274.6	1.05	4.01	23.5
1340	213.00	19.14	3.40	274.6	1.11	3.60	23.2
1448	212.00	18.24	3.54	274.6	0.96	5.38	23.3
1471	211.00	18.13	3.57	274.6	1.54	4.20	22.6
1499	210.00	17.64	3.87	274.6	0.93	4.52	22.5
1559	209.00	17.37	3.75	273.2	0.86	4.90	22.3
1631	208.20	16.99	3.76	255.5	0.85	4.82	21.9
1651	207.10	16.99	2.73	255.5	1.40	6.83	22.1
1675	207.00	16.65	2.65	257.7	1.48	6.78	21.6
1694	205.20	16.78	2.10	257.9	3.92	8.01	22.0
1698	205.00	16.04	2.77	257.9	1.16	5.60	20.3
1718	204.00	15.82	2.77	259.4	1.47	6.12	20.4
1731	202.20	15.92	2.49	264.0	3.65	6.22	20.2
1735	202.000	15.21	3.19	265.6	0.93	4.73	19.5
1767	201.200	15.06	3.11	290.6	1.00	5.26	19.6
1767	201.200	15.06	2.96	290.6	7.06	10.21	20.4
1771	201.000	14.5	3.53	293.0	0.81	4.49	19.0

ALLEGATO B

Risultati verifiche idrauliche bidimensionali

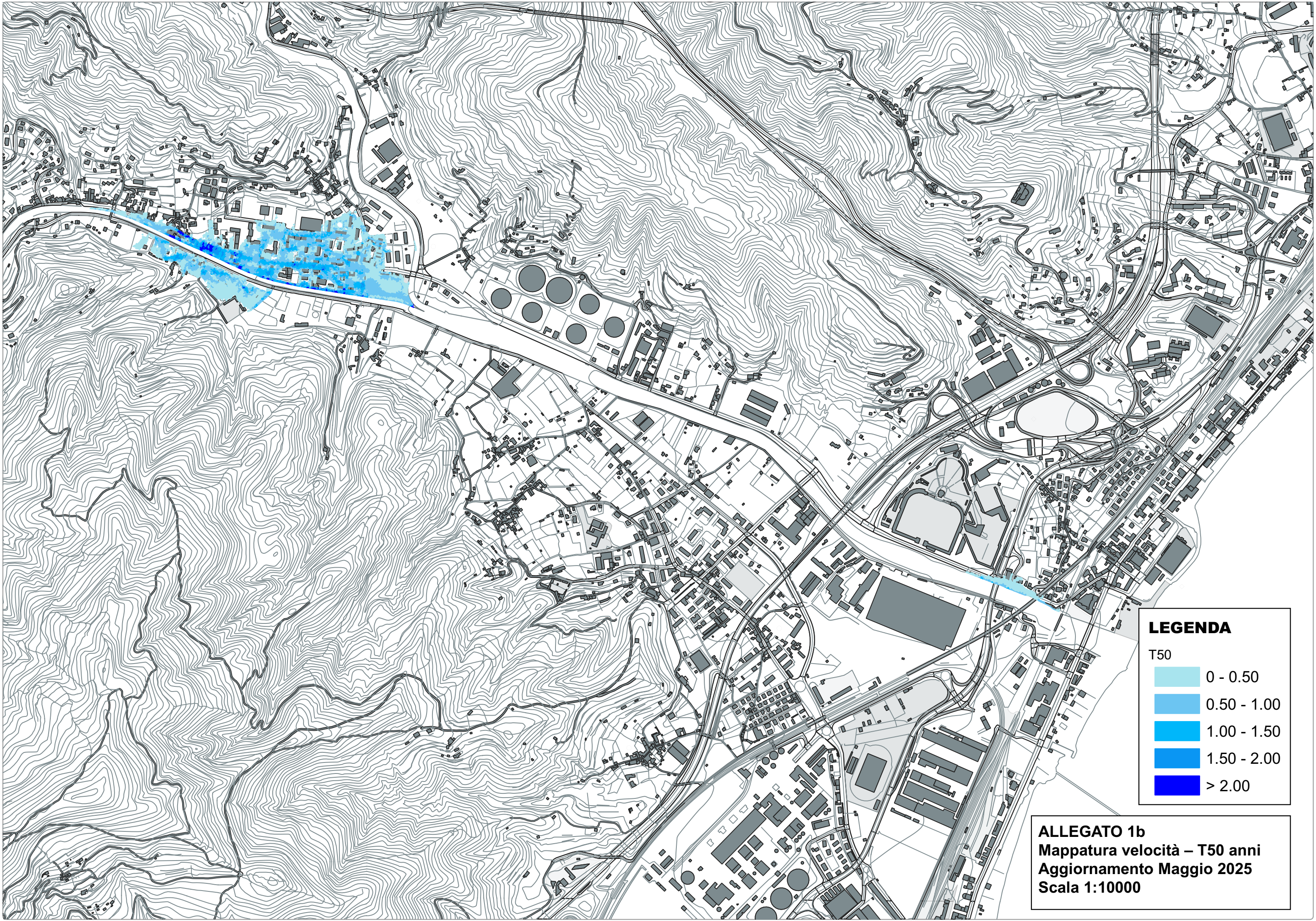


LEGENDA

T50

	0 - 0.30
	0.30 - 0.50
	0.50 - 0.70
	0.70 - 1.00
	1.00 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 3.00
	> 3.00

ALLEGATO 1a
Mappatura tiranti – T50 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Scala 1:10000

