

VERIFICA AMBIENTALE (Art. 3 L.R. 32/2012 e s.m. – Allegato A)

La modifica al vigente PRG del Comune di Sarzana relativa al lotto dell'edificio denominato Ex Colonia Olivetti, sito in Viale Litoraneo 110, località Marinella di Sarzana, prevede la possibilità di realizzare interventi sino alla ristrutturazione edilizia, con esclusione della demolizione e ricostruzione per quanto concerne l'edificio storico principale, per il quale non sono ammessi aumenti volumetrici, salvo l'inserimento di eventuali soppalchi a struttura leggera che non comportino variazioni delle bucature.

E' prevista inoltre la nuova costruzione con diversa collocazione rispetto ai fabbricati preesistenti demoliti con incremento volumetrico fino al 35%. I nuovi fabbricati non potranno avere altezza massima superiore alla quota della linea di gronda del fabbricato esistente e dovranno essere collocati nelle aree poste tra il fronte secondario del corpo principale e la strada litoranea, salvaguardando l'unitarietà della parte di parco compresa tra arenile e edificio storico.

E' ammessa la realizzazione di parcheggi pubblici e privati ad esclusione di quelli interrati. Le funzioni previste dalla nuova proposta di variante sono: strutture turistico ricettive, servizi privati, compresi RSA, riabilitazione e centri di formazione, funzioni direzionali, con esclusione delle attività artigianali ed industriali, commerciale, ad esclusione dell'edificio principale e pubblici esercizi, consentiti anche nell'edificio principale.

Tutte le funzioni proposte sono compatibili con il prevalente carattere residenziale del tessuto urbano circostante.

La tipologia di interventi e le destinazioni d'uso previste, non determinano alcuna condizione che comporti l'assoggettamento della variante urbanistica alle procedure di verifica/valutazione di impatto ambientale, in quanto non costituisce quadro di riferimento per l'approvazione dei progetti elencati negli allegati II, II-bis, III e IV del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m..

Stante quanto dianzi indicato la variante da apportare al PRG ricade nella disposizione di cui all'art. 3, comma 3, lett. b), della l.r. 32/2012 e s.m. e comporta pertanto la verifica ambientale di cui all'Allegato A di seguito riportata.

VERIFICA ALLEGATO A – art. 3 l.r. 32/2012 e s.m.

(Attestazioni ed estratti cartografia di riferimento riportati a fine documento)

| ELEMENTI DA VERIFICARE (ALLEGATO A) | | VERIFICA AMBIENTALE |
|--|--|--|
| 1 | Incremento del carico insediativo o modifica delle condizioni di deflusso all'interno di aree inondabili con tempo di ritorno fino a 200 anni | Nella vigente zonizzazione del Piano di Bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola, il lotto ricade in area ad elevata pericolosità idraulica con ritorno di piena trentennale: area PI4A nella "carta degli ambiti normativi delle aree inondabili". Lo specifico studio idraulico eseguito e di seguito allegato ha sviluppato un'attenta analisi di dettaglio del sito in questione e ha dimostrato come allo stato attuale dei luoghi, a seguito dell'esecuzione di diversi interventi di messa in sicurezza degli argini del torrente Parmignola, tale zonizzazione risulti superata in quanto l'area può essere considerata ad oggi sicura dal punto di vista idraulico. Si precisa inoltre che il progetto di messa in sicurezza del Torrente Parmignola, promosso dal Comune di Sarzana, prevede l'avvio di una seconda fase di interventi che miglioreranno ulteriormente le condizioni di deflusso della porzione terminale del torrente. A seguito dei risultati ottenuti, verrà avviato un procedimento di aggiornamento della zonizzazione del Piano di Bacino vigente. |
| 2 | Incremento del carico insediativo in aree a pericolosità geomorfologica elevata (Pg3 a e b) e molto elevata (Pg4) | Il lotto di Ex Colonia Olivetti non ricade in aree a pericolosità geomorfologica elevata (Pg3 a e b) e molto elevata (Pg4) come da Tav 3 della "Carta della pericolosità geomorfologica" del Piano di Bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola. L'area non ricade in alcuna classe di suscettività al dissesto. |
| 3 | Incremento del carico insediativo che interessa aree umide | Il lotto di Ex Colonia Olivetti non interessa aree umide. |

| | | |
|---|---|--|
| 4 | Incremento del carico insediativo che interessi aree carsiche | Il lotto di Ex Colonia Olivetti non interessa aree carsiche. |
| 5 | Incremento del carico insediativo che interessi elementi di connessione ecologica di cui alla Rete Ecologica Ligure (REL) | Il lotto di Ex Colonia Olivetti non interessa elementi di connessione della REL. |
| 6 | Incremento del carico insediativo in condizioni di carenza di dotazione idropotabile e/o di capacità depurativa, attestata dal competente gestore del servizio | La variante urbanistica proposta non comporta incremento del carico insediativo in condizioni di carenza di dotazione idropotabile e/o di capacità depurativa, come da attestazione allegata rilasciata dal gestore del servizio. |
| 7 | Varianti al P.T.C.P. Assetto Insediativo Locale, ai regimi normativi di Conservazione ed ai regimi normativi ANI-MA, IS-MA saturo, IS-MA-CPA, IS-MA che siano preordinate alla realizzazione di nuovi insediamenti o alla trasformazione di quelli esistenti | L'edificio di Ex Colonia Olivetti è identificato come ME – Manufatti Emergenti, per i quali è previsto un regime normativo di conservazione come descritto dall'art. 57 delle Norme di Attuazione del PTCP. La porzione di lotto compresa tra fabbricato storico e strada litoranea è invece identificata come ID TR-TU - Insediamenti Diffusi con regime normativo di trasformabilità (art. 47 Norme di Attuazione) in cui sono consentite operazioni di trasformazione del tessuto urbano. L'intervento di ristrutturazione edilizia senza demolizione e senza incrementi volumetrici esterni previsto per l'edificio storico e le prescrizioni imposte per il posizionamento e il dimensionamento delle nuove costruzioni ammesse, assicurano il mantenimento dell'identità dell'ex colonia e l'identificazione della testimonianza storica dell'assetto insediativo, compreso il rapporto tra manufatto storico e parco antistante. La variante proposta è quindi conforme con l'obiettivo della disciplina paesistica puntuale. |

Stanti gli esiti della verifica ambientale sopra indicata, la variante al PRG **non è soggetta** alla ulteriore verifica di assoggettabilità a VAS.



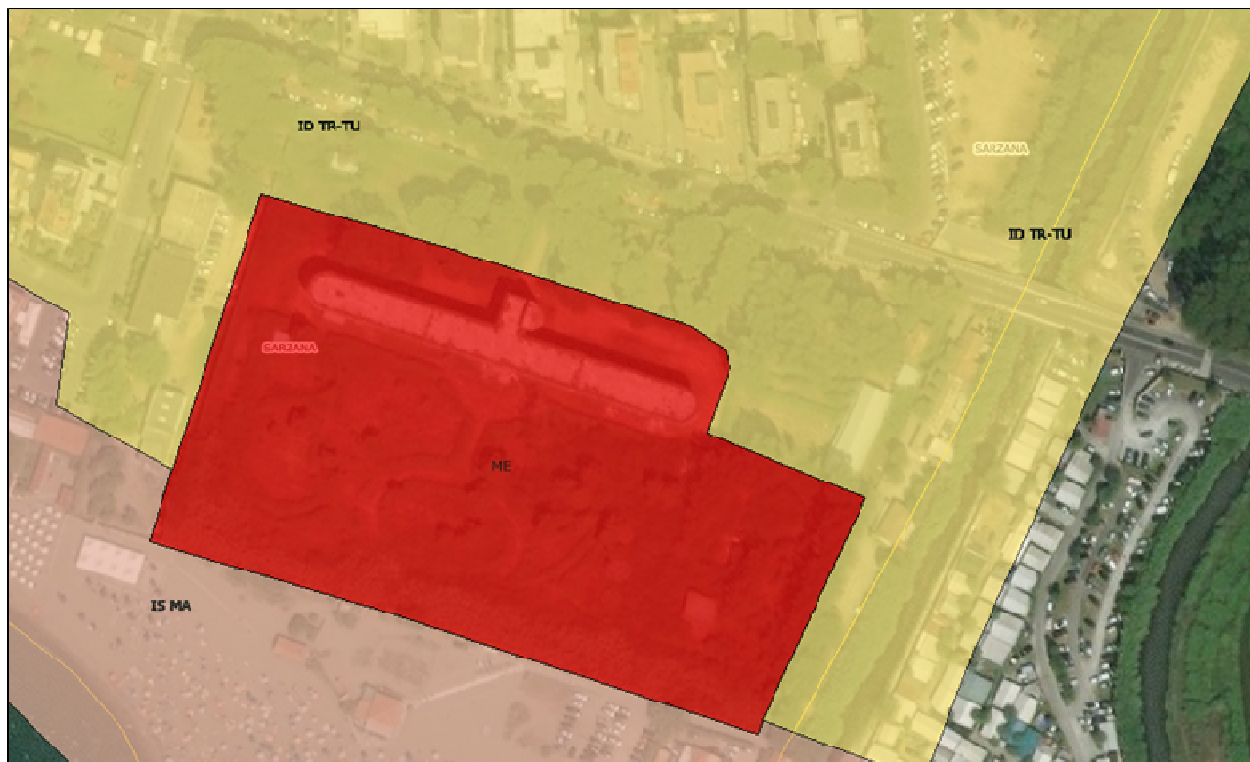
Estratto banca dati
Regione Liguria –
www.ambienteinliguria.it
sez. Natura, Libioss –
specie, grotte e zone
umide.



Estratto banca dati
Regione Liguria –
www.ambienteinliguria.it
sez. Acque, Piano
Tutela delle Acque –
Caratterizzazione acque
sotterranee.
Aree Carsiche.



Estratto banca dati
Regione Liguria –
www.ambienteinliguria.it
sez. Natura, Biodiversità
– Rete ecologica.



ME – Manufatti Emergenti – art. 57 Norme di Attuazione

ID TR-TU - Insediamenti Diffusi - Regime normativo di trasformabilità - art. 47 Norme di Attuazione

Estratto Tav. 52 – Assetto insediativo – Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico

La Spezia, 30 gennaio 2019

Prot: AQ000162- 2019 - P

Spett. le
ARTE Genova
c.a. Ing. Chiara Fasce

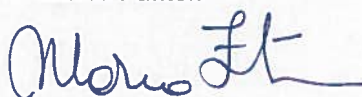
Oggetto: richiesta in merito all'idoneità delle condizioni di dotazione idropotabile e di capacità depurativa relativamente all'eventuale incremento di carico insediativo dovuto all'approvazione della variante ex Colonia Olivetti sita in comune di Sarzana.

Facendo seguito alla richiesta assunta a prot. Acam Acque con il numero AQ000390-2019-P del 25/01/2019, si comunica che, sulla base delle informazioni fornite, le infrastrutture facenti capo al SII (rete fognaria – impianto di depurazione e dotazione idrica) sono in grado di soddisfare la richiesta rappresentata dal nuovo insediamento.

Sarà necessario, al momento della definizione delle tipologie di utenze da servire per i diversi aspetti gestiti dai servizi, presentare espresse richieste ai sensi delle vigenti normative e dei regolamenti tecnici del gestore.

Restando a disposizione per eventuali chiarimenti, si porgono distinti saluti.