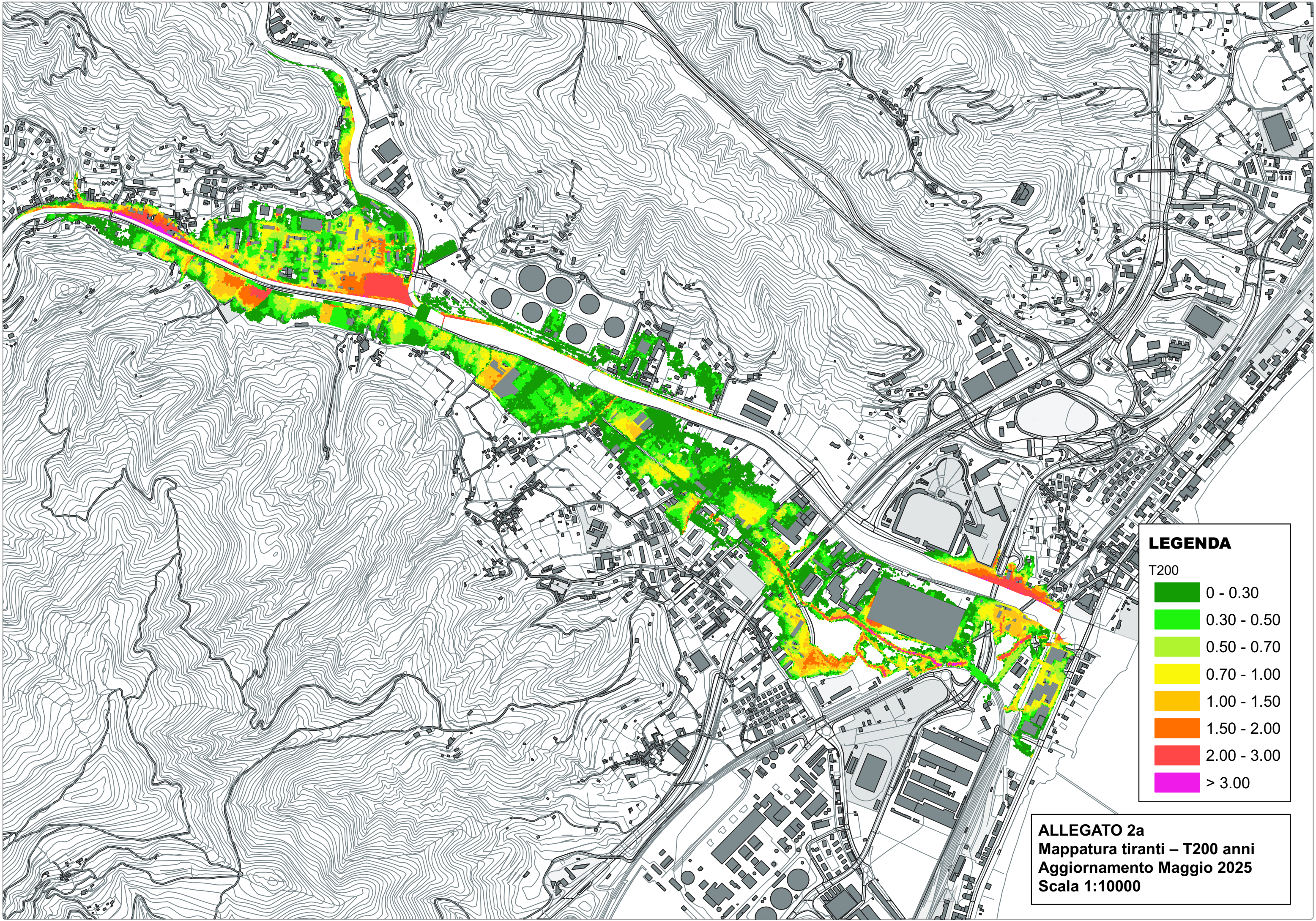
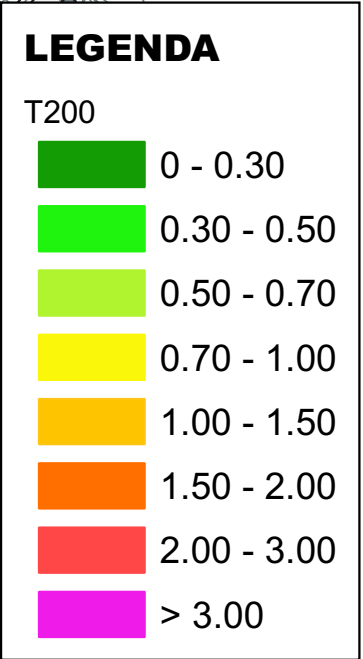


LEGENDA

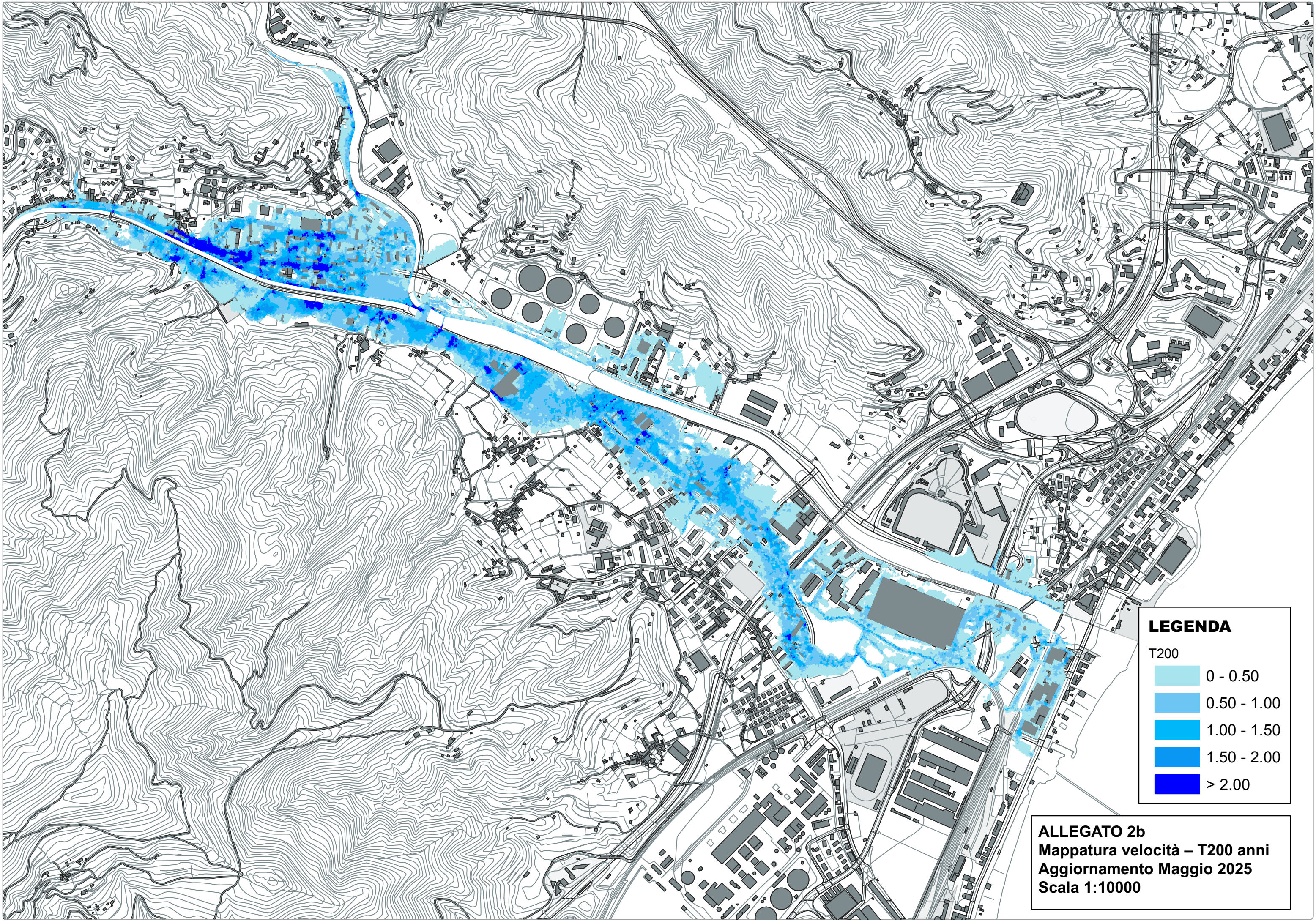
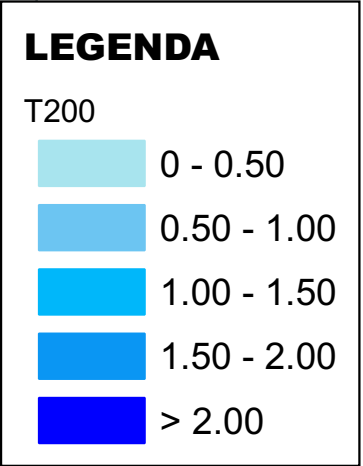
T50