Il Direttore
Marco Fanton



Studio idraulico di dettaglio dell'area Ex Colonia Olivetti presso la sponda destra del torrente Parmignola

Relazione tecnica



This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Studio idraulico di dettaglio dell'area Ex Colonia Olivetti presso la sponda destra del torrente Parmignola

Relazione tecnica

Committente ARTE Genova
Referente del Committente ing. Chiara Fasce



Vista frontale dell'ex colonia Olivetti

| | |
|--------------------|---------------|
| Project manager | Alice Armaleo |
| Quality supervisor | Davide Persi |
| Author | Alice Armaleo |

| | |
|-----------------------------|-------------------|
| Codice progetto - elaborato | 22802490-01-00100 |
| Data di approvazione | 29/01/2018 |
| Revisione | 1.0 |
| Classificazione | Open |

INDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Premessa | 1 |
| 2 | Inquadramento territoriale | 2 |
| 3 | Descrizione del modello numerico..... | 6 |
| 4 | Analisi dei risultati | 11 |
| 4.1 | Scenario di stato attuale | 11 |
| 4.2 | Scenario di messa in sicurezza del tratto di monte del t.Parmignola..... | 18 |
| 5 | Conclusioni..... | 23 |

ALLEGATI

ALLEGATO A – MIKE 1D HD

Descrizione tecnica

ALLEGATO B – MIKE 21 HD

Descrizione tecnica

La presente nota tecnica riassume le analisi effettuate dagli scriventi col fine di valutare lo stato attuale di pericolosità idraulica del torrente Parmignola, con particolare focus sull'area dell'ex Colonia Olivetti, in località Marinella di Sarzana. Il lotto, situato in sponda destra nel tratto compreso tra il ponte litoraneo della SS432 e la foce, presenta una superficie complessiva di circa 2.9 km² e risulta classificato come area ad elevata pericolosità (fascia A) in base all'attuale perimetrazione adottata dal Piano di Bacino del Fiume Magra, come evidenziato in Figura 1.1. L'appartenenza alla fascia A comporta ad oggi, in base alla normativa vigente, l'impossibilità di effettuare interventi di nuova edificazione, di ampliamento dei manufatti esistenti e di recupero del patrimonio edilizio esistente, impedendo nella pratica la realizzazione di eventuali progetti di riqualificazione dell'area.

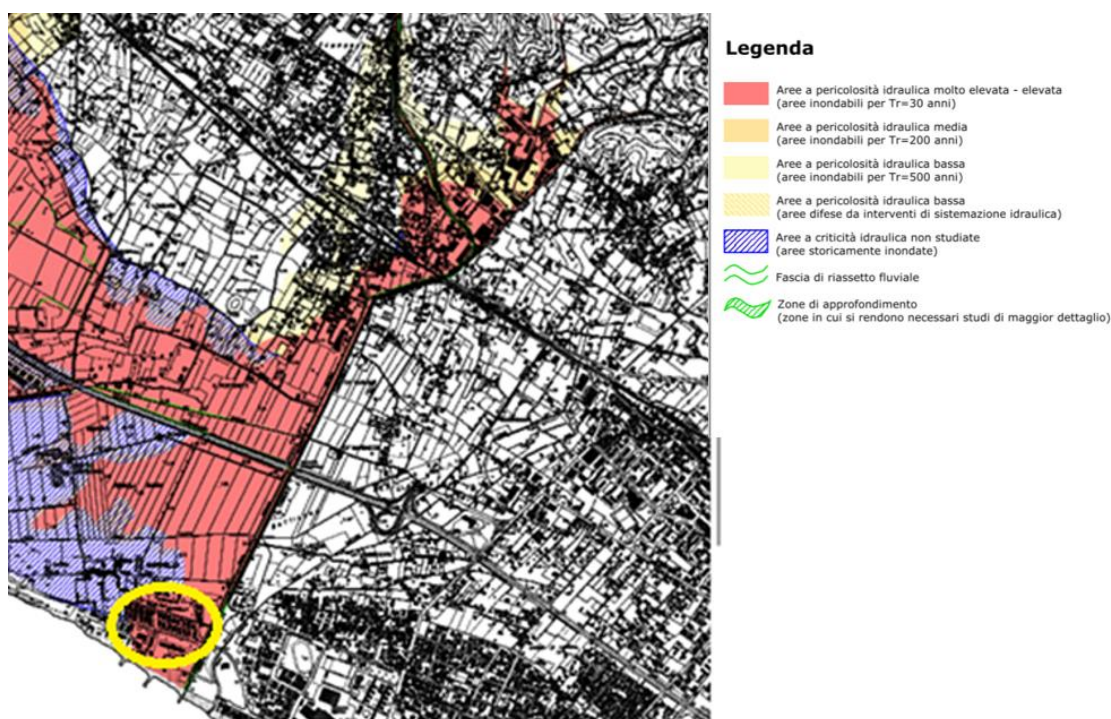


Figura 1.1 Perimetrazione attuale delle aree a diversa pericolosità idraulica; in giallo è cerchiata l'area dell'ex Colonia Olivetti.

Recentemente il tratto focivo del t. Parmignola è stato oggetto di interventi di sistemazione idraulica promossi dal Comune di Sarzana, che hanno riguardato in particolare l'adeguamento dell'arginatura di sponda destra per permettere il deflusso in alveo della portata duecentennale. Alla luce dei lavori svolti, risulta ad oggi necessaria una valutazione del nuovo stato di pericolosità idraulica dell'area dell'ex colonia.

Nel marzo 2017 gli scriventi avevano elaborato, per conto di Regione Liguria, uno studio idraulico denominato *"Incarico avente ad oggetto l'elaborazione di scenari di rischio idraulico relativi ad eventi di piena del torrente Parmignola in diverse configurazioni progettuali"*, in occasione del quale era stato implementato un modello di dettaglio accoppiato 1D-2D del t. Parmignola in ambiente MIKE FLOOD e utilizzato per la verifica idraulica di diverse configurazioni di stato attuale e di progetto, tra cui l'apertura del bypass idraulico del nodo di Dogana e la realizzazione degli interventi di sistemazione previsti per il tratto focivo. In questa sede, il modello esistente verrà opportunamente aggiornato per rispecchiare l'attuale configurazione del torrente e utilizzato per la simulazione degli eventi di piena trentennale e duecentennale, potendo così valutare in

dettaglio le nuove dinamiche idrauliche in alveo e di propagazione delle piene nel territorio limitrofo.



Figura 1.2 Vista aerea dell'area dell'ex colonia Olivetti, evidenziata in rosso.

2 Inquadramento territoriale

Come accennato in precedenza, l'area oggetto di studio accoglie un complesso immobiliare di carattere specialistico, nello specifico una ex colonia marina in stato di abbandono, con annesso un parco adiacente alla spiaggia. Al fine di ottenere una migliore conoscenza del luogo e rilevare eventuali elementi di interesse modellistico, gli scriventi hanno effettuato uno specifico sopralluogo in data 09/01/2019, durante il quale sono state acquisite le immagini riportate di seguito.

In primo luogo, è stata investigata la nuova arginatura realizzata recentemente lungo la sponda destra del tratto a valle della SS432. In Figura 2.1 viene riportata una panoramica della sponda vista dal ponte litoraneo, realizzata in base al progetto di sistemazione idraulica del tratto focivo del t.Parmignola promosso dal Comune di Sarzana. I lavori realizzati sono relativi ad un primo stralcio progettuale, che ha previsto l'innalzamento della sponda destra del corso d'acqua fino a quote prossime a quelle della sponda sinistra. Un secondo stralcio, la cui attuazione resta in attesa di ulteriori interventi di consolidamento delle difese idrauliche in sponda sinistra, prevede la riprofilatura del fondo alveo e la realizzazione delle scogliere di progetto.

Oltre all'arginatura, è stato ispezionato il perimetro di confine dell'ex colonia Olivetti, con particolare attenzione al lato adiacente al t. Parmignola. Figura 2.2 e Figura 2.3 mostrano il confine est dell'area di studio, fotografato rispettivamente dagli estremi nord e sud. Il sopralluogo ha permesso di individuare la presenza di un muro di altezza superiore a 2m che delimita la proprietà per un centinaio di metri circa, per poi lasciare spazio a una cancellata metallica che prosegue per tutta la lunghezza del confine. Girando verso ovest, il perimetro lato mare presenta nuovamente un muro, questa volta di altezza pari a circa 1m, sormontato dalla stessa cancellata già citata, come riportato in Figura 2.4. Per concludere, Figura 2.5 mostra come, lungo i lati nord

e ovest, il lotto risulta confinato da un muretto più basso, che anche in questo caso fa da base ad una cancellata metallica.

Come spiegato più in dettaglio nei successivi capitoli, l'individuazione degli elementi sovracitati ha permesso di aggiornare il modello bidimensionale esistente, apportando una rappresentazione di maggiore dettaglio dell'area di studio, essenziale per garantire la veridicità dei risultati in termini di direzioni preferenziali di deflusso e di altezze idriche sul terreno.



Figura 2.1 Nuova arginatura in sponda destra del tratto terminale del t.Parmignola, vista dal ponte litoraneo.



Figura 2.2 Confine est dell'area dell'ex colonia Olivetti, vista verso mare.



Figura 2.3 Confine est dell'area dell'ex colonia Olivetti, vista verso monte.



Figura 2.4 Confine sud dell'area dell'ex colonia Olivetti.



Figura 2.5 Confine nord dell'area dell'ex colonia Olivetti.

3 Descrizione del modello numerico

Per la simulazione degli eventi con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni è stato utilizzato il modello idrodinamico implementato dagli scriventi nell'ambito dello studio del torrente Parmignola nelle configurazioni di stato attuale e di progetto, commissionato da Regione Liguria nel 2016. Il modello è basato sul codice di calcolo MIKE FLOOD del DHI. MIKE FLOOD è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE HYDRO e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei quali si rimanda agli allegati A e B).

MIKE FLOOD presenta le seguenti caratteristiche principali:

- MIKE HYDRO e MIKE 21 rimangono singoli codici indipendenti l'un l'altro nella messa a punto, nell'interfaccia grafica e nell'input-output;
- una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci di MIKE HYDRO e MIKE 21 per gli scambi di flusso e la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

L'alveo del torrente è stato poi collegato dinamicamente alle aree laterali inondabili mediante speciali funzioni di MIKE FLOOD, nel rispetto delle reali quote di sponda. La modellazione accurata della dinamica di piena, effettuata con approccio bidimensionale, è stata estesa all'intera zona in esame, sia in sponda destra (area ligure) che in sponda sinistra (area toscana), rappresentata mediante un modello del terreno a celle quadrate di lato 2x2 m, contenente gli edifici e tutte le strutture in grado di avere effetto nella propagazione della piena stessa sul territorio.

Come accennato, il modello è stato in passato utilizzato per la simulazione di configurazioni di stato attuale e progettuale, per cui si erano individuati i seguenti scenari:

- Scenario 1: stato attuale del nodo SS Aurelia e FS e assenza di rotta in sponda destra;
- Scenario 2: stato attuale del nodo SS Aurelia e FS e ipotesi di rotta arginale come da evento del 2014;
- Scenario 3: attivazione del by-pass del nodo SS Aurelia e FS;
- Scenario 4: attivazione del by-pass del nodo SS Aurelia e FS ipotesi di nuova rottura arginale;
- Scenario 5: attivazione del by-pass del nodo SS Aurelia e FS interventi a valle della strada litoranea completati;
- Scenario 6: come lo scenario 5 e con la finestratura sotto il ponte autostradale chiusa.

Per l'utilizzo odierno, è stata considerata la schematizzazione geometrica di stato attuale relativamente al tratto a monte del ponte litoraneo, che corrisponde quindi a quanto simulato negli scenari 1 e 2, mentre sono state apportate le modifiche necessarie relativamente al tratto focivo, sulla base delle geometrie implementate per lo scenario 5 e 6.

Va però sottolineato che gli schemi di progetto forniti risultano relativi alla sistemazione completa del tratto vallivo di corso d'acqua, rappresentando anche l'abbassamento del fondo dell'alveo e la realizzazione della scogliera in massi. Non disponendo di ulteriori fonti geometriche, è stato deciso, in accordo con i tecnici dell'Autorità di Bacino interregionale del fiume Magra, di mantenere, a fini cautelativi, la morfologia delle sezioni trasversali come da rilievo relativo alla configurazione precedente ai recenti interventi di sistemazione idraulica, a cui sono state solo innalzate le quote di sponda destra secondo gli schemi progettuali. Figura 3.1 mostra un esempio di sezione trasversale nei suoi assetti di stato pre-arginatura, stato progettuale e geometria assunta in questa sede per rappresentare al meglio lo stato attuale, mentre in Tabella 3.1 sono

riportati negli dettagli gli assetti geometrici implementati per ciascun tratto di corso d'acqua modellato.