	0 - 0.50
	0.50 - 1.00
	1.00 - 1.50
	1.50 - 2.00
	> 2.00

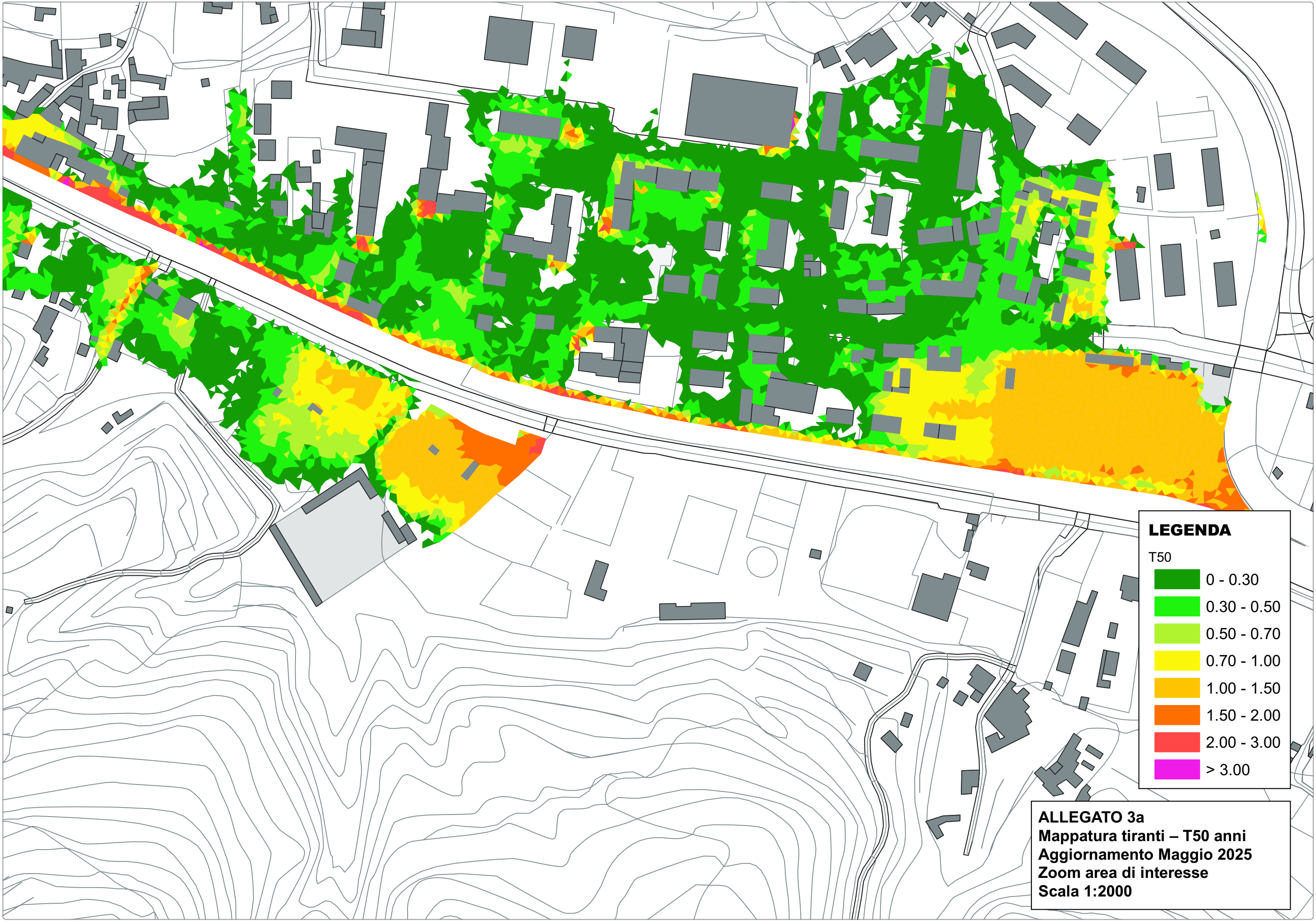
ALLEGATO 1b
Mappatura velocità – T50 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Scala 1:10000



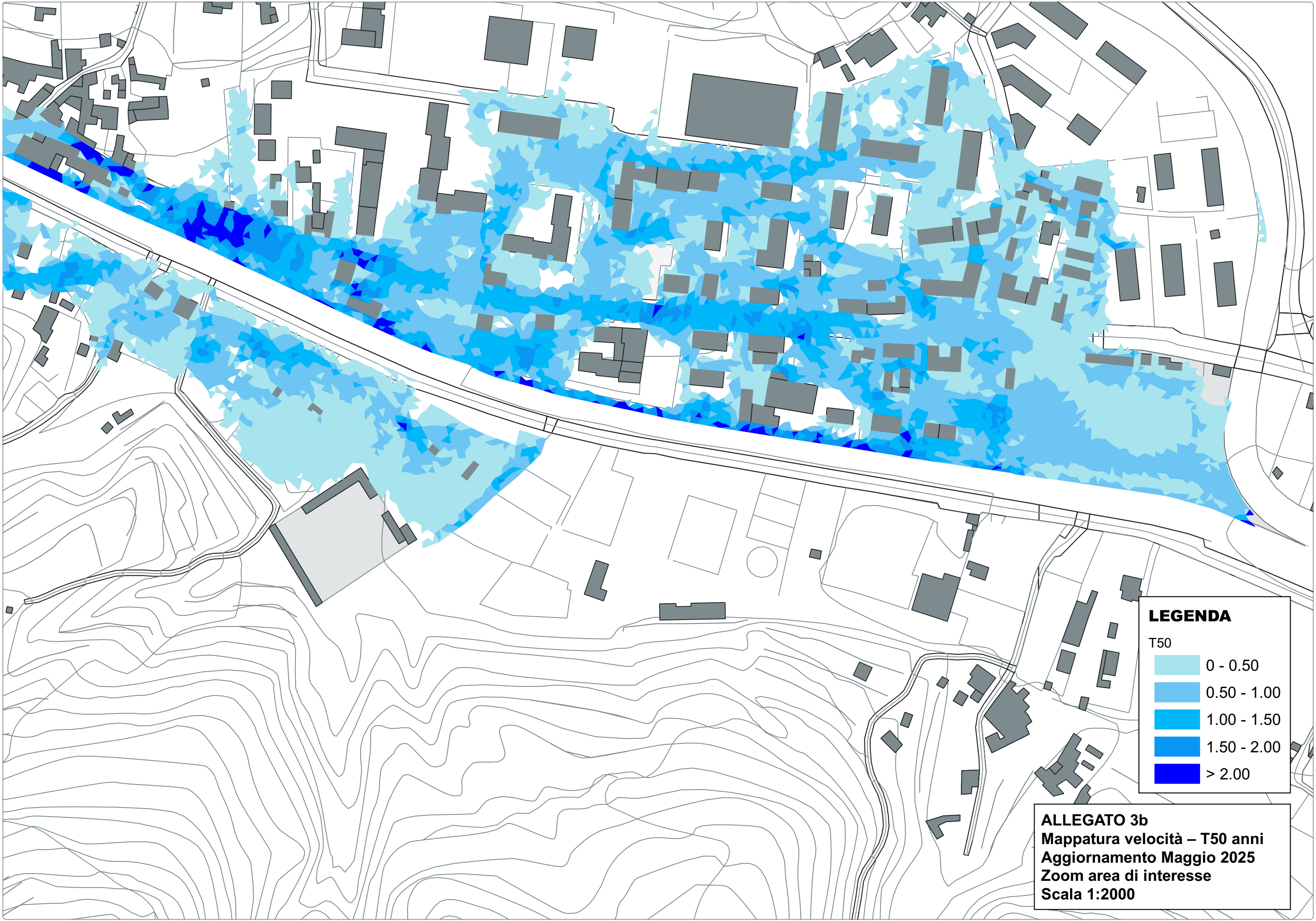
ALLEGATO 2a
Mappatura tiranti – T200 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Scala 1:10000