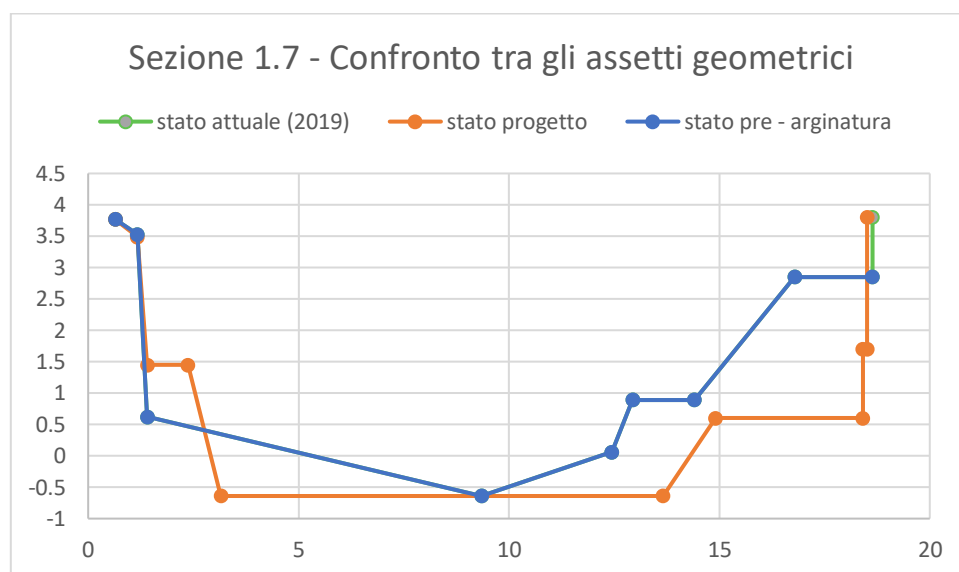


Figura 3.1 Confronto tra gli assetti geometrici di stato pre-arginatura (blu), stato progettuale (arancione) e stato attuale (verde) per la sezione 1.7 del modello. Si nota come la sezione di stato attuale combacia con la configurazione pre-arginatura a meno dell'argine destro, che è stato alzato fino a raggiungere la stessa quota dell'arginatura della sezione di progetto.

Tabella 3.1 Dati geometrici utilizzati nella schematizzazione della configurazione di stato attuale con la nuova arginatura di sponda destra nel tratto focivo.

| TORRENTE PARMIGNOLA | | | |
|---|----------------------|--------------------|---|
| Riferimento tratto | Progressiva iniziale | Progressiva finale | Descrizione origine dato o ipotesi di schematizzazione - Configurazione attuale |
| Da inizio del modello a monte (c.ca strada per Nicola) fino al nodo idraulico del ponte ferroviario | 0 | 1615.4 | Schematizzato utilizzando il rilievo dello studio del comune di Ortonovo del 2009. Le geometrie delle singole sezioni sono state importate dai file .sez forniti, mentre le geometrie dei manufatti sono state estratte dai file .pdf con l'ausilio di appositi strumenti di digitalizzazione. |
| Da nodo idraulico del ponte ferroviario fino a strada litoranea | 1673.2 | 3977.2 | Schematizzato utilizzando le sezioni estratte dal modello HEC RAS del 2015, basato sul rilievo del 2013. Il tratto a monte dell'autostrada, interessato dalla rotta arginale del 2014 (ad oggi ripristinata), è stato anch'esso modellato utilizzando le sezioni di HEC, che rappresentano l'arginatura ante rotta. è stata inoltre rappresentata la finestratura presente sotto il ponte autostradale abbassando di circa 90 cm l'argine destro delle sezioni 33 e 34. |
| Da strada litoranea fino a mare | 3977.2 | 4276 | Schematizzato utilizzando lo schema progettuale tratto dallo studio del comune di Sarzana del 2015.. |
| Nodo idraulico del ponte ferroviario / Bypass | 1615.4 | 1673.2 | Schematizzato utilizzando il rilievo dello studio del comune di Ortonovo del 2009. Nello specifico, per il ponte ferroviario è stata assunta una quota di intradosso pari a 11.8 m e una larghezza di deflusso pari a 6.7 m, mentre per il ponte della SS Aurelia una quota di intradosso pari a 11.64 m e una larghezza di deflusso pari a 7.15 m. |

L'aggiornamento delle sezioni di foce è stato effettuato all'interno della parte monodimensionale del modello globale. Per quanto riguarda la parte bidimensionale, atta a schematizzare il territorio circostante il torrente, sono state utilizzate le informazioni ottenute durante il sopralluogo. La griglia di calcolo è stata infatti dettagliata inserendo manualmente le quote reali degli elementi sovramontanti riscontrati lungo il perimetro dell'area di studio, ossia le murazioni descritte nel

capitolo 2. In Figura 3.2 è riportato il dettaglio dell'area di studio così come schematizzata nel modello 2D.

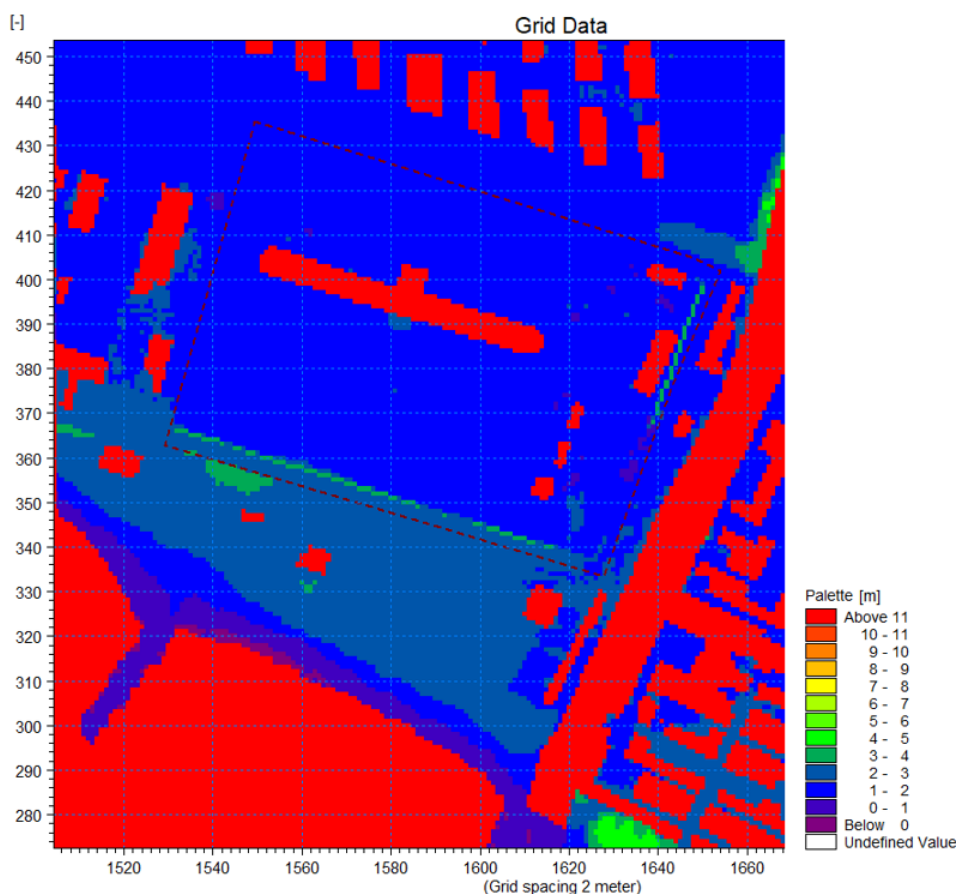


Figura 3.2 Dettaglio dell'area di studio schematizzata nella griglia di calcolo bidimensionale. In rosso sono rappresentate le celle della griglia escluse dal calcolo (ossia gli edifici, l'alveo inciso e il mare).

Il modello aggiornato come precedentemente descritto è stato utilizzato per simulare gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno di 30 e 200 anni, fornendo come input gli idrogrammi di piena ricavati dal "Piano Stralcio Assetto Idrogeologico del Fiume Magra e del Torrente Parmignola" e relativi alle sezioni di chiusura di Via Isola sul t.Parmignola e del canale Bocco, affluente in sinistra a monte della tombinatura del ponte ferroviario.

In aggiunta, è stata effettuata una terza simulazione, relativa al solo evento duecentennale, in cui si è simulato l'idrogramma associato al tratto finale del torrente, dato in entrata al modello a livello della SS432. Quest'ultima simulazione ipotizza il passaggio nel tratto focivo della portata totale generata dal bacino idrografico, situazione che si potrebbe verificare in caso di sistemazione idraulica definitiva della porzione di monte del torrente, tale per cui l'acqua venga contenuta in alveo fino al ponte litoraneo. Lo scopo è dunque valutare l'effettivo stato di pericolosità idraulica del tratto terminale del Parmignola legato dai fenomeni di laminazione attualmente causati dall'insufficienza idraulica delle arginature di monte.

Ricapitolando, sono stati analizzati i seguenti scenari:

1. Passaggio della portata trentennale nella configurazione di stato attuale;
2. Passaggio della portata duecentennale nella configurazione di stato attuale;
3. Passaggio della portata duecentennale nella configurazione di messa in sicurezza del corso d'acqua nel suo tratto a monte del ponte autostradale.

Tabella 3.2

Idrogrammi relativi alle sezioni di chiusura di Via Isola sul t.Parmignola (sinistra), del canale Bocco (centro) e del tratto finale del t.Parmignola (sinistra), per i tempi di ritorno studiati.

| Tempo [ore] | Tr 30 [mc/s] | Tr 200 [mc/s] |
|-------------|--------------|---------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0.25 | 0 | 0 |
| 0.5 | 0 | 0 |
| 0.75 | 0 | 0 |
| 1 | 0.05 | 0.03 |
| 1.25 | 0.49 | 0.39 |
| 1.5 | 3.48 | 2.52 |
| 1.75 | 44.33 | 10.75 |
| 2 | 96.67 | 83.64 |
| 2.25 | 97.74 | 161 |
| 2.5 | 74.98 | 154.1 |
| 2.75 | 54.15 | 113.7 |
| 3 | 40.17 | 80.06 |
| 3.25 | 31.49 | 58.44 |
| 3.5 | 23.62 | 45.36 |
| 3.75 | 14.88 | 33.47 |
| 4 | 7.84 | 20.56 |
| 4.25 | 3.65 | 10.52 |
| 4.5 | 1.61 | 4.79 |
| 4.75 | 0.71 | 2.09 |
| 5 | 0 | 0.91 |
| 5.25 | 0 | 0.15 |
| 5.5 | 0 | 0 |
| 5.75 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |

| Tempo [ore] | Tr 30 [mc/s] | Tr 200 [mc/s] |
|-------------|--------------|---------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0.25 | 0 | 0 |
| 0.5 | 0 | 0 |
| 0.75 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1.25 | 0.09 | 0.06 |
| 1.5 | 1.15 | 0.75 |
| 1.75 | 18.7 | 3.61 |
| 2 | 35.4 | 30.9 |
| 2.25 | 29.55 | 54.66 |
| 2.5 | 19.65 | 44.32 |
| 2.75 | 13.41 | 28.73 |
| 3 | 9.89 | 19.2 |
| 3.25 | 7.83 | 13.87 |
| 3.5 | 5.57 | 10.86 |
| 3.75 | 3.05 | 7.48 |
| 4 | 1.3 | 3.76 |
| 4.25 | 0.52 | 1.55 |
| 4.5 | 0.21 | 0.62 |
| 4.75 | 0.09 | 0.25 |
| 5 | 0 | 0.1 |
| 5.25 | 0 | 0 |
| 5.5 | 0 | 0 |
| 5.75 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |

| Tempo [ore] | Tr 200 [mc/s] |
|-------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 0.25 | 0 |
| 0.5 | 0 |
| 0.75 | 0 |
| 1 | 0.03 |
| 1.25 | 0.45 |
| 1.5 | 3.27 |
| 1.75 | 14.36 |
| 2 | 114.54 |
| 2.25 | 215.67 |
| 2.5 | 198.4 |
| 2.75 | 142.46 |
| 3 | 99.26 |
| 3.25 | 72.31 |
| 3.5 | 56.22 |
| 3.75 | 40.95 |
| 4 | 24.32 |
| 4.25 | 12.07 |
| 4.5 | 5.41 |
| 4.75 | 2.34 |
| 5 | 1.01 |
| 5.25 | 0 |
| 5.5 | 0 |
| 5.75 | 0 |
| 6 | 0 |

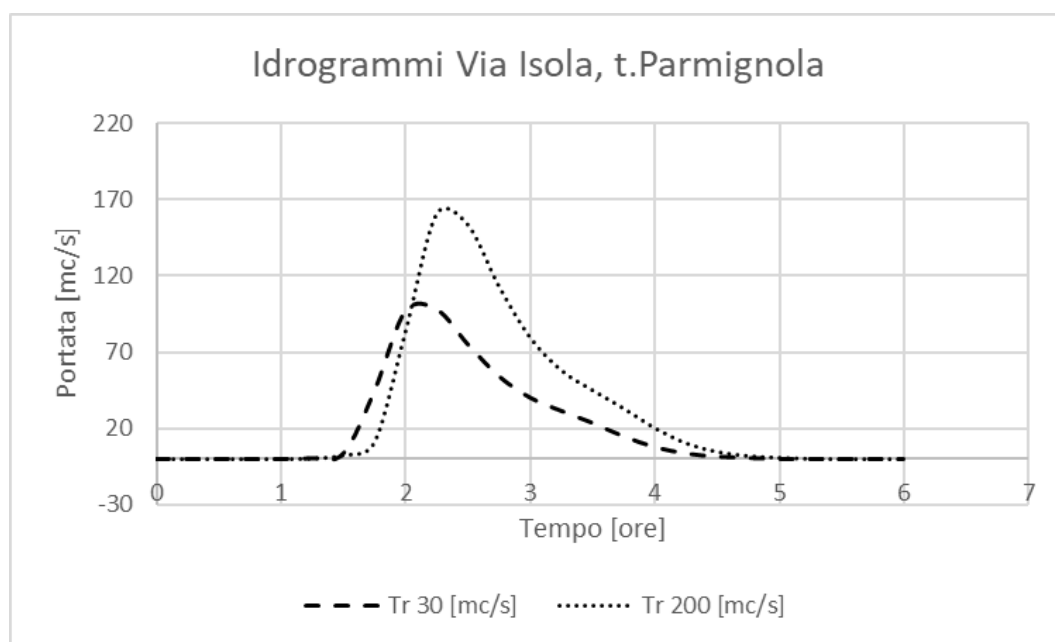


Figura 3.3 Idrogrammi trentennale e duecentennale presso la sezione di chiusura di Via Isola, t.Parmignola.

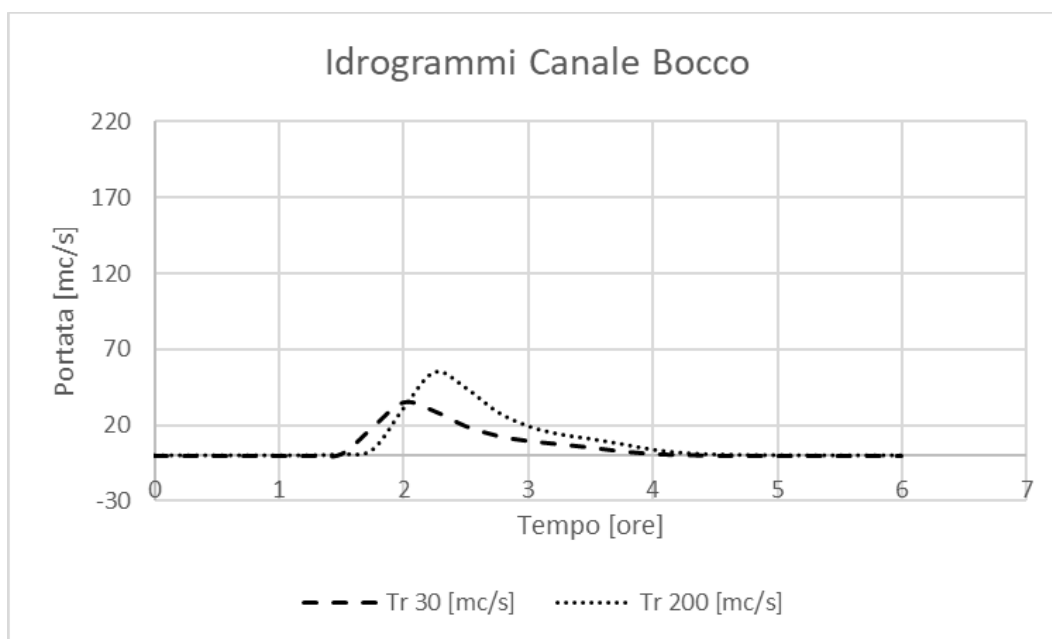


Figura 3.4 Idrogrammi trentennale e duecentennale presso la sezione di chiusura di del canale Bocco.

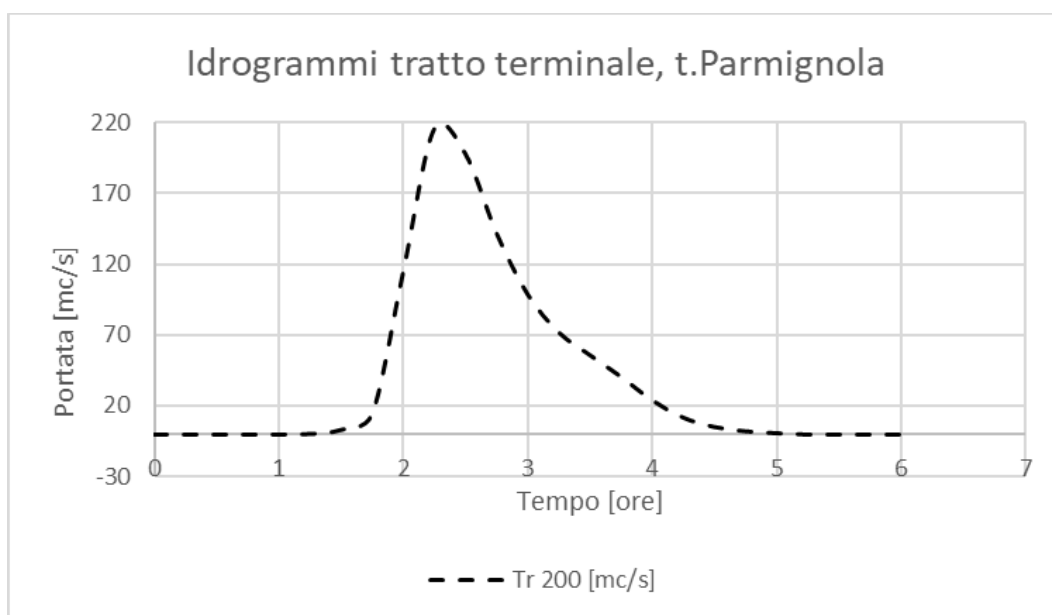


Figura 3.5 Idrogramma duecentennale presso la sezione di chiusura di del tratto terminale del t.Parmignola.

Per un maggiore dettaglio sugli specifici parametri impostati nel modello, si rimanda alla relazione tecnica *“Incarico avente ad oggetto l’elaborazione di scenari di rischio idraulico relativi ad eventi di piena del torrente Parmignola in diverse configurazioni progettuali”*, elaborato dagli scriventi nel febbraio 2016 in occasione della prima implementazione del modello idrodinamico del t.Parmignola.

4 Analisi dei risultati

4.1 Scenario di stato attuale

I risultati dello scenario di stato attuale sono riportati in termini di grandezze idrodinamiche in alveo in Tabella 4.1 e Tabella 4.2, mentre i massimi tiranti idrici e velocità di scorrimento sono riportati rispettivamente in Figura 4.1 e Figura 4.3 in relazione all'evento di piena trentennale, in Figura 4.3 e Figura 4.4 in relazione all'evento di piena duecentennale. Dalle carte si evince che il deflusso di entrambi gli eventi simulati non provoca alcun sormonto spondale nel tratto litoraneo. Di conseguenza, l'area corrispondente all'ex colonia Olivetti, delineata in rosso nelle immagini, risulta asciutta.

In base a queste risultanze, l'area oggetto di analisi apparirebbe quindi svincolata dalle norme vigenti per i territori ricadenti nella fascia B di pericolosità idraulica. Tuttavia è già stato spiegato come, a fini cautelativi, sia necessario analizzare uno scenario aggiuntivo che preveda la sistemazione idraulica di tutto il tratto a monte del ponte litoraneo della SS342, in modo da valutare la pericolosità idraulica nella situazione più gravosa che si potrebbe generare nel tratto focivo. Nel paragrafo seguente si riportano i risultati di tale scenario.

Tabella 4.1 Tabella delle grandezze idrodinamiche in alveo nel tratto del t.Parmignola a valle del ponte autostradale in caso di evento trentennale.

| Torrente Parmignola – Tratto a valle del ponte autostradale – TR 30 | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|
| ID sezione | Progressiva [m] | Quota del fondo [mslm] | Quota sponda sx [mslm] | Quota sponda dx [mslm] | Pelo libero [mslm] | Franco minimo [m] | Portata [m³/s] | Velocità [m/s] |
| 33 | 3004.79 | 3.29 | 6.67 | 6.67 | 5.86 | 0.81 | 78.87 | 2.61 |
| 32 | 3034.02 | 3.30 | 6.23 | 6.24 | 5.66 | 0.57 | 78.87 | 3.13 |
| 31 | 3062.72 | 3.16 | 6.22 | 5.95 | 5.51 | 0.44 | 78.87 | 3.08 |
| 30 | 3093.22 | 2.93 | 6.07 | 5.93 | 5.40 | 0.53 | 78.87 | 2.42 |
| 29 | 3124.41 | 2.93 | 5.98 | 5.90 | 5.32 | 0.58 | 78.86 | 2.77 |
| 28 | 3148.29 | 2.47 | 5.92 | 5.92 | 5.23 | 0.69 | 78.86 | 3.40 |
| 27 | 3186.14 | 2.35 | 5.85 | 5.79 | 5.13 | 0.66 | 78.85 | 3.14 |
| 26 | 3218.68 | 2.35 | 5.79 | 5.73 | 5.04 | 0.69 | 78.85 | 2.25 |
| 25 | 3247.86 | 2.17 | 5.73 | 5.74 | 4.92 | 0.81 | 78.85 | 2.46 |
| 24 | 3278.73 | 2.34 | 5.61 | 5.55 | 4.82 | 0.73 | 78.84 | 4.65 |
| 23 | 3307.68 | 2.17 | 5.50 | 5.43 | 4.74 | 0.69 | 78.84 | 2.54 |
| 22 | 3337.51 | 2.05 | 5.39 | 5.28 | 4.64 | 0.65 | 78.83 | 4.32 |
| 21 | 3368.95 | 1.83 | 5.27 | 5.11 | 4.56 | 0.55 | 78.83 | 2.47 |
| 20 | 3399.66 | 1.90 | 5.15 | 5.15 | 4.46 | 0.69 | 78.82 | 5.68 |
| 19 | 3436.03 | 1.62 | 5.10 | 5.06 | 4.34 | 0.72 | 78.82 | 2.54 |
| 18 | 3460.73 | 1.59 | 5.07 | 4.93 | 4.27 | 0.67 | 78.81 | 2.48 |
| 17 | 3489.92 | 1.47 | 5.04 | 4.93 | 4.16 | 0.77 | 78.81 | 3.80 |
| 16 | 3520.25 | 1.20 | 5.00 | 4.99 | 4.05 | 0.94 | 78.81 | 4.50 |
| 15 | 3550.55 | 1.09 | 4.96 | 4.96 | 3.94 | 1.03 | 78.80 | 3.23 |
| 14 | 3581.00 | 0.93 | 4.89 | 4.87 | 3.84 | 1.03 | 78.80 | 3.07 |
| 13 | 3611.12 | 0.81 | 4.81 | 4.74 | 3.74 | 1.00 | 78.79 | 3.84 |
| 12 | 3640.68 | 0.88 | 4.67 | 4.54 | 3.64 | 0.90 | 78.79 | 2.32 |
| 11 | 3669.45 | 0.82 | 4.53 | 4.50 | 3.54 | 0.96 | 78.78 | 3.49 |
| 10 | 3698.67 | 0.79 | 4.44 | 4.44 | 3.46 | 0.98 | 78.78 | 2.62 |
| 9 | 3729.14 | 0.50 | 4.47 | 4.23 | 3.37 | 0.87 | 78.77 | 2.17 |
| 8 | 3760.01 | 0.51 | 4.43 | 4.21 | 3.28 | 0.93 | 78.77 | 2.15 |
| 7 | 3790.59 | 0.28 | 4.40 | 4.07 | 3.16 | 0.91 | 78.76 | 2.27 |
| 6 | 3821.01 | 0.23 | 4.13 | 4.00 | 3.09 | 0.92 | 78.76 | 2.14 |
| 5 | 3852.98 | 0.12 | 4.09 | 3.86 | 3.03 | 0.83 | 78.75 | 1.93 |
| 4.6 | 3883.88 | 0.11 | 4.02 | 3.84 | 2.95 | 0.89 | 78.75 | 2.01 |
| 4.5 | 3914.47 | 0.10 | 3.90 | 3.74 | 2.89 | 0.86 | 78.75 | 1.96 |
| 4.4 | 3946.78 | 0.00 | 3.90 | 3.71 | 2.83 | 0.88 | 78.74 | 1.89 |
| 4.3 | 3977.17 | 0.21 | 4.25 | 4.25 | 2.66 | 1.59 | 78.74 | 2.48 |
| 4.21 | 3989.00 | 0.16 | 4.20 | 4.20 | 2.62 | 1.58 | 78.74 | 2.47 |
| 4.2 | 3991.31 | -0.30 | 3.81 | 4.00 | 2.64 | 1.17 | 78.74 | 2.28 |
| 4.1 | 3997.81 | -0.52 | 3.81 | 4.00 | 2.64 | 1.17 | 78.74 | 2.17 |
| 3 | 4024.03 | -0.40 | 3.85 | 3.80 | 2.51 | 1.29 | 78.74 | 2.47 |
| 2 | 4045.21 | -0.47 | 3.75 | 3.80 | 2.42 | 1.33 | 78.74 | 2.57 |
| 1.9 | 4061.10 | -0.51 | 3.75 | 3.80 | 2.25 | 1.50 | 78.74 | 3.32 |
| 1.8 | 4080.14 | -0.57 | 3.77 | 3.80 | 2.31 | 1.46 | 78.74 | 1.41 |
| 1.7 | 4103.53 | -0.64 | 3.77 | 3.80 | 2.11 | 1.66 | 78.74 | 2.83 |
| 1.6 | 4142.36 | 0.39 | 3.96 | 3.31 | 1.85 | 1.46 | 78.74 | 3.44 |
| 1.5 | 4154.79 | -0.46 | 1.98 | 3.16 | 1.78 | 0.20 | 78.74 | 3.04 |
| 1.42 | 4174.79 | -0.60 | 1.69 | 3.16 | 1.73 | -0.04 | 78.74 | 2.61 |
| 1.4 | 4210.54 | -0.58 | 1.69 | 2.12 | 1.50 | 0.19 | 78.74 | 3.32 |
| 1.3 | 4227.86 | -0.33 | 2.09 | 2.00 | 1.35 | 0.65 | 78.74 | 3.29 |
| 1.2 | 4254.32 | -0.45 | 1.87 | 1.28 | 1.08 | 0.20 | 78.74 | 3.50 |
| 1.1 | 4276.00 | -1.42 | 1.41 | 1.01 | 0.80 | 0.21 | 78.74 | 2.08 |