ALLEGATO 2b
Mappatura velocità – T200 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Scala 1:10000



ALLEGATO 3a
Mappatura tiranti – T50 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Zoom area di interesse
Scala 1:2000

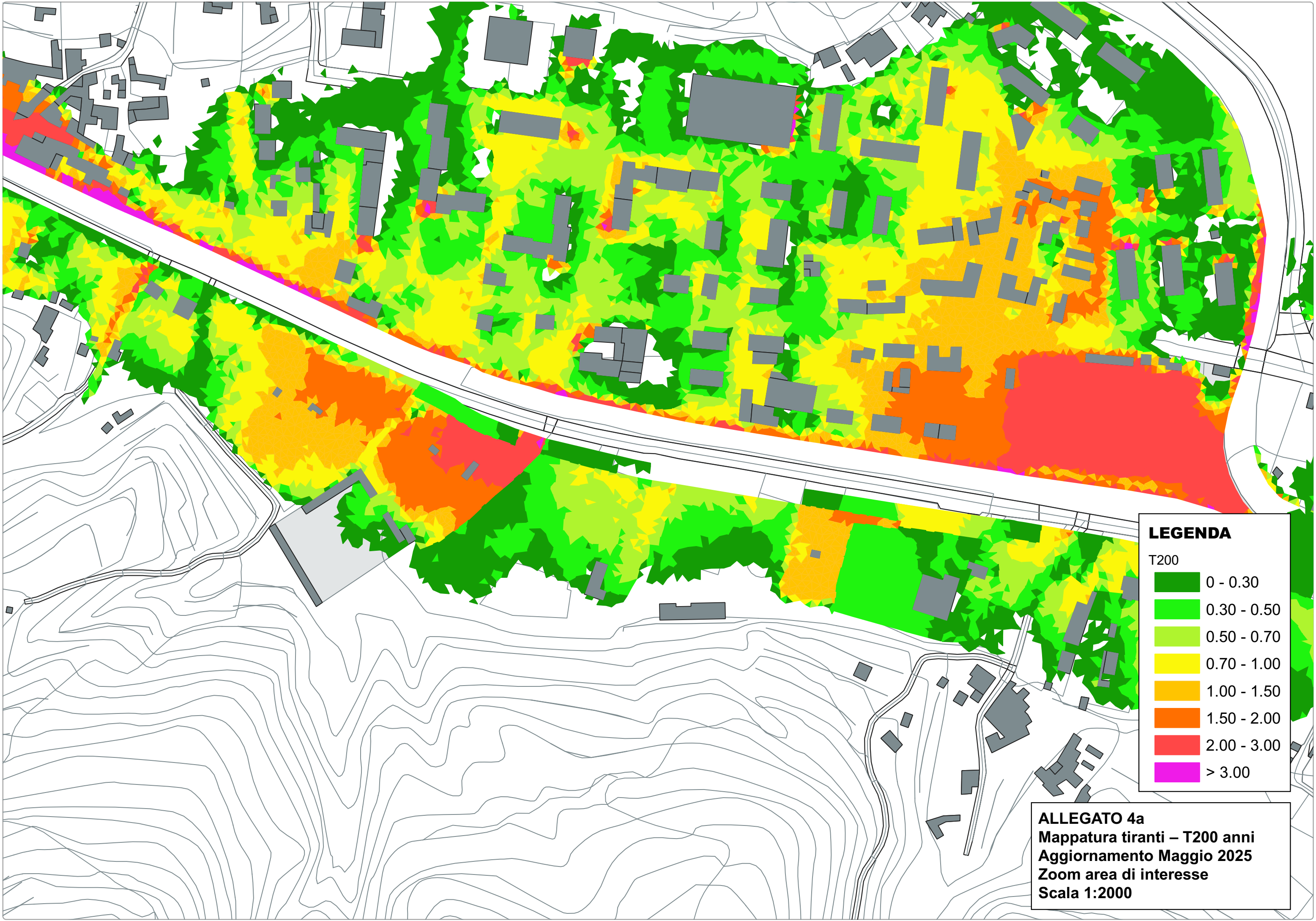


LEGENDA

T50

- 0 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 1.50
- 1.50 - 2.00
- > 2.00

ALLEGATO 3b
Mappatura velocità - T50 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Zoom area di interesse
Scala 1:2000

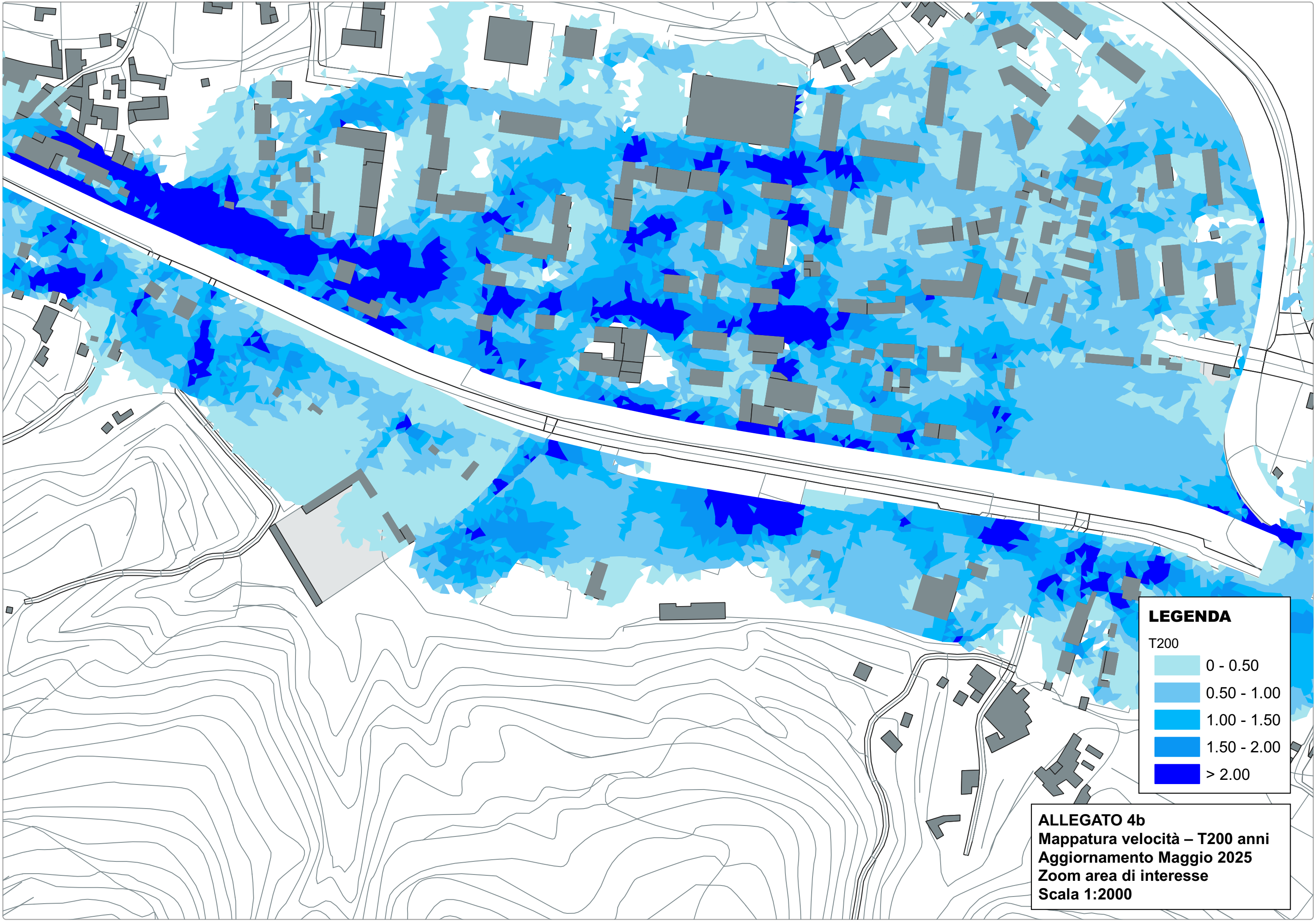


LEGENDA

T200

0 - 0.30
0.30 - 0.50
0.50 - 0.70
0.70 - 1.00
1.00 - 1.50
1.50 - 2.00
2.00 - 3.00
> 3.00