Tabella 4.2 Tabella delle grandezze idrodinamiche in alveo nel tratto del t.Parmignola a valle del ponte autostradale in caso di evento duecentennale.

| Torrente Parmignola – Tratto a valle del ponte autostradale – TR 200 | | | | | | | | |
|--|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|
| ID sezione | Progressiva [m] | Quota del fondo [mslm] | Quota sponda sx [mslm] | Quota sponda dx [mslm] | Pelo libero [mslm] | Franco minimo [m] | Portata [m³/s] | Velocità [m/s] |
| 33 | 3004.79 | 3.29 | 6.67 | 6.67 | 5.99 | 0.68 | 88.09 | 2.74 |
| 32 | 3034.02 | 3.30 | 6.23 | 6.24 | 5.79 | 0.44 | 88.09 | 3.27 |
| 31 | 3062.72 | 3.16 | 6.22 | 5.95 | 5.64 | 0.31 | 88.08 | 2.86 |
| 30 | 3093.22 | 2.93 | 6.07 | 5.93 | 5.53 | 0.40 | 88.08 | 2.52 |
| 29 | 3124.41 | 2.93 | 5.98 | 5.90 | 5.45 | 0.45 | 88.07 | 2.25 |
| 28 | 3148.29 | 2.47 | 5.92 | 5.92 | 5.36 | 0.57 | 88.07 | 2.35 |
| 27 | 3186.14 | 2.35 | 5.85 | 5.79 | 5.26 | 0.54 | 88.06 | 2.21 |
| 26 | 3218.68 | 2.35 | 5.79 | 5.73 | 5.17 | 0.56 | 88.06 | 2.18 |
| 25 | 3247.86 | 2.17 | 5.73 | 5.74 | 5.05 | 0.68 | 88.05 | 2.36 |
| 24 | 3278.73 | 2.34 | 5.61 | 5.55 | 4.95 | 0.61 | 88.04 | 4.02 |
| 23 | 3307.68 | 2.17 | 5.50 | 5.43 | 4.87 | 0.56 | 88.03 | 2.23 |
| 22 | 3337.51 | 2.05 | 5.39 | 5.28 | 4.77 | 0.52 | 88.03 | 2.31 |
| 21 | 3368.95 | 1.83 | 5.27 | 5.11 | 4.69 | 0.42 | 88.03 | 2.66 |
| 20 | 3399.66 | 1.90 | 5.15 | 5.15 | 4.59 | 0.56 | 88.02 | 2.26 |
| 19 | 3436.03 | 1.62 | 5.10 | 5.06 | 4.47 | 0.60 | 88.01 | 2.28 |
| 18 | 3460.73 | 1.59 | 5.07 | 4.93 | 4.39 | 0.54 | 88.00 | 2.38 |
| 17 | 3489.92 | 1.47 | 5.04 | 4.93 | 4.28 | 0.65 | 88.00 | 2.30 |
| 16 | 3520.25 | 1.20 | 5.00 | 4.99 | 4.18 | 0.81 | 87.99 | 2.31 |
| 15 | 3550.55 | 1.09 | 4.96 | 4.96 | 4.07 | 0.89 | 87.99 | 2.36 |
| 14 | 3581.00 | 0.93 | 4.89 | 4.87 | 3.97 | 0.90 | 87.98 | 4.11 |
| 13 | 3611.12 | 0.81 | 4.81 | 4.74 | 3.87 | 0.87 | 87.97 | 2.30 |
| 12 | 3640.68 | 0.88 | 4.67 | 4.54 | 3.78 | 0.76 | 87.97 | 2.29 |
| 11 | 3669.45 | 0.82 | 4.53 | 4.50 | 3.68 | 0.82 | 87.96 | 3.68 |
| 10 | 3698.67 | 0.79 | 4.44 | 4.44 | 3.59 | 0.85 | 87.96 | 2.26 |
| 9 | 3729.14 | 0.50 | 4.47 | 4.23 | 3.50 | 0.73 | 87.95 | 2.25 |
| 8 | 3760.01 | 0.51 | 4.43 | 4.21 | 3.42 | 0.80 | 87.95 | 2.24 |
| 7 | 3790.59 | 0.28 | 4.40 | 4.07 | 3.30 | 0.77 | 87.94 | 2.36 |
| 6 | 3821.01 | 0.23 | 4.13 | 4.00 | 3.23 | 0.77 | 87.93 | 2.19 |
| 5 | 3852.98 | 0.12 | 4.09 | 3.86 | 3.17 | 0.69 | 87.93 | 2.01 |
| 4.6 | 3883.88 | 0.11 | 4.02 | 3.84 | 3.09 | 0.75 | 87.93 | 2.08 |
| 4.5 | 3914.47 | 0.10 | 3.90 | 3.74 | 3.03 | 0.71 | 87.93 | 2.03 |
| 4.4 | 3946.78 | 0.00 | 3.90 | 3.71 | 2.97 | 0.74 | 87.93 | 1.96 |
| 4.3 | 3977.17 | 0.21 | 4.25 | 4.25 | 2.79 | 1.46 | 87.92 | 2.59 |
| 4.21 | 3989.00 | 0.16 | 4.20 | 4.20 | 2.75 | 1.45 | 87.92 | 2.58 |
| 4.2 | 3991.31 | -0.30 | 3.81 | 4.00 | 2.77 | 1.04 | 87.92 | 2.41 |
| 4.1 | 3997.81 | -0.52 | 3.81 | 4.00 | 2.77 | 1.04 | 87.92 | 2.30 |
| 3 | 4024.03 | -0.40 | 3.85 | 3.80 | 2.64 | 1.16 | 87.92 | 2.61 |
| 2 | 4045.21 | -0.47 | 3.75 | 3.80 | 2.53 | 1.22 | 87.92 | 2.71 |
| 1.9 | 4061.10 | -0.51 | 3.75 | 3.80 | 2.37 | 1.38 | 87.93 | 3.45 |
| 1.8 | 4080.14 | -0.57 | 3.77 | 3.80 | 2.42 | 1.35 | 87.93 | 1.50 |
| 1.7 | 4103.53 | -0.64 | 3.77 | 3.80 | 2.20 | 1.57 | 87.93 | 3.01 |
| 1.6 | 4142.36 | 0.39 | 3.96 | 3.31 | 1.94 | 1.37 | 87.93 | 3.62 |
| 1.5 | 4154.79 | -0.46 | 1.98 | 3.16 | 1.86 | 0.12 | 87.93 | 3.24 |
| 1.42 | 4174.79 | -0.60 | 1.69 | 3.16 | 1.79 | -0.10 | 87.93 | 2.80 |
| 1.4 | 4210.54 | -0.58 | 1.69 | 2.12 | 1.58 | 0.11 | 87.93 | 3.54 |
| 1.3 | 4227.86 | -0.33 | 2.09 | 2.00 | 1.41 | 0.59 | 87.93 | 3.52 |
| 1.2 | 4254.32 | -0.45 | 1.87 | 1.28 | 1.12 | 0.16 | 87.93 | 3.79 |
| 1.1 | 4276.00 | -1.42 | 1.41 | 1.01 | 0.80 | 0.21 | 87.94 | 2.32 |

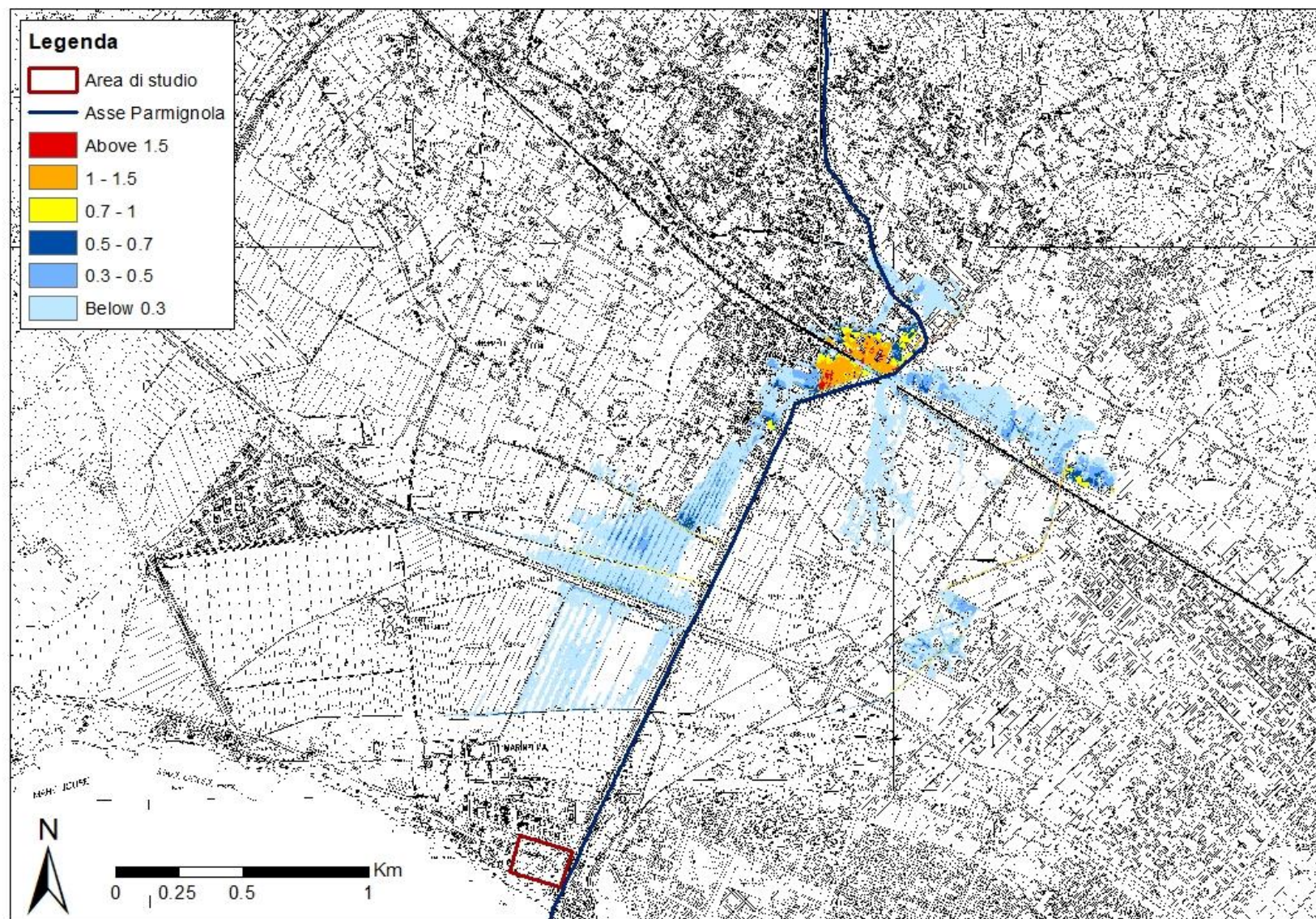


Figura 4.1 T.Parmignola - Carta dei tiranti massimi, espressi in metri, in caso di evento trentennale nella configurazione di stato attuale.

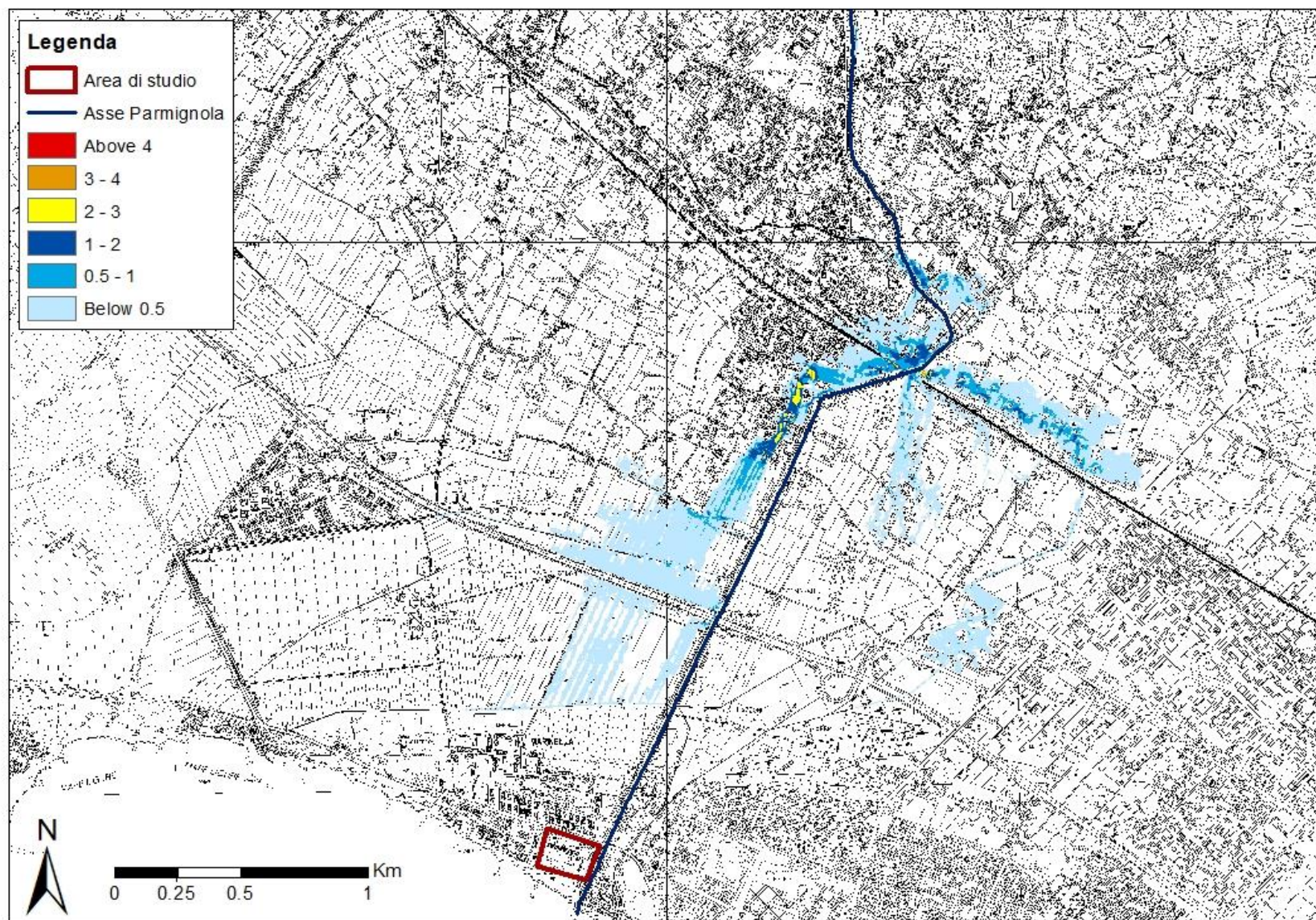


Figura 4.2 T.Parmignola - Carta delle velocità massime, espresse in metri al secondo, in caso di evento trentennale nella configurazione di stato attuale.

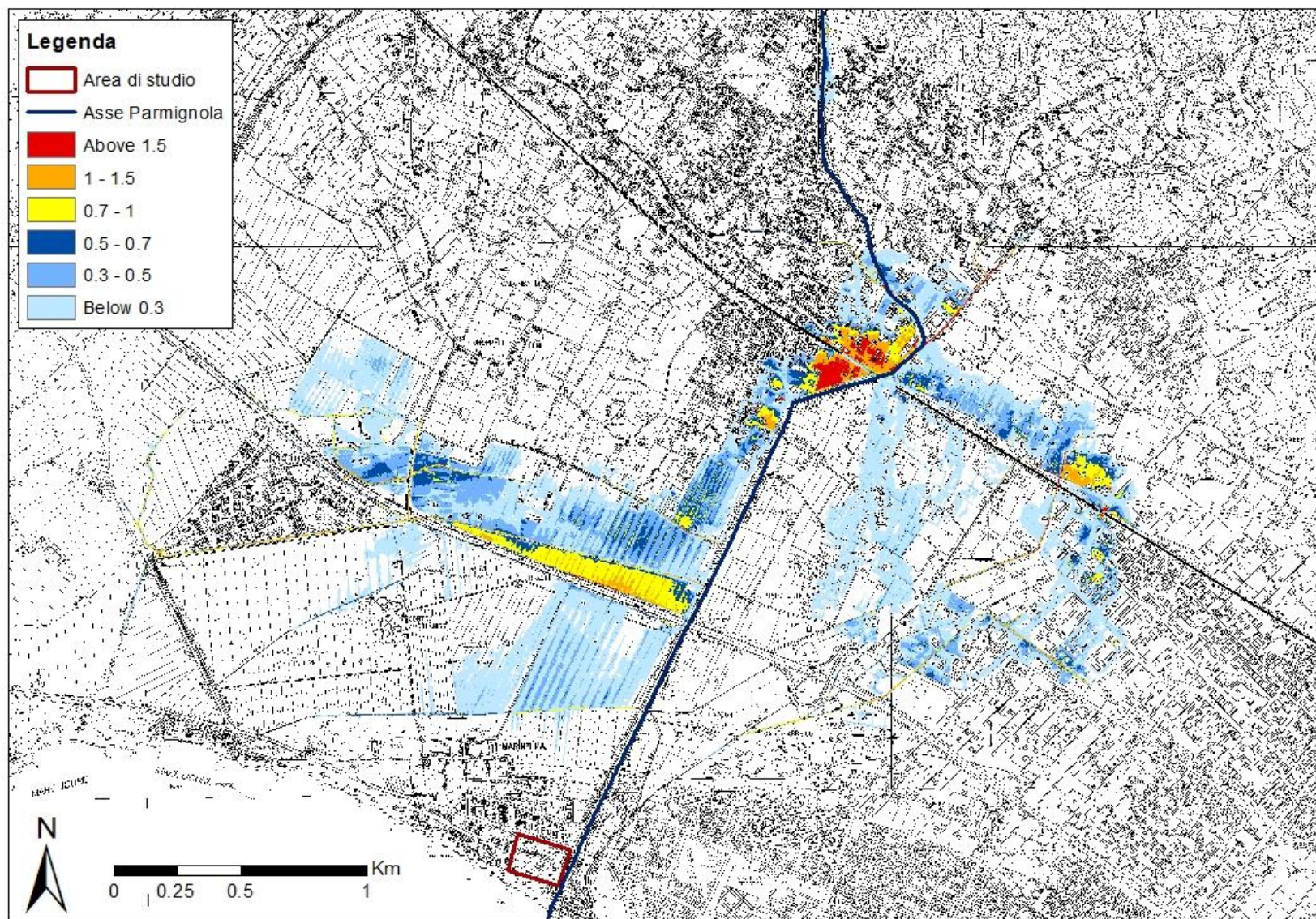


Figura 4.3 T.Parmignola - Carta dei tiranti massimi, espressi in metri, in caso di evento duecentennale nella configurazione di stato attuale.

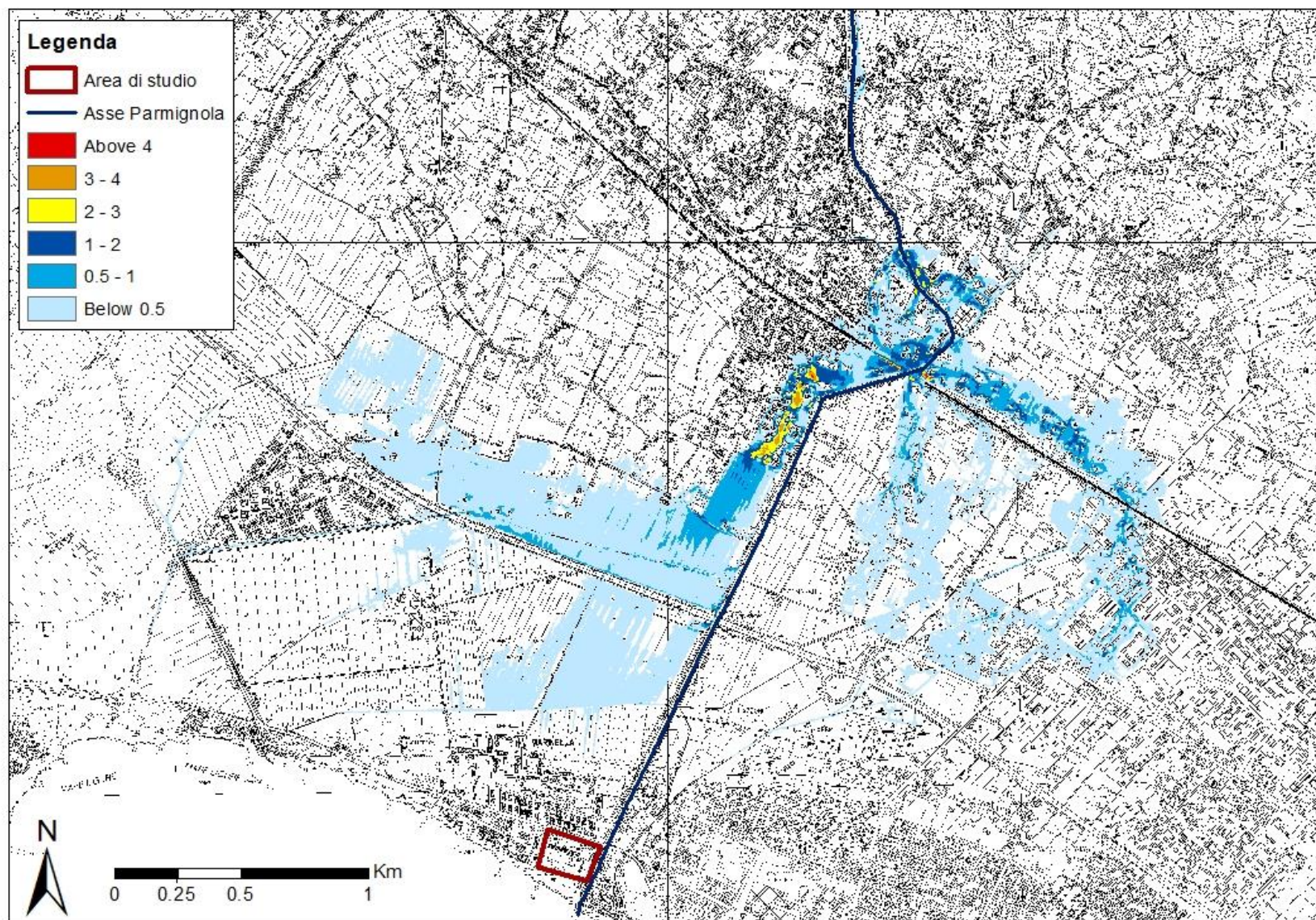


Figura 4.4 T.Parmignola - Carta delle velocità massime, espresse in metri al secondo, in caso di evento duecentennale nella configurazione di stato attuale.