ALLEGATO 4a
Mappatura tiranti – T200 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Zoom area di interesse
Scala 1:2000



LEGENDA

T200

0 - 0.50
0.50 - 1.00
1.00 - 1.50
1.50 - 2.00
> 2.00

ALLEGATO 4b
Mappatura velocità – T200 anni
Aggiornamento Maggio 2025
Zoom area di interesse
Scala 1:2000

APPENDICE 1

Software di calcolo Hec-Ras

Il software di calcolo *Hec-Ras* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K} \right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3} s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 [m/s] sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature (*bridge and culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove Q [m³/s] è la portata defluita attraverso la luce di area A [m²], H [m] è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove Q [m³/s] è la portata defluita sulla soglia di larghezza L [m] e H [m] è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalco del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.

APPENDICE 2

Software di calcolo Infoworks ICM

A1. GENERALITA'

Il codice di calcolo InfoWorks ICM di HR Wallingford - Innovyze nasce per consentire la modellazione numerica integrata di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane.

Il modulo InfoWorks ICM costituisce un sistema di calcolo a moto vario monodimensionale e bidimensionale che utilizza la metodologia dei volumi finiti.

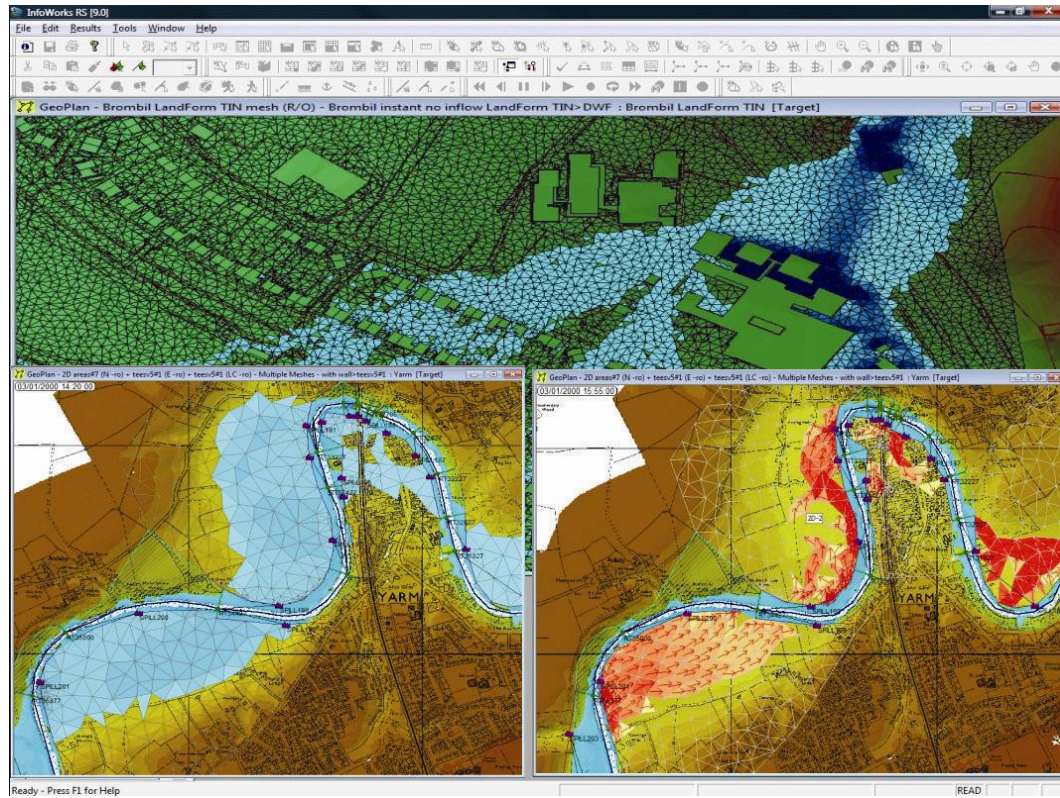
Il software consente di rappresentare in modo completo e accurato tutte le situazioni reali dei corsi d'acqua anche quando sono presenti complesse interferenze con reticoli fognari e/o di bonifica.

All'interno di un'unica interfaccia utente si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

Le aste fluviali possono essere rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, o con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) che con modellazione mista (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

E' ovviamente anche possibile modellare le aste fluviali con tradizionali rappresentazioni 1D.

Per quanto riguarda invece la rappresentazione di reti di drenaggio urbano la tecnica oramai consolidata è quella di rappresentare il reticolo interrato con elementi 1D e l'eventuale esondazione con domini 2D.



A2. APPROCCIO NUMERICO PER LA COMPONENTE 1D

A2.1 Equazioni di governo

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione della massa e della quantità di moto).

Le equazioni sono le seguenti:

Continuità (conservazione della massa):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Moto (conservazione della quantità di moto):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:

lq eventuale portata in ingresso (lateral inflow)

$A[m^2]$ area della sezione liquida

$Q[m^3/s]$ portata

$x[m]$ ascissa lungo l'asse del singolo tratto

$t[s]$ tempo

$g[m/s^2]$ costante gravitazionale

$H[m]$ carico piezometrico dato da $z+h$

$z[m]$ quota di scorrimento

$h[m]$ livello idrico

$S_f [m/m]$ pendenza motrice definita come: $S_f = \frac{Q \cdot |Q|}{K^2}$

dove K è un termine denominato "conveyance" definito, in accordo con l'equazione di Manning:

$$K^2 = \frac{A^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}}{n^2} \quad \text{e} \quad R = \frac{A}{P}$$

dove:

$R[m]$ raggio idraulico

$P[m]$ *perimetro bagnato*

n *coefficiente di scabrezza di Manning*

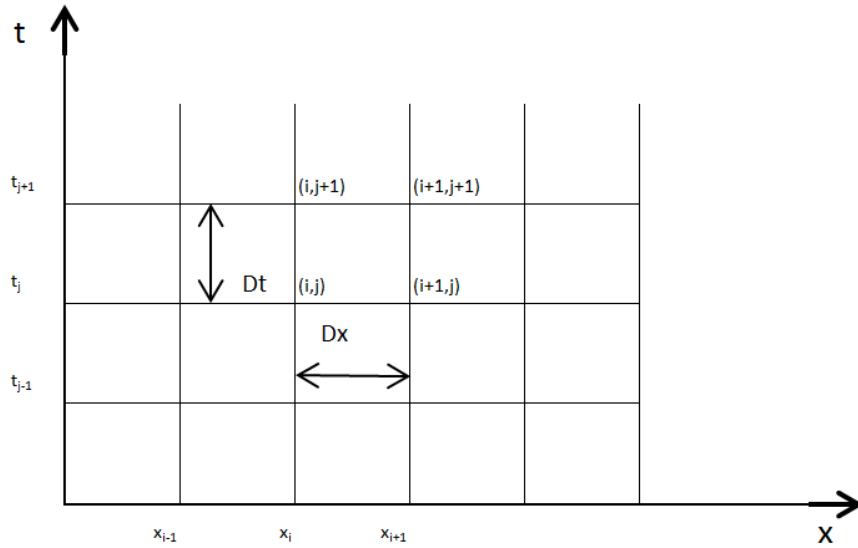
Per la definizione della conveyance il programma consente l'utilizzo di diverse formulazioni oltre a quella di Manning, quali ad esempio Colebrook-White e Strickler. Ai fini della loro integrazione queste equazioni vengono opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks è quello dei 4 punti di Priessmann e il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

InfoWorks simula anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) mediante la tecnica dello *s/ot* per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. In tal modo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto a gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandata, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello *s/ot*).

La metodologia di calcolo in moto vario tiene conto anche dei volumi in gioco e quindi delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello (effetto di laminazione).

A2.3 Discretizzazione delle equazioni di governo

Ai fini della discretizzazione delle equazioni di de Saint Venant, InfoWorks utilizza lo schema implicito di Preissmann riportato nella figura seguente:



Il valore della funzione f o delle sue derivate continue nel tempo e nello spazio può essere discretizzato come segue:

$$f(x,t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1} \right) + (1-\vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^j + f_i^j \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{Dx} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1} \right) + (1-\vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^j - f_i^j \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot Dt} \cdot \left[\left(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j \right) + \left(f_i^{j+1} - f_i^j \right) \right]$$

Dove:

ϑ è un coefficiente che varia da 0.5 a 1

f_i^j è il valore della funzione f valutata al punto (x_i, t_j)

In base a tali assunti entrambe le equazioni di De Saint Venant possono essere trasformate nella forma lineare:

$$a \cdot Q_i^{j+1} + b \cdot H_i^{j+1} + c \cdot Q_{i+1}^{j+1} + d \cdot H_{i+1}^{j+1} = e$$

I valori a , b , c , d ed e sono calcolati per ciascuna iterazione e ciascun nodo del canale aperto e dipendono dalle variabili calcolate all'iterazione precedente. La matrice dei coefficienti che comprende gran parte dei valori di a, b, c, d , ed e viene invertita per risolvere il set di differenti equazioni simultanee per Q ed H alle iterazioni successive.

A2.4 Condizioni al contorno

Condizioni esterne

Le condizioni al contorno sono costituite da una relazione portata-tempo, livello-tempo o livello-portata (scala di deflusso). Al fine di una corretta risoluzione delle equazioni (stabilità di calcolo) risultano più significative le seguenti condizioni:

- idrogramma delle portate a monte e curva dei livelli a valle
- idrogramma delle portate a monte e scala di deflusso a valle

Condizioni interne

Nello schema monodimensionale di un corso d'acqua i singoli tratti sono separati da condizioni interne che possono essere sezioni di controllo, serbatoi, perdite concentrate o nodi (biforcazioni o confluenze).

Tali condizioni impongono la determinazione di una relazione tra livelli e portate.

Sezioni di controllo

Una gran varietà di strutture può essere usata come sezione di controllo in canali aperti, ciascuna delle quali impone una differente relazione tra portata e livello. Per il moto a pelo libero la forma generale dell'equazione risulta:

$$Q = a \cdot h^b$$

dove:

h è la profondità dell'acqua

a è un coefficiente dipendente dal tipo di sezione di controllo (structure)

b è un coefficiente generalmente maggiore o uguale a 1.5 per gli stramazzi e maggiore o uguale a 0.5 per efflusso sotto luci a battente

InfoWorks è in grado di modellare una serie di tipologie di stramazzo usando equazioni empiriche o semiempiriche ricavate dalla letteratura. Tali strutture possono essere simulate nelle condizioni di assenza di portata (es. paratoia chiusa), oppure con flusso libero o rigurgitato.

La paratoia mobile può essere simulata per diverse condizioni di flusso come quelle di stramazzo, quando è totalmente chiusa e sormontabile dall'acqua, o di luce di fondo con efflusso libero o rigurgitato quando è parzialmente aperta, o per la combinazione di entrambe le condizioni. Il programma consente di regolare automaticamente l'apertura di una paratoia durante la simulazione nei modi seguenti:

- secondo una funzione del tempo prestabilita;
- in funzione dei livelli del pelo libero a monte o a valle.

I tipi di paratoia mobile disponibili in InfoWorks sono quelle verticali o radiali.

Il modello consente inoltre di impostare per le sezioni di controllo una generica scala di deflusso al di fuori delle equazioni standard associate ad una determinata struttura.

Serbatoi

I serbatoi sono definiti come aree più o meno vaste di immagazzinamento ove la superficie dell'acqua risulta orizzontale, senza alcun effetto dinamico.

Il calcolo delle portate entranti e uscenti è legato alla variazione del carico piezometrico come segue (in forma semplificata):

$$\frac{h_{new} - h_{old}}{Dt} = \frac{Q_{net}}{A}$$

Con h_{new} e h_{old} livelli negli istanti successivo e precedente, Dt passo temporale, Q_{net} differenza tra portata entrante e portata uscente e A area del serbatoio.

Il modulo serbatoio unito alla modalità di deflusso laterale consentono la schematizzazione e la risoluzione di sistemi naturali complessi con funzionamento a pelo libero.

Perdite localizzate

Le perdite di carico concentrate causate da una repentina variazione delle condizioni geometriche quali ad esempio un brusco restringimento o allargamento delle sezioni di deflusso sono schematizzate mediante l'applicazione dell'equazione di Bernoulli che lega le perdite al carico cinetico di monte:

$$DH = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove k è un coefficiente empirico funzione del tipo di variazione.

I ponti sono simulati usando il metodo dell'US Bureau of Public Road (US BPR Bridge) oppure l'Arch Bridge Method sviluppato da HR Wallingford.

Nodi (biforcazioni e confluenze)

In InfoWorks i nodi (junctions) vengono risolti imponendo l'uguaglianza dei carichi e la conservazione della massa (equilibrio tra portate entranti e uscenti) applicando la legge di Kirchhoff alle portate.

A3. APPROCCIO NUMERICO DELLA COMPONENTE 2D

Le principali caratteristiche della componente 2D sono:

- formulazione del volume limitato (finite volume)
- risoluzione numerica basata sullo schema di Godunov e sulla soluzione di Riemann (Shockcapturing scheme)
- uso di una maglia non strutturata (unstructured mesh)

A3.1 Equazioni di governo

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione delle acque basse (Shallow Water Equation), relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D} \cdot u_{1D}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D} \cdot v_{1D}$$

Dove:

h *altezza dell'acqua*

u e v *velocità nelle direzioni x e y*

$S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ *pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y*

$S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ *gli attriti nelle direzioni x e y*

q_{1D} *portata per unità di area*

u_{1D} e v_{1D} *componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y*

Tale formulazione dell'equazione è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia ed impostando la velocità a zero se la profondità ricade sotto tale valore di soglia.

Tale criterio evita la generazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate e/o asciutte.