4.2 Scenario di messa in sicurezza del tratto di monte del t.Parmignola

In Figura 4.5 è riportato il profilo longitudinale ottenuto simulando la portata duecentennale nel tratto focivo, nello scenario di messa in sicurezza del tratto di monte del t.Parmignola. Dall'immagine si evince che l'alveo non è in grado di contenere interamente la portata defluente, risultando in sormonti spondali sia in destra che in sinistra idraulica. Le prime esondazioni si manifestano subito a monte del ponte litoraneo, in corrispondenza delle sezioni 4.2, 4.1 e 3, anche se le più gravose riguardano il tratto più a valle compreso tra le sezioni 1.5 e 1.3, dove risulta evidente l'insufficienza dell'arginatura di sponda sinistra.

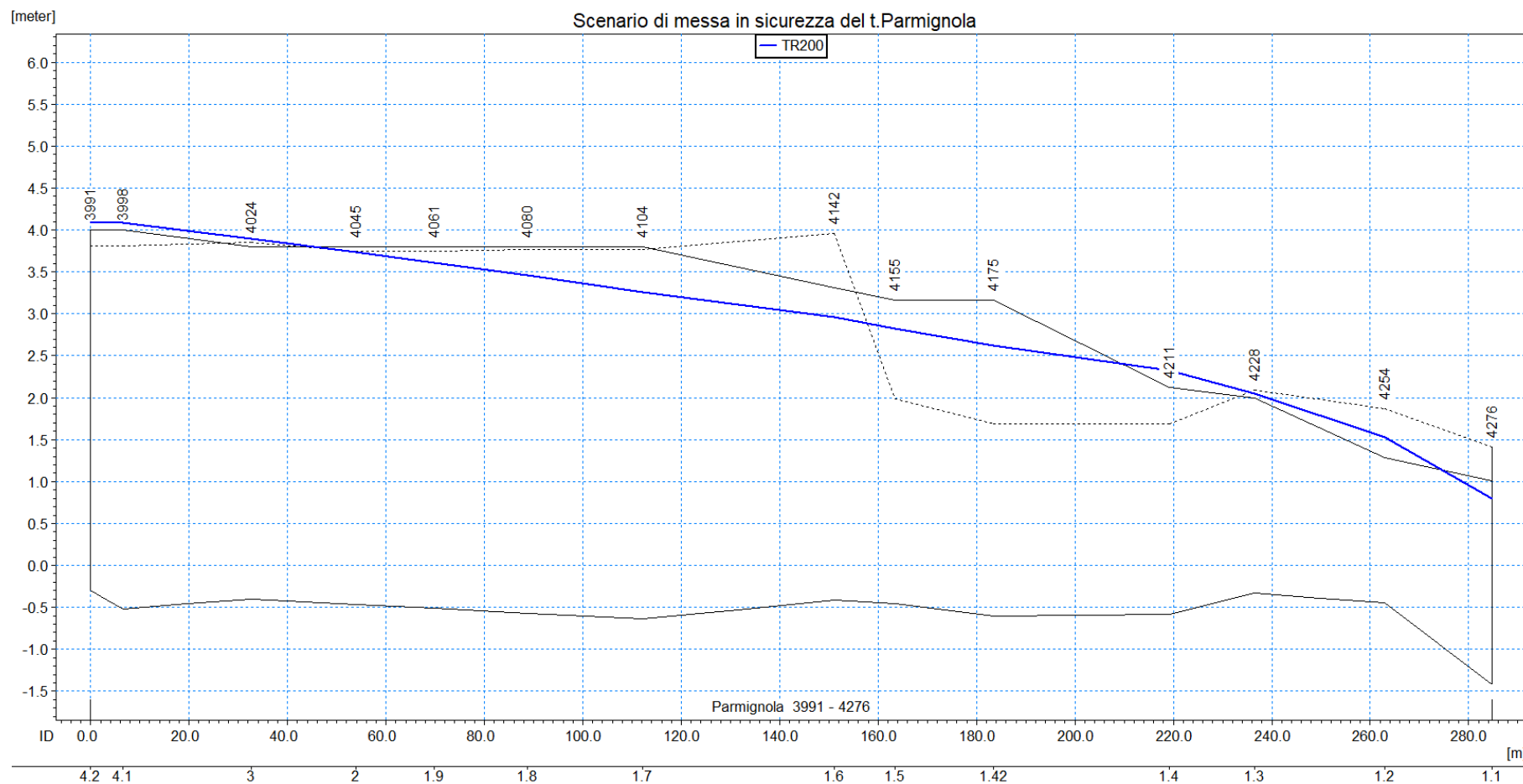


Figura 4.5 Profilo longitudinale del tratto focivo del t.Parmignola in caso di evento duecentennale, nello scenario di messa in sicurezza del tratto di monte.

In Figura 4.6 e Figura 4.7 vengono invece riportati i risultati rispettivamente in termini di tiranti idrici e velocità di scorrimento, in relazione all'area fociva del t.Parmignola. Dalle immagini si evince, come già anticipato precedentemente, il verificarsi dell'inondazione delle aree limitrofe ad entrambi gli argini. In particolare, in sponda destra si osservano accumuli idrici caratterizzati da altezze idrometriche sempre inferiori ai 50 cm e localizzati lungo la strada che corre parallela all'alveo lungo il confine est del lotto dell'ex colonia Olivetti. Dalla strada, le acque esondate scorrono verso nord-ovest, raggiungendo, con velocità inferiori al metro al secondo, le abitazioni che si affacciano sul viale litoraneo.

L'area di studio, perimetrata in rosso in figura, viene interessata da inondazioni molto limitate, sia in termini di espansione (essendo circoscritte a piccole porzioni di giardino confinanti con le strade carrabili esterne) che di magnitudo, trattandosi di accumuli caratterizzati da tiranti idrici inferiori ai 30 cm e velocità mai superiori a 0.5 m/s.

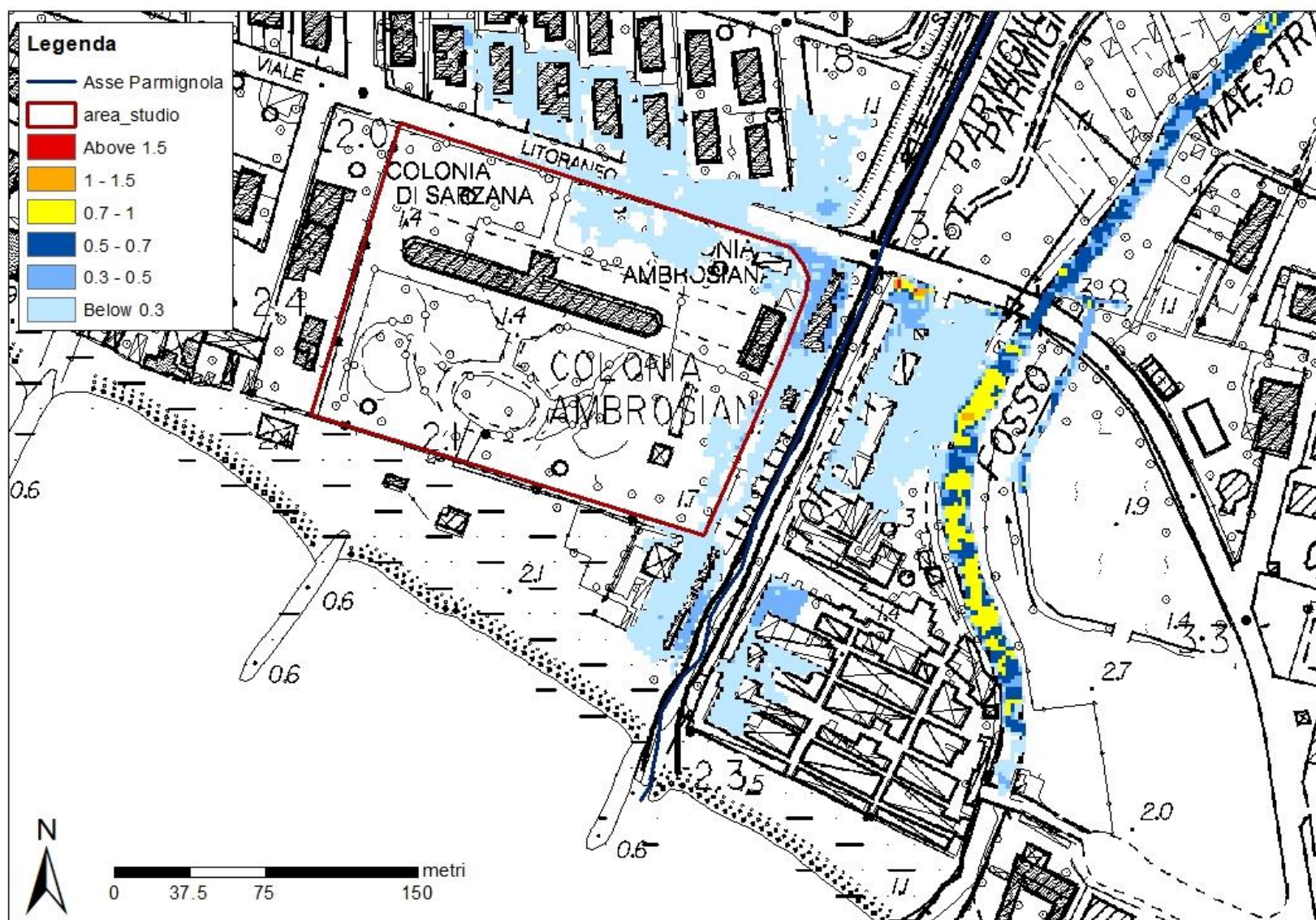


Figura 4.6 T.Parmignola - Carta dei tiranti massimi, espressi in metri, relativi all'area fociva, in caso di evento duecentennale nella configurazione di messa in sicurezza del tratto del torrente a monte del viale litoraneo.

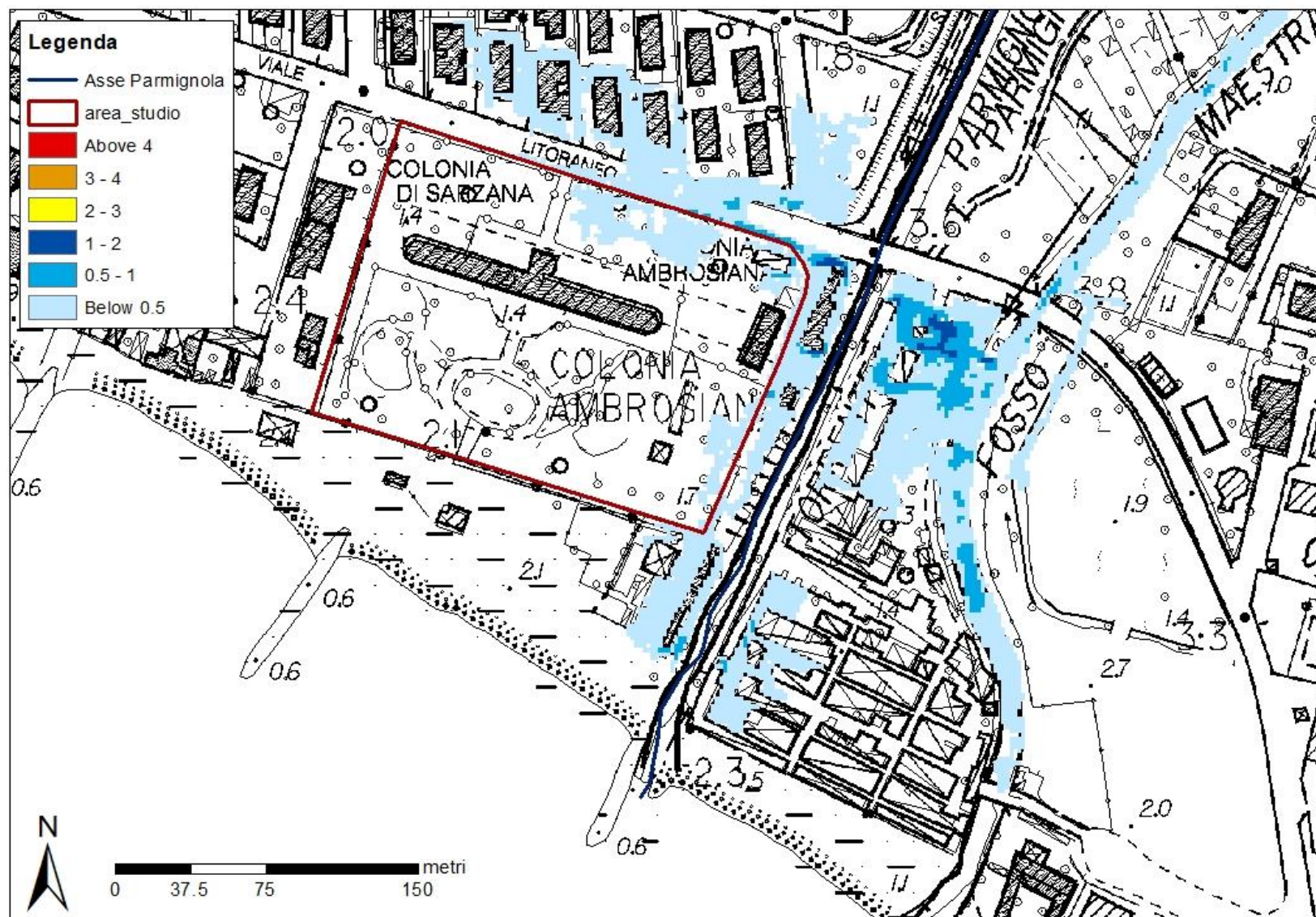


Figura 4.7 T.Parmignola - Carta delle velocità massime, espresse in metri al secondo, relative all'area fociva, in caso di evento duecentennale nella configurazione di messa in sicurezza del tratto del torrente a monte del viale litoraneo.

5 Conclusioni

Il presente studio ha avuto per obiettivo l'analisi idraulica del t.Parmignola, col fine primario di valutare l'entità del fenomeno di esondazione in corrispondenza dell'area dell'ex Colonia Olivetti, situata in sponda destra nel tratto terminale del torrente. La porzione di argine adiacente al lotto è stata infatti recentemente interessata da lavori di messa in sicurezza, che hanno visto la realizzazione di un muro spondale avente quote maggiorate rispetto alla precedente configurazione; a fronte di ciò, è stato necessario effettuare una nuova analisi dello stato di pericolosità residuo.

Le verifiche idrauliche sono state realizzate facendo uso del modello idrodinamico del t.Parmignola realizzato nel 2017 dagli scriventi, in occasione di uno studio affidato da Regione Liguria a sostegno della progettazione di opere idrauliche di messa in sicurezza del corso d'acqua. Il modello è stato in questa sede aggiornato con le nuove geometrie in alveo relative al tratto focivo e sono stati simulati gli eventi caratterizzati da tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Come ulteriore verifica cautelativa, è stato inoltre studiato uno scenario di messa in sicurezza del tratto del torrente a monte della SS432, che comporterebbe il deflusso in alveo dell'intera portata generata dal bacino idrografico fino al ponte litoraneo.

Le simulazioni di stato attuale sono risultate nell'assenza totale di fenomeni esondativi nel tratto di foce del torrente, mentre in condizioni di messa in sicurezza del corso d'acqua a monte del ponte litoraneo è emerso che la maggiore portata defluente non viene interamente contenuta in alveo, causando esondazioni di minore entità nelle aree limitrofe all'ex colonia Olivetti e in piccola parte anche all'interno dell'area giardino della colonia.

A fronte dei risultati ottenuti e considerando le scelte cautelative prese in fase di implementazione del modello idrodinamico, si ritiene che l'area di studio possa essere ad oggi considerata sicura dal punto di vista idraulico. In supporto a questa osservazione si aggiunge l'imminente avvio degli interventi di abbassamento del letto fluviale del t.Parmignola previsti dal progetto di messa in sicurezza del tratto focivo promosso dal comune di Sarzana, lavori che miglioreranno ulteriormente le condizioni di deflusso della porzione terminale del torrente.

ALLEGATI

ALLEGATO A – MIKE1D HD

Descrizione tecnica

PREMESSA

MIKE 1D è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St.Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un'ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

La grande flessibilità del codice di calcolo permette di integrare, attraverso specifici moduli, le applicazioni idrodinamiche con fenomeni idrologici, trasporto solido, advezione-dispersione, qualità delle acque, ecologia, rendendo MIKE 1D uno strumento indispensabile per affrontare e risolvere molteplici problemi d'ingegneria fluviale quali, ad esempio:

- studi di idraulica fluviale e di propagazione dell'onda di piena;
- studi di idrologia e idrogeologia;
- supporto alla progettazione e gestione di opere idrauliche;
- analisi della rottura dighe;
- analisi del trasporto solido e morfologia fluviale;
- modelli di previsione in tempo reale e di supporto decisionale;
- analisi dei fenomeni di intrusione del cuneo salino in fiumi ed estuari;
- studi di valutazione della qualità delle acque sia superficiali che sotterranee;
- analisi dello stato ecologico dei corsi d'acqua.

MIKE 1D è costituito dai seguenti moduli:

- HD (idrodinamico): simulazione del flusso in canali a pelo libero, costituisce la base per ulteriori moduli aggiuntivi;
- RR (afflussi-deflussi): modulo che consente, partendo dai dati meteorologici (pioggia, temperature, evapotraspirazione, ecc...), su bacini naturali o artificiali, di ricostruire attraverso l'utilizzo di modelli idrologici (NAM, UHM, Drift, ecc...) le portate idriche in assegnate sezioni di calcolo;
- AD (advezione-dispersione): simulazione del processo di advezione e dispersione di una sostanza in soluzione o in sospensione di qualsiasi natura nel corpo idrico, eventualmente caratterizzata da una cinetica di decadimento lineare;
- ECOLab (ecologico): simulazione di una serie di processi qualitativi, tra i quali il ciclo BOD-DO con nitrificazione-denitrificazione, il ciclo del fosforo, l'eutrofizzazione, il trasporto di metalli pesanti ecc.;

- ST (trasporto sedimenti): simulazione del trasporto solido di materiale non coesivo, in modalità disaccoppiata (senza variazione della geometria del fondo alveo) o accoppiata (calcolo delle trasformazioni morfologiche);
- FF/DA (previsioni in tempo reale): il modulo consente, assimilando i dati misurati in tempo reale su un bacino e/o corso d'acqua, di correggere la simulazione idrodinamica al fine di garantire una affidabilità massima sulla previsione di un evento di piena.

Particolarmente efficace risulta la possibilità di poter integrare il codice MIKE 1D, con altri codici di calcolo della famiglia MIKE quali: MIKE 21 (MIKE FLOOD), per simulare in maniera combinata fenomeni 1D e 2D; MIKE SHE, per la modellazione di corpi idrici superficiali e sotterranei; WEST, per simulare in dettaglio i processi nell'impianto di trattamento ed il relativo impatto sul corso d'acqua recettore; MOUSE (MIKE URBAN FLOOD), simula le interferenze tra il corso d'acqua e la rete di drenaggio.

Di seguito si descrive il codice MIKE 1D HD.

MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE 1D ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

L'adozione del programma di simulazione MIKE 1D consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 1D, risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incompressibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

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

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

- A = area della sezione bagnata (m²);
- C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);
- g = accelerazione di gravità (m s⁻²);
- h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q = portata (m³/s);
- R = raggio idraulico (m);
- α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q = portata laterale addotta (m² s⁻¹).

SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\frac{\partial h}{\partial x}$. Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_j^1) \cdot Z_j^2$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

Tipo 7. Ponti

In MIKE 1D possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 1D consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{C^2 A R}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{M^2 A R^{4/3}}$$

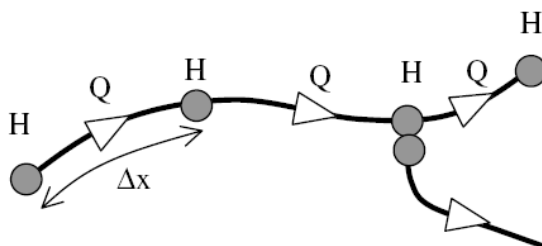
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).



La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

CONDIZIONI AL CONTERNO

In MIKE 1D le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d} + V}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

- Cr = numero di Courant;
- d = altezza d'acqua media;
- V = velocità media della corrente;
- g = accelerazione di gravità;
- Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ($Fr < 1$), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V * Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 1D genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

ALLEGATO B – MIKE21 HD

Descrizione tecnica

Premessa

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore. I principali campi di applicazione sono:

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

In generale il MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte del DHI, rende questo software lo strumento più utilizzato ed efficace per l'ingegneria fluviale e marittima in tutto il mondo.



Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- **CLASSIC GRID** (Griglia classica singola): le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- **MULTIPLE GRID** (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- **FLEXIBLE MESH** (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- **CURVILINEAR** (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- **MIKE 1D**, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- **MIKE URBAN CS** per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

In campo marittimo e costiero, dove risulta più efficace l' utilizzo della versione FM, il MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

L'utilizzo di formati comuni a tutti i codici del mondo MIKE garantisce la possibilità di utilizzare i file di MIKE 21 anche in input ad altri modelli quali LITPACK e MIKE 3.

Infine, attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 21 consente di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti e reagenti.

Di seguito si descrive il modulo MIKE 21 HD Classical Grid.

Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Come menzionato in precedenza, i risultati di una simulazione MIKE 21 HD possono essere usati come input per la simulazione di fenomeni fisici strettamente dipendenti dagli aspetti idrodinamici:

- trasporto di sostanze disciolte/sospese in acqua, modulo AD e modulo "Mud Transport";
- trasporto solido di materiale non coesivo, modulo ST;
- qualità delle acque ed idroecologia, modulo ECO Lab.

Infine, per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l'interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 1D, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - f V V_x \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial \mathcal{S}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega p - f V V_y \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial \mathcal{S}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$ = profondità dell'acqua;

$\zeta(x,y,t)$ = quota del pelo libero;

$p,q(x,y,t)$ = portate unitarie nelle direzioni x e y;

$C(x,y)$ = coefficiente di scabrezza di Chezy;

G = accelerazione di gravità;

$f(V)$ = fattore d'attrito del vento;

$V, V_x, V_y(x,y,t)$ = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

$\Omega(x,y)$ = parametro di Coriolis;

$p_a(x,y,t)$ = pressione atmosferica;

ρ_w = densità dell'acqua;

x,y = coordinate spaziali;

t = tempo;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h E \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h E \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h E \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} h E \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ($m^3/s/m$) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m^3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni plano-altimetriche della batimetria.

Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione “griglia multipla-nested grid”, che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall’algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