Il valore di default per la profondità di soglia è 1mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente.

In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibili e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

La descrizione di un flusso localizzato in ambito urbano è ottenuta senza modificare il modello matematico che è sempre basato sulla risoluzione dell'equazioni in acqua bassa (SWE).

A3.2 Produzione della maglia 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire le magliature dei domini 2D da simulare.

Ogni maglia, di forma triangolare, costituisce l'unità del calcolo bidimensionale.

Una volta creato il dominio 2D di calcolo, è possibile assegnare i seguenti parametri relativi alla maglia:

- *Area (m^2)*: l'area del poligono viene calcolata automaticamente sulla base della geometria definita in planimetria.
- *Massima Area Triangolo (Maximum Triangle Area)*: questo valore molto importante definisce la superficie massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura (diminuendo questo valore si infittisce la magliatura).
- *Area minima elementi (Minimum Element Area)*: durante la simulazione, per evitare un inutile appesantimento del calcolo, vengono aggregati in un'unica cella di calcolo gli elementi triangolari contigui di area molto piccola (fino a che la somma delle aree dei triangoli aggregati non raggiunge quella indicata in questo campo).
- *Magliatura dipendente dal terreno*: consente di creare una magliatura nella quale, all'interno di ogni triangolo, la variazione di quota tra i tre vertici non superi un valore definito dall'utente. Utilizzando questa opzione è possibile

infittire la magliatura in zone nelle quali si hanno notevoli pendenze del terreno ed allargarla in zone pianeggianti.

- *Massima variazione altezza (m)*: Consente all'utente di specificare la massima variazione di quota consentita tra i vertici dei triangoli che verranno generati nel processo di magliatura.
- *Angolo Minimo (Minimum Angle)*: durante il processo di magliatura evita la creazione di triangoli di forma molto irregolare e cunei troppo stretti.
- *Scabrezza Manning (Roughness)*: la scabrezza è attribuita a tutti triangoli che vengono creati durante il processo di magliatura. Il programma consente di modificare localmente tale valore generando delle zone di magliatura a differente scabrezza.

Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri ecc).

L'effetto della presenza di edifici o ostacoli è simulata mediante l'introduzione di pareti impermeabili o porose che richiede una precisa calibrazione della rete in ambiente urbano.

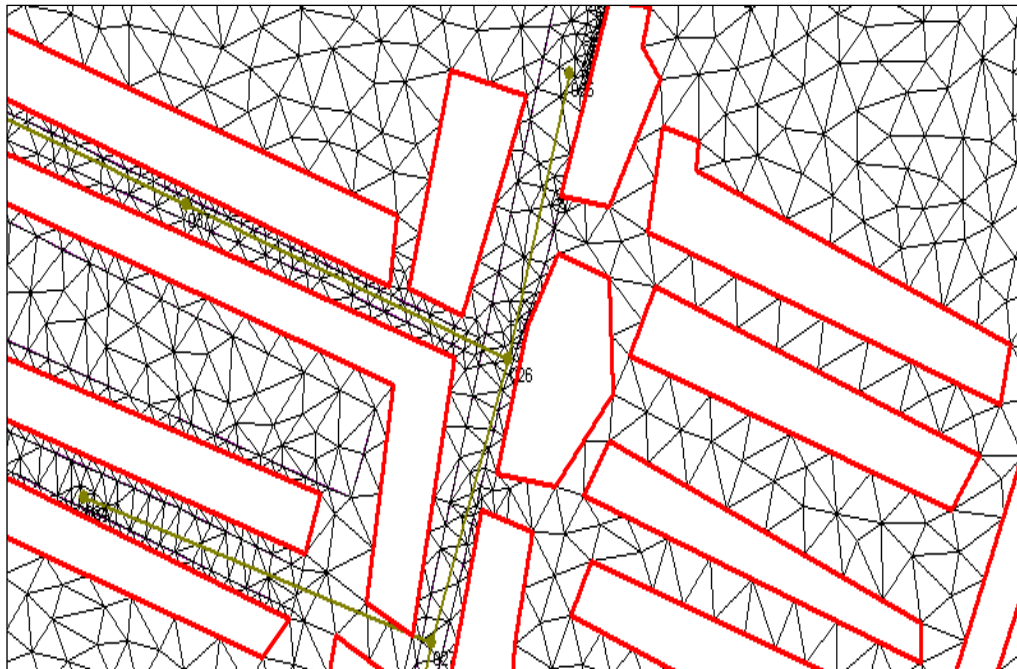


Fig. A2.1 Esempio di maglia non strutturata con edifici in ambito urbano

All'interno del dominio di magliatura, il software permette di considerare eventuali aree a maggiore o minore capacità di invaso dei blocchi introducendo il concetto di

porosità degli edifici ossia il fatto che le aree occupate dagli edifici assorbano o meno parte dei volumi esondati durante il processo di allagamento.

A3.3 Condizioni al contorno e parametri di simulazione

Condizioni al contorno della maglia

Le condizioni al contorno sono costituite da input idraulico-idrologico (idrogramma, ietogramma) in ingresso al sistema e da condizioni sul perimetro del dominio di calcolo.

In particolare le condizioni al contorno sul perimetro del dominio di calcolo sono le seguenti:

- *Vertical wall*: indica una barriera verticale impermeabile infinitamente alta dove non è presente flusso d'acqua né in ingresso né in uscita dal dominio 2D. Questa è l'unica opzione che trattiene l'acqua all'interno del poligono 2D qualora in simulazione si determini presenza d'acqua al suo perimetro.
- *Critical condition*: presenta due possibilità: se il livello dell'acqua nell'elemento di confine del poligono 2D è superiore al livello del segmento che si affaccia sul confine, la portata in uscita dal poligono viene calcolata utilizzando l'equazione di una soglia a parete spessa senza perdite di energia; se il livello dell'acqua nell'elemento di confine è inferiore al livello di facciata del segmento di confine, questo è considerato un muro verticale impermeabile;
- *Supercritical condition*: presenta due possibilità: se la portata nell'elemento di confine è supercritica ($Froude > 1$) e diretta verso l'esterno del poligono, la portata uscente dal poligono viene considerata supercritica (veloce) e calcolata utilizzando altezza idrica e velocità dell'elemento di confine, indipendentemente dalla quota segmento di confine; se le condizioni del flusso non sono supercritiche o il flusso è diretto verso l'interno del poligono, il confine viene considerato un muro verticale impermeabile. Questa opzione è utile nelle aree in cui è noto che il flusso è uscente dal poligono 2D senza alcun effetto di rigurgito all'interno del poligono stesso;
- *Dry*: prevede che il confine del poligono sia considerato come circondato da una fossa senza fondo, l'acqua che raggiunge la sponda del poligono esce dal poligono e viene persa dalla simulazione senza alcuna considerazione idraulica;
- *Normal condition*: si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme). L'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

Parametri di simulazione della maglia

Il software consente la modifica dei seguenti parametri della simulazione 2D:

- *Timestep*: definisce il passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo.
- *Moltiplicatore del timestep ordinario*: è un moltiplicatore del timestep che consente di definire il timestep di salvataggio dei risultati. E' consigliato non utilizzare timestep di salvataggio molto ridotti al fine di ridurre le dimensioni del file dei risultati.
- *Durata simulazione*: consente all'utente di decidere quanto far durare la simulazione.
- *Depth*: rappresenta la soglia che discrimina una maglia triangolare asciutta da una bagnata. Gli elementi della magliatura con un'altezza d'acqua inferiore a questo valore vengono considerati asciutti e un'altezza pari a zero viene restituita come risultato. Negli elementi con altezza d'acqua inferiore a questa soglia viene considerata solamente la conservazione della massa. Il valore tipico per questo campo è di 0.001 m.
- *Momentum*: rappresenta la soglia utilizzata per determinare se considerare o meno il momento in una maglia triangolare. Il moto dell'acqua non viene calcolato per gli elementi della magliatura in cui l'altezza dell'acqua è al di sotto di questo valore; solo la conservazione della massa viene considerata in questo caso. Valori tipici per questo campo sono 0.001 - 0.01 m, il valore di default è 0.001 m.
- *Velocity*: per le maglie triangolari in cui la velocità calcolata dell'acqua risulta inferiore a questo valore, viene impostata una velocità pari a zero per il calcolo del momento. Il valore tipico per questo campo è 0 m/s.
- *Timestep Stability Control*: garantisce che il timestep interno utilizzato dal motore di calcolo 2D ricada entro il range di stabilità fornito dalla condizione di Courant Friedrichs Lewy (CFL). Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.95.
- *Maximum Velocity*: soglia di velocità che limita le velocità che possono essere raggiunte in una maglia durante una simulazione 2D. Per gli elementi della magliatura in cui la velocità calcolata risulta superiore a questo valore, verrà impostata una velocità pari alla massima qui specificata. Questo aiuta a ridurre eventuali instabilità dovute alle alte velocità corrispondenti ad altezze d'acqua ridotte, il che rappresenta una situazione non realistica. Un valore tipico per questo campo è 10 m/s.

- *Theta*: rappresenta un fattore di peso per il parametro semi-implicito. Attribuisce un peso alle parti esplicite e semi-implicite dello schema numerico. Al crescere di questo valore, aumenta il peso dato alla parte semi-implicita. Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.9
- *Ignore rain falling on dry elements*: ignora la pioggia che cade sugli elementi asciutti della magliatura; si utilizza per rendere più rapida la simulazione quando vengono utilizzati poligoni di pioggia (2D rainfall polygons).
- *Adjust element ground levels adjacent to spills*: modifica automaticamente la quota delle maglie triangolari adiacenti agli spill, dove necessario; si utilizza per evitare le instabilità che si verificano quando la quota degli spill risulta inferiore alla quota delle maglie su cui gli spill insistono.

A4. INTERAZIONE DELLA COMPONENTE 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello mono e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempio:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D.
- *sfiori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa).
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando si rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

A5. INTERFACCIA DEL SOFTWARE

InfoWorks ICM ha un'interfaccia di ultima generazione in grado di interagire con diversi programmi e fonti disponibili sul mercato.

In tal modo si riescono a importare ed integrare dati provenienti da vari formati per costituire un modello geometrico del sistema da studiare.

In particolare, il software supporta:

- Dati in formato AutoCAD (2D e 3D)
- Dati in formato TIN di ArcView
- Dati in formato shape (SHP) o Geodatabase
- Rilievi topografici con coordinate x,y e z
- Dati in formato tabulare (XLS, ASC, TXT e altri)
- Dati in formato Database (Access, Oracle e altri)
- Dati in formato HEC-RAS

InfoWorks ICM sfrutta un'architettura basata su un Database centralizzato dove vengono salvati tutti i progetti. Il sistema gestisce accessi multipli, anche contestuali.

APPENDICE 3

**Calcolo dell'idrogramma di piena
secondo i criteri della DGR 357/2008**

Di seguito si riporta una descrizione delle procedure per la determinazione dell'idrogramma corrispondente all'evento tipico secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 3571/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

La metodologia di calcolo fa riferimento al *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzata alla valutazione dell'idrogramma di riferimento condizionato dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, come da normativa, pari al valore della portata indice.

Il metodo di valutazione dell'idrogramma di riferimento consiste in sintesi nel ricercare l'idrogramma di piena equivalente che fornisca la portata massima al colmo pari alla portata indice.

Tale problema è risolvibile a partire dalle curve di probabilità pluviometrica dell'area in esame nella forma $h(T) = a(T) \cdot t^n$ nell'ipotesi di invarianza di scala, per cui si assume che l'esponente caratteristico n rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi dell'area in esame.

L'ipotesi implica che la portata T -ennale di progetto $Q(T)$ sia prodotta da una precipitazione $h = a(*) \cdot t^n$ dove n è l'esponente caratteristico del bacino in esame, $a(*)$ rappresenta il valore di a che con il metodo dell'evento critico produce una portata pari a $Q(T)$ e che, in genere, è differente dal valore di $a(T)$ proprio della linea segnalatrice T -ennale.

Nella formulazione del metodo a è esprimibile come $a(T) = w_T a_i$, dove w_T è il fattore di crescita funzione del tempo di ritorno (T) e a_i è un valore costante caratteristico della stazione pluviometrica considerata corrispondente al valore indice di precipitazione (*pioggia indice*).

Nell'Appendice II della DGR sopra menzionata sono riportati il valore della pioggia indice a_i ed i parametri caratteristici di una serie di stazioni della Regione Liguria per il versante Padano e quello tirrenico, necessari per la determinazione del fattore di crescita w_T .

Assunto un modello afflussi-deflussi di riferimento, il problema si riduce alla ricerca di tutte le possibili coppie di valori a e t che producono una portata al colmo $Q(T)$ e, tra queste, la coppia $\{a(*), t_{CR}\}$ che ha il minimo valore di a .

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una

seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

Come noto tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura sulla base dell'espressione:

$$h_n = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S}$$

dove $h_n [mm]$ è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, $h_r [mm]$ è il volume specifico affluito, $S [mm]$ è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre $I_a [mm]$ rappresenta la quota parte del volume affluito che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio.

La determinazione di S viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Dove CN è un parametro adimensionale variabile da 1 a 100 che esprime la capacità di ritenzione del bacino in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e all'uso del suolo.

Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi.

Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi del grado di umidità del terreno in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato: molto asciutto (I), standard (II) e molto umido (III).

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro

classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa (B), moderatamente alta (C) e molto alta (D).

La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece terreni coltivati con e senza trattamento di conservazione, terreni da pascolo in buone o cattive condizioni, praterie, terreni boscosi o forestati con diverse tipologie di sottobosco, spazi aperti con prati rasati o parchi con diverse percentuali di copertura erbosa, aree commerciali, distretti industriali, aree residenziali, strade, parcheggi ecc.

Quale valore di I_a si è adottata la relazione suggerita dal Soil Conservation Service $I_a = 0.2 \cdot S$.

L'idrogramma unitario è stato calcolato con il modello di Nash che simula il comportamento del bacino con una cascata di n serbatoi posti in serie; l'IUH del modello assume la forma:

$$I(t) = \frac{1}{K \cdot (n-1)!} \cdot \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{K}}$$

dove k è la costante caratteristica dei serbatoi e n il numero degli stessi. Nel caso in esame si è assunto: $n = 3$ e $K = 0.5 \cdot t_c / (n-1)$, con t_c tempo di corrivazione del bacino.

Una volta disponibili gli ietogrammi di progetto e l'idrogramma unitario, sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per ciascuna sezione considerata attraverso l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = S \cdot \int_0^t I(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

il quale, noti lo ietogramma di riferimento e l'idrogramma unitario istantaneo del bacino in esame, permette di legare la portata uscente $Q(t)$ all'intensità della pioggia netta $p(t)$.